

Российская Академия наук
Уральское Отделение
Институт истории и археологии
Южноуральский филиал

С. А. Григорьев

**Металлургическое производство
в Северной Евразии
в эпоху бронзы**

Челябинск
Цицера
2013

УДК 904
ББК 63.4
Г83

Григорьев С. А.

Г83 **Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы / С. А. Григорьев.** — Челябинск : Цицеро, 2013. — 660 с.

Книга посвящена истории металлургического производства в Северной Евразии в эпоху бронзы. Район, охваченный данным исследованием, простирается от Дона до Алтая и до Средней Азии, хотя в качестве фона дается информация по металлургическому производству на Ближнем Востоке, в Европе и Китае. Хронологическим фоном работы является более ограниченное количество материалов энеолита и раннего железного века. Монография основана на анализе шлаков и руд, произведенных с помощью различных минералогических и химических методов. Она предназначена для специалистов-археологов и людей, интересующихся древней историей и историей техники.

УДК 904
ББК 63.4

Рецензенты: В. Кулев (Софийский университет, Болгария);
Х. Меликесян (Институт геологических наук, Ереван, Армения).

Содержание

Введение.....	5
Глава 1. Экспериментальное моделирование древнего плавильного процесса	36
Глава 2. Производство в эпоху энеолита и ранней и средней бронзы.....	68
Металлургическое производство СБВ II и перехода к ПБВ.....	100
Глава 3. Metallургические печи	101
Глава 4. Медные руды синташтинских и петровских памятников Зауралья.....	111
Глава 5. Минералогический и химический состав шлаков	120
Глава 6. Технология металлообработки. Metallургический инвентарь.....	224
Глава 7. Хронология, генезис и структура синташтинской металлургии	254
Глава 8. Metallургическое производство на территории Башкирского Приуралья	265
Глава 9. Metallургия ПБВ Поволжья и Оренбургского Приуралья.....	313
Глава 10. Горно-metallургическое производство Подонья и Донбасса	363
Глава 11. Metallургическое производство в азиатской части ЕАМП в эпоху бронзы.....	380
Глава 12. Metallургическое производство в Кызылкумах	515
Глава 13. Проблема появления железа в эпоху бронзы в Северной Евразии.....	542
Глава 14. Metallургическое производство в раннем железном веке	554
Заключение.....	608
Литература	618
Summary	654

Table of contents

Introduction	5
Chapter 1. Experimental reconstructions of ancient smelting process.....	36
Chapter 2. Production in the Eneolithic, Early and Middle Bronze Ages.....	68
Metallurgical production of the MBA II and transition to LBA	100
Chapter 3. Furnaces of Sintashta culture	101
Chapter 4. Copper ores from Sintashta and Petrovka sites in the Southern Urals	111
Chapter 5. Mineralogical and chemical composition of slags of Sintashta culture	120
Chapter 6. Technologies of Sintashta metalworking.....	224
Chapter 7. Chronology, genesis and structure of Sintashta metallurgy	254
Chapter 8. Metallurgical production in Bashkiria (Southern Urals)	265
Chapter 9. Late Bronze Age metallurgy in Volga and Orenburg areas	313
Chapter 10. Mining and metallurgical production in Don and Donets areas	363
Chapter 11. Metallurgical production in the Asiatic part of Eurasian Metallurgical Province in the Bronze Age	380
Chapter 12. Metallurgical production in the Kyzyl Kum desert.....	515
Chapter 13. Problem of iron in the North Eurasian Bronze Age	542
Chapter 14. Metallurgical production in the Early Iron Age	554
Chapter 15. Brief history of Eurasian metallurgy in the Bronze Age	608
Literature	618
Summary	654

Введение

Медь является первым металлом, действительно оказавшим значительную роль в истории человечества. Считается, что латинское *cuprus*, от которого происходит химическое обозначение меди, связано с Кипром, и имеется в виду «медный остров». Но в действительности это не так. Греческое слово *κῦπρος* имеет неопределенную этимологию. Для обозначения меди греками использовалось слово *αἰκός* откуда пошел термин «халколит». А в латинском языке для этого существовало слово *aes*. Сочетание *aes cuprium* означало «кипрская медь». Потом произошла замена *cuprium* на *cuprum*. Все европейские слова с этим связанными не восходят к индоевропейской основе. Ближе к ним латинская основа (Muhly, 1973, p. 174, 175).

Настоящая работа посвящена истории металлургического производства в Северной Евразии в эпоху бронзы. При этом необходимо сразу отметить, что историко-металлургические исследования включают в себя огромный спектр работ в различных направлениях, отражающих разные сферы деятельности древних металлургов. Очень часто все они объединяются под термином «металлургия». Производство меди началось с добычи руды. Об этом этапе производства следует говорить не столько как о металлургии, сколько как о горном деле. Данный аспект производственной деятельности в Северной Евразии изучен пока еще крайне слабо. Значительные исследовательские работы произведены Е. Н. Черных на Каргалинских рудниках в Оренбуржье (Черных, 1997, 2002, Черных и др., 1999). В Зауралье был исследован рудник Воровская Яма (Зайков и др., 1995; 2000). Предполагается, что он эксплуатировался уже в эпоху средней бронзы, однако выявленные материалы относятся ко времени поздней бронзы. Изучению древних рудников в Казахстане и на Алтае был посвящен ряд работ (Жауымбаев, 1984; Маргулан, 1973, 2001; Черников, 1949). На рудниках Донецкого района работал С. И. Татаринев (1977, 1978 и др.). Вместе с тем, во многих археологических работах есть сведения о древних выработках, однако данных об их использовании в древности, как правило, немного. К сожалению, подобные скромные успехи отечественной археологии в исследованиях горного дела древности несколько снижают возможность изучения и собственно металлургии, так как часто остается неясным какая руда использовалась, каковы были объемы производства, в каких районах производилась добыча и т.д.

Весьма многочисленны работы, посвященные морфологическому анализу металлических изделий. Очень важным направлением является исследование микроструктуры медных изделий и реконструкция технологии металлообработки на этой основе (Рындина, 1971; Дегтярева, 2009). К этому блоку работ примыкают экспериментальные работы в области древней металлообработки, а также исследования тиглей или литейных форм (напр. Саврасов, 1998).

Огромная по объему и значимости работа была проделана лабораторией естественно-научных методов Института археологии РАН, возглавляемой Е. Н. Черных. В ходе многолетних исследований этой лаборатории был проанализирован химический состав и создана типология десятков тысяч изделий эпохи бронзы Северной Евразии, что позволило получить системные представления о характере металлургии этой эпохи в рамках обширнейшего ареала (Черных, 1970, 1977 и др.). Выдающимся результатом этих работ стало выделение на территории Северной Евразии металлургических провинций, огромных ареалов, в рамках которых фиксируются сходные химико-металлургические группы (и, соответственно, предпочтение определенных видов сырья), принципы металлообработки и типы изделий. Ссылка на это положение является общим местом для многих работ по эпохе бронзы, но используется оно не вполне корректно. Так, часто можно встретить высказывания о том, что «данная культура формируется в резуль-

тате сложных процессов, сопровождавших развал Циркумпонтийской металлургической провинции» или что-то подобное. В действительности, данная фраза абсолютно бессмысленна, поскольку металлургические провинции не являлись неким реально существовавшим сообществом. Это всего лишь мыслительный конструкт для обобщения характеристик металлургического производства, хотя и снимающий в себе некую древнюю реальность. И подобные высказывания отражают всего лишь непонимание проблемы происхождения той или иной культуры и попытку выйти из этой ситуации достойно. В своих работах, посвященных культурогенезу, я старался использовать в подобных случаях иную терминологию, например, «юг Циркумпонтийской зоны» и т. д. А многочисленные факты дальних миграций и возможность сопоставления сплавов и типов изделий отдаленных территорий, входящих в различные провинции, порождали и вовсе сомнения в абсолютной правомерности подобного выделения, которые, впрочем, не были высказаны в печати. Однако система металлургической провинции это не только определенные традиции производства или набор сходных традиций различных групп. Как любая сложная система, провинция состоит не только из элементов, но и из системных связей, процессов и каналов их протекания. Соответственно, любая группа со своими технологическими навыками, попадая в определенную металлургическую провинцию, вынуждена встраиваться в имеющуюся систему. При написании данной работы и обобщении результатов анализа шлакового материала огромных территорий, я столкнулся с ситуацией, что это обобщение и описание корректны и возможны лишь в рамках теории металлургических провинций. Это довольно трудно объяснить человеку, занимающемуся классической археологией, но любой специалист в области археометаллургии Северной Евразии понимает, о чем идет речь.

В настоящей работе я рассматриваю проблемы собственно металлургии, или получения металла из руды. С этим тесным образом связан целый ряд сопутствующих операций, таких как выжиг древесного угля, обогащение руды, конструирование теплотехнических сооружений, подготовка тиглей. В отдельных случаях мне придется этих операций касаться, однако в основе своей в работе рассматривается сам металлургический процесс. Завершающей стадией металлургического производства является металлообработка, включающая различные литейные и кузнечные операции, а также побочные операции: приготовление тиглей, льячек, литейных форм, каменных орудий для обработки металла. Данные проблемы, как правило, тоже остаются за рамками настоящего исследования.

В отечественной литературе работ, посвященных проблемам плавки медной руды, крайне мало. Безусловно, исследователи, раскапывающие памятники с металлургическими комплексами, так или иначе касаются проблем производства меди (см. напр. Кадырбаев, 1983; Кадырбаев, Курманкулов, 1992; Татаринев, 1977, 1978; Черников, 1949). Однако эти работы очень немногочисленны, а достоверность реконструкции зачастую сомнительна, поскольку это требует серьезных аналитических исследований остатков производства, в первую очередь, шлаков. Подобные работы имели место, но они были очень локальны и не получили дальнейшего развития (Сатпаева, 1966; Терехова, 1980; Кузнецова, Пшеничная, Двореченская, Сулейманов, 1988; Жаркова, Сунчугашев, 1975). Очень интересное исследование по металлургическому производству на Каргалинских рудниках выполнено Сальвадором Ровирой, и мы будем впоследствии неоднократно к этому исследованию обращаться (Ровира, 2004). В зарубежной археологии количество работ, посвященных анализу древнего металлургического производства, чрезвычайно велико и первые крупные публикации появились очень рано (напр. Coghlan, 1951; Forbes, 1958 и многие другие). Можно говорить о выделении целого направления в археологии — археометаллургии. Эти исследования всегда использовали наиболее современные аналитические методы, однако объем анализируемого материала был очень невелик.

Чаще всего дело ограничивается прекрасным анализом одного или серии памятников. С учетом большого числа этих исследований, базируясь на них можно составить представление о характере металлургии Старого Света в древности, но представить ее в единой системе невозможно.

Поскольку материалы Северной Евразии не анализировались, в рамках настоящей работы предстояло провести исследования шлаков с огромной территории. В задачу исследования изначально входило реконструировать различные технологические схемы в этом огромном ареале, историю их формирования и распространения и определить, по возможности, рудные источники. Однако шлак является достаточно сложной системой, требующей применения различных методов, зачастую сложных и дорогостоящих. Поэтому, с учетом огромного объема материала и дороговизны физико-химических анализов, было необходимо выработать оптимальную исследовательскую схему, позволявшую, как реконструировать общую картину, так и решать индивидуальные точечные задачи.

Проект по исследованию шлаков эпохи бронзы был начат в 1986 году и с перерывами продолжается до сих пор. В первые годы основной упор делался на анализе шлаков синташтинской культуры Южного Зауралья, но параллельно осуществлялся сбор материалов с огромной территории от Подонья до Алтая и Средней Азии. Пожалуй, на сегодняшний день это наиболее большая коллекция проанализированных древних шлаков в мире. Однако и она не является достаточно представительной для столь огромной территории. Наиболее изученной различными анализами является металлургия синташтинской культуры, и выводам, сделанным на основании этих анализов, можно, с определенными оговорками, доверять. Прочие материалы анализировались не всем комплексом методов. Подобное исследование было бы не под силу не только одному человеку, но и крупной научной организации. Поэтому главной задачей стало выявление наиболее общих закономерностей, что дает будущим исследователям отдельных территорий возможность увидеть свой материал в более широком контексте и определиться с проблемами, которые следует решать. Но выводы, сделанные в этой книге по металлургии поздней бронзы, должны быть подвергнуты неизбежной корректировке или полному от них отказу, так как основаны на непредставительных выборках и ограниченном наборе аналитических методов. Однако исследовательская схема, отработанная на материалах синташтинской культуры, может быть вполне применена и на иных территориях исследователями группами, включающими археологов и представителей естественных наук.

Археологи, как правило, слабо знакомы с естественными методами, поэтому аналитические исследования или игнорируются, или, как это часто бывает с радиоуглеродным анализом, выбираются те данные, которые, на взгляд исследователя, наиболее приемлемы. Часто археологи относятся к выводам аналитика с излишним доверием. Особенно это неоправданно в тех случаях, если анализы делают люди, не работающие непосредственно в археометрии. Порой наоборот — от аналитика требуют однозначного результата или рассматривают его выводы в качестве такового. Однако любое аналитическое исследование это процесс, приближающий постепенно к результату. Настоящая работа и есть лишь стадия этого процесса, более удовлетворительная для материалов синташтинской культуры и менее удовлетворительная для всех прочих.

Химические процессы плавки медных руд

Для того, чтобы последующий текст и исследовательские процедуры были ясны, необходимо кратко коснуться тех физико-химических процессов, которые имеют место в процессе плавки рудного материала. Многие археологи полагают, что процесс плавки руды сводится к температурному воздействию. Однако в реальности все намного сложнее. Само по себе расплавление руды не в состоянии привести к отделению металла от

породы. Главным в металлургических процессах являются химические реакции. Температуры выступают, скорее, условием их успешного протекания. В этой книге пойдет речь о различных технологиях плавки руды, что обусловлено разницей в рудной базе. Поэтому необходимо вкратце остановиться на типах медных руд и, соответственно, на тех химических процессах, которые происходят при их плавке.

Медные руды делятся на две основные группы — сульфидные и окисленные. При этом сульфидные руды подразделяются на первичные сульфиды (халькопирит или медный колчедан — CuFeS_2), вторичные сульфиды (борнит — CuFeS_4 , ковеллин — CuS , халькозин — Cu_2S). К окисленным рудам относятся оксиды (куприт — Cu_2O , тенорит — CuO , хризоколла — $\text{CuSiO}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$) и карбонаты (малахит — $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$, азурит — $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$). Следует упомянуть также самородную медь (Cu), но значение она имела лишь на наиболее ранних этапах развития металлургии. Существует значительное количество иных медных минералов, но основными являются именно вышеперечисленные.

Образование первичных руд (халькопирит) связано с магматическими процессами, соответственно, во многих месторождениях эта руда располагается в наиболее глубоких зонах. Выше, в так называемой зоне цементации, образуются наиболее богатые по составу руды, преимущественно вторичные сульфиды. Наконец в верхних частях месторождений встречаются окисленные руды. Поэтому в древности горняки имели дело первоначально именно с окисленными рудами, а по мере углубления разработок доходили до вторичных сульфидов, а впоследствии первичных сульфидов. Сказанное, конечно, является классической схемой, так как первичные руды могут выходить на поверхность, а в зоне цементации встречаются окисленные минералы и первичные сульфиды. Тем не менее, в наиболее общем виде тенденция именно такова. Соответственно, и плавка руды со столь различным химическим составом не может осуществляться по одной технологической схеме.

Химические реакции восстановления этих типов руд различаются. Здесь следует остановиться еще на одном важном моменте, а именно — на роли угля в этом процессе. Хорошо известно, что уголь является источником тепловой энергии при металлургическом производстве. Однако роль его как химического компонента, который и осуществляет восстановление меди, не менее важна. При этом, сам уголь химически не активен и восстанавливать медь не может. Основными реагентами являются газы, образующиеся при сгорании угля: монооксид углерода (CO) и диоксид углерода (CO_2). При этом восстановителем металлов при металлургических реакциях является именно монооксид углерода. Но монооксид углерода стабилен лишь при высоких температурах, выше 710°C , поэтому это тот температурный минимум, от которого начинаются металлургические реакции (Charles, 1980, p. 156).

Реакции между газами и твердым углеродом зависят от содержания кислорода и описываются следующими формулами:

$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ — полное сгорание угля, реакция имеет место при избытке кислорода. Соответственно, в случае этой реакции восстановление металла не происходит.

$2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ — реакция образования монооксида углерода.

$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ — реакция образования диоксида из монооксида углерода в случае избытка кислорода.

$\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ — при более высоких температурах, и в случае, если газовая фаза проходит через слой угля имеет место обратная реакция образования монооксида из диоксида

углерода. Содержание монооксида углерода в печи растет при температурах от 600 °С до 1000 °С. Начиная от температур 700 °С это довольно быстрый процесс, который и приводит к восстановлению меди (Циммерман, Гюнтер, 1982, с. 319; Charles, 1992, p. 12).

Соответственно, для формирования достаточного для восстановления металла количества монооксида необходимы температуры и определенное время. Кроме того, дутье должно осуществляться через слой угля, в противном случае монооксид тоже не образуется, и плавка успехом не завершится. По этой простой причине (а вовсе не из-за невозможности достичь высоких температур) восстановить медь в костре невозможно. Там нельзя создать условия для образования монооксида углерода.

Таким образом, одним из наиболее важных проблем древней металлургии было создание положительного баланса CO/CO_2 .

Эта проблема теснейшим образом была связана и с типами используемой руды.

Если мы имеем дело с относительно развитой металлургией, основанной на шлаковых реакциях, то примером этого процесса может быть следующий.

Классическим видом шлака является фаялитовый. Он неоднократно будет обсуждаться на страницах этой книги. Его образование описывается двумя формулами:

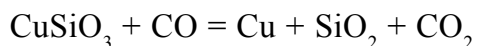
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{FeO} + \text{CO}_2$ — реакция гематита с монооксидом углерода и образованием вюстита и диоксида углерода.

$2\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ — реакция вюстита с кварцем с образованием фаялита.

Таким образом, для формирования фаялитового расплава, помимо необходимых компонентов, необходимо формирование вюстита, что невозможно в случае окислительной атмосферы в печи и отсутствия нужного количества монооксида углерода.

Плавка окисленных руд осуществляется по достаточно простой схеме (Tafel, 1951, S. 242—245, 249).

При нагревании до 550—600° в восстановительной атмосфере легко восстанавливается, утрачивая воду, хризоколла ($\text{CuSiO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$):

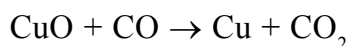
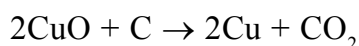


Однако в этом случае неминуемо встает проблема с такой тугоплавкой составляющей, как кварц, что можно решить, либо формируя фаялитовый расплав соответствующим железосодержащим флюсом, либо колоссальным повышением температуры. Последнее, впрочем, приведет к обратному результату, так как возрастание объемов дутья вызовет интенсивную купритизацию (окисление) меди.

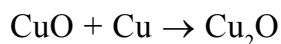
Малахит ($\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$) и азурит ($2\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$) уже при температуре 220° теряют углерод и воду, в результате чего образуется тенорит (CuO). При обычном длительном нагревании он начинает распадаться с образованием куприта уже при температуре 800° в соответствии с реакцией



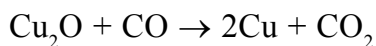
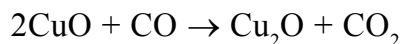
При контакте с древесным углем или монооксидом углерода тенорит довольно легко восстанавливается от температуры 550°:



Однако, соединяясь с медью, может вновь образовать куприт:



При наличии высоких температур и достаточного количества монооксида углерода осуществляется стандартная реакция по схеме:



При этом, куприт является достаточно тугоплавким минералом, поэтому для второй реакции необходимо поддержание достаточно высокой температуры. Здесь мы сталкиваемся со стандартной проблемой ранних этапов металлургии. При увеличении дутья и повышении температуры увеличивается и объем кислорода в печи. Соответственно, ухудшается баланс CO/CO_2 . Как видно из приведенных формул, избыток кислорода будет препятствовать восстановлению меди. Поэтому, хотя обычно принято считать, что плавка окисленных руд намного проще, химически это далеко не так, что зачастую и вызывало значительные потери меди в виде куприта.

Как это ни парадоксально, плавка сульфидных руд, зачастую, проще.

При плавке халькопирита (CuFeS_2) имеет место реакция (Циммерман, Гюнтер, 1982, с. 352):

$2\text{FeS} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO} + 2\text{SO}_2$ — реакция сульфида железа с кислородом и образование вюстита и сернистого газа.

$2\text{FeO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ — реакция вюстита с силикатным компонентом с образованием фаялитового шлакового расплава. Вюстит, который не проучаствовал в формировании фаялитового расплава, распадается на магнетит (Fe_3O_4) и металлическое железо (Fe).

Как видим, восстановителем в данном случае является не монооксид углерода, а сера, содержащаяся в руде и реагирующая с кислородом. При этом происходит экзотермальная реакция ее горения, что способствует некоторому повышению температуры. Иным преимуществом плавки первичных руд является то, что руда содержит компоненты, необходимые для образования шлака, при этом повышается содержание меди, поскольку железистые компоненты уходят в шлак.

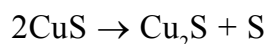
В следующий период осуществляются реакции медных сульфидов. Аналогичные реакции имеют место и при непосредственной плавке халькозина:

$2\text{Cu}_2\text{S} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$ — реакция медных сульфидов с кислородом и образование куприта и сернистого газа.

$2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow 6\text{Cu} + \text{SO}_2$ — реакция куприта с медным сульфидом и образование меди и сернистого газа.

В данном случае сера тоже выполняет функцию восстановителя. При этом параллельно могут происходить реакции, которые описаны для плавки окисленной руды.

Другой сульфид меди, ковеллин, CuS (ковеллин) уже при температуре 358° образует халькозин (Tafel, 1951, S. 237):



Поэтому в металлургических процессах он почти не принимает участие, и обнаружение его в шлаке должно объясняться какими-то иными причинами: скоротечностью процесса, повторными добавлениями руды.

Таким образом, сульфиды реагируют сначала с кислородом, а затем с оксидами, восстанавливая медь непосредственно. Поэтому химически этот процесс проще, так как в этом случае отсутствует необходимость длительного поддержания положительного баланса CO/CO_2 .

Существует еще одна важная особенность различных руд: они содержат рудовмещающие породы. Как мы видели из формул образования фаялитового шлака, для этого необходимо наличие двух компонентов — железистого и силикатного.

Во многом тип руды и рудовмещающей породы зависит от генезиса меднорудного месторождения. Медноколчеданные месторождения формируются в результате магматических процессов. Поскольку основным медным минералом в них является халькопирит, руды этих месторождений обогащены железистым компонентом. Железные оксиды даже образуют над поверхностью этих месторождений, так называемые «железные шляпы». Жильные кварцсульфидные месторождения формируются в результате гидротермальных процессов, когда по трещинам поднимаются горячие растворы, формирующие медную минерализацию в кварцевых жилах. Соответственно, в этих месторождениях хорошо представлен именно силикатный компонент. Близки им по генезису прожилково-вкрапленные или медно-порфировые месторождения. Однако в этом случае гидротермальные растворы могут подниматься по основным породам, то есть по породам, богатым железистым или магниевым компонентом. Важным для древней металлургии типом месторождений были месторождения в песчаниках. Они формировались в результате разрушения коренных месторождений в ходе выветривания и сноса обломочного материала. Это приводило к окислению руды. Чаше эти песчаники имеют силикатный состав, для них более типичны окисленные минералы, реже вторичные сульфиды. Однако в разных зонах месторождения и рудопроявления этого типа могут различаться, что объясняется разрушением различных горных пород и различных первичных месторождений.

Существует много иных типов медных месторождений, однако приведенные выше являются основными типами, с которыми имели дело древние металлурги.

Особенностью силикатных пород является то, что они очень тугоплавки. В противоположность этому, основные породы плавятся при различных температурах в зависимости от типа оксида. Температура плавления в оксидах железа тем ниже, чем меньше в них кислорода. Так в ряду Fe_2O_3 (гематит) — Fe_3O_4 (магнетит) — FeO (вюстит) гематит будет наиболее тугоплавкой, а вюстит наименее. Таким образом, для успешной плавки минералов этих пород необходимо поддерживать восстановительную атмосферу в печи.

Однако идеальным вариантом является формирование шлака. Так, фаялитовый шлак, состоящий из железных оксидов и силикатов, будет иметь температуру плавления гораздо более низкую, чем у сформировавших его компонентов. Поэтому металлурги стремились обеспечить протекание шлаковых реакций либо специальным отбором руды, либо добавлением железистых флюсов к силикатным породам или силикатных к железистым.

Однако некоторые руды, например, халькопирит, сами содержат железо, независимо от характера рудовмещающей породы. Кроме того, в шлаковых реакциях участвуют и иные компоненты, например расплавленные сульфиды или соединения кальция. Все это, с учетом множества возможных комбинаций, превращает металлургический процесс в

сложнейшую систему, которая не может быть одинаковой на разных территориях и в различные эпохи.

Ситуация осложняется также и тем, что, наряду с технологическими параметрами плавки, которые обусловлены характером руды и рудовмещающей породы, существовали параметры, вызванные культурной традицией. Ситуация проще в тех случаях, когда какая-то технологическая традиция развивается на месте. Однако в случае миграции носителей этой традиции и перехода на новые типы сырья мы получаем новую ситуацию — от возможного заимствования местной технологической традиции до попыток приспособить и трансформировать прежнюю.

Все это вызывает многообразие шлаков. Так, шлаки, полученные при плавке по одной технологической схеме, могут выглядеть очень контрастно из-за резких различий в исходной рудной базе. Соответственно, исследование какого-то одного региона или памятника не в состоянии отразить характер металлургического производства эпохи. С другой стороны, многокомпонентность процесса вынуждает обращаться к довольно широкому спектру аналитических методов, без чего невозможно провести относительно корректную его реконструкцию.

Методика

Методика настоящего исследования была разработана в первые годы функционирования проекта (Григорьев, 1993), однако впоследствии постоянно изменялась за счет привлечения новых естественнонаучных методов или статистических процедур. Шлак является, как уже говорилось выше, достаточно сложной системой, в силу чего его исследование требует применения целого ряда различных методов. Использование одного спектрального анализа, традиционного для исследований в нашей стране, не дает, в данном случае, практически никакой информации. Однако, с другой стороны, тщательное исследование малых серий материала тоже может завести исследование в тупик, так как шлак, в отличие от металла, неомогенен. Более того, в разных зонах древней металлургической печи могут формироваться различные температурные условия и различный баланс CO/CO_2 , влияющий на атмосферу плавки. Поэтому для исследования шлака даже одного поселения необходима относительно представительная выборка. Эмпирический опыт позволяет полагать, что минимальная желательная выборка с одного поселения составляет 20 образцов. Каких-то четких цифр здесь быть, в принципе, не может, так как это зависит от степени однородности самой анализируемой серии. Но и в рамках одного, даже сравнительно небольшого ареала невозможно ограничиться материалом одного или двух поселений, так как жители разных поселков могли использовать различные рудные источники, что неизбежно может сказаться на микроструктуре и химическом составе шлака. Кроме того, серия масштабных проектов, осуществленных Е.Н. Черных, показала, что даже такой несовершенный метод, как спектральный анализ, примененный широко и с серией статистико-комбинаторных процедур, позволяет получать достаточно адекватные картины древнего металлургического производства.

Учитывая все вышесказанное, оптимальным исследовательским путем является разбивка исследования на две части. На первом этапе применяются наиболее дешевые аналитические методы, позволяющие охватить максимальный объем материала и получить максимум информации, а на следующем в рамках ранее выделенных групп материала идет более детальное изучение с помощью более дорогостоящих и совершенных методик в целях решения уже отдельных конкретных задач.

Базовым методом исследования является анализ полировок шлака под микроскопом в отраженном свете, что позволяет достаточно уверенно диагностировать основные фазы. Подобное исследование велось при увеличениях в 50—200 раз, хотя в исключительных случаях применялись и большие увеличения с использованием иммерсионной

среды. К основным вопросам, которые удастся разрешить с помощью данного метода, относятся определение характера исходного сырья и возможной рудной базы, определение температур плавки и атмосферы ее протекания, относительной скорости остывания расплава. Как будет показано ниже, но более детально, в рамках обсуждения отдельных проблем, ответы даже на эти вопросы не могут быть вполне однозначными.

В настоящее время известно до 150 шлаковых минералов (Перепелицын, 1987, с. 215). В особенности рост числа шлаковых минералов обусловлен в последнее время использованием электронной микроскопии. Процесс выявления всех фаз в шлаке является достаточно дорогостоящим и трудоемким. Он, безусловно, осмыслен при работе с каким-то конкретным, достаточно локальным материалом. Однако при работе с большой выборкой шлака осуществить его, практически, невозможно. Поэтому в настоящем исследовании мы ограничились основными шлаковыми минералами.

Использованная в древности медная руда относится к трем типам: окисленные руды, вторичные сульфиды, первичные сульфиды. Основными рудами первой группы являются малахит, азурит, куприт и хризоколла. Все они достаточно хорошо диагностируются с помощью микроскопа, однако они, в особенности малахит, могут легко образовываться в шлаке и за тот период, пока шлак лежит в культурном слое поселения. Особенно часто это происходит не в стекловидной массе шлака, а в газовых порах. Поэтому нам довольно часто приходилось фиксировать включения малахита округлой формы. Чаше всего это и указывает на его вторичный характер. Более достоверно об этом можно судить уже с помощью микрохимического анализа, сделанного с помощью сканирующего электронного микроскопа. Как правило, вторичные включения более свободны от примесей, чем руда, использованная для плавки. Однако и этот признак далеко не всегда может быть решающим, так как встречаются и относительно чистые окисленные руды. Более показательны примеси хлоридов меди в подобных включениях, так как они не выдерживают высоких температур, применяемых в металлургии. Соединения меди с хлором (CuCl , CuCl_2) образуются при обычных температурах. Но уже при температуре (250—340 °С) они распадаются, и, вследствие окисления, получается CuO . При температуре 500 °С CuCl испаряется (Tafel, 1951, S. 234, 235, 245, 246). Поэтому присутствие хлоридов является важным признаком вторичного характера малахита. К сожалению, не для всех образцов можно сделать подобный анализ. Поэтому основным способом остается форма минерала.

Сходная проблема связана и с определением характера куприта (CuO). В некоторых случаях куприт может образоваться в шлаке по меди. Однако иногда мы можем иметь дело с купритом, который сформировался в результате, либо окисления меди в процессе плавки, либо в результате расплавления окисленных медных минералов, например, малахита. В данном случае, наиболее простым способом определения является оценка размеров включений корольков куприта относительно корольков меди. В принципе, мелкие медные корольки должны окисляться в культурном слое намного легче, чем крупные. Плотность меди 8,96 г/см³, а куприта около 6 г/см³. Соответственно, корольки меди легче оседают в шлаковом расплаве, чем аналогичные по размеру корольки куприта. В тех случаях, когда корольки куприта в среднем крупнее медных, можно предполагать, что они сформировались в рамках металлургического процесса, а не в результате вторичного окисления в культурном слое памятника.

Вторичные медные минералы (ковеллин и халькозин) довольно легко диагностируются, поскольку они отчетливо анизотропны и имеют характерную окраску. Однако даже в тех случаях, когда в плавку поступали именно эти минералы, в шлаке их присутствие может быть более чем скромным, поскольку они плавятся уже при довольно низкой температуре. Кроме того, в результате высоких температур и кислородного дутья, часть серы из них выходит, и они перерождаются в изотропные сульфиды меди,

которые весьма типичны для подобного шлака. Как уже следует из их названия, у них отсутствует эффект анизотропии. По своим цветовым характеристикам они довольно близки к куприту, однако отличаются от последнего отсутствием внутренних рефлексов. Обычно их широкое присутствие и указывает на плавку вторичных сульфидов. Однако они встречаются и в шлаках, образованных при плавке первичных сульфидов.

К последним относятся борнит и халькопирит. Причем последний встречается чаще и является основным минералом, использовавшимся при подобных плавках. К сожалению, его включения в шлаке встречаются не столь часто, и они имеют довольно незначительные размеры. Это объясняется тем, что при нагревании халькопирит довольно быстро распадается на сульфид меди и сульфид железа. Первый, обладая низкой точкой плавления, расплавляется, а второй окисляется и переходит в вюстит, образующий в этом случае очень характерные дендриты и решетчатые структуры. Присутствие последних, наряду с небольшими включениями халькопирита и расплавами изотропного сульфида, и является диагностирующими признаками для определения плавки первичных руд.

Однако в реальных шлаках ситуация может быть несколько усложнена тем, что в плавку были использованы руды различных типов. Поэтому основные заключения должны делаться на основе анализов относительно больших серий шлака и руды.

Определение типа рудовмещающей породы тоже связано с рядом специфических трудностей. В принципе, удастся относительно надежно отделить шлаки, сформировавшиеся при плавке руд из силикатных пород, от шлаков, сформированных при плавке руд из основных и ультраосновных пород. Главным признаком здесь является соотношение кислотных и основных окислов в шлаке и включения породы, особенно в тех случаях, когда наблюдаются ассоциации породы с рудными минералами. Правда, мы должны учитывать возможное использование железистых флюсов, что будет повышать присутствие основных окислов в шлаке, однако подобная практика в древности встречается крайне редко. Для ультраосновных пород важным диагностирующим признаком является присутствие зерен хромшпинелидов. Иногда в шлаке заметны включения песчаниковой породы. Они проявляются в виде мелких, вытянутых в ряды, зерен, окруженных рудным цементом. Однако, если материал более крупный, подобные структуры не будут наблюдаться даже в руде, происходящей из песчаников.

С проблемой исходной руды связано и использование флюсов. На первый взгляд, для выявления флюсов достаточно сравнить состав руды и шлака, однако тут существует ряд объективных трудностей. Например, при раскопках металлургических комплексов синташтинской культуры мы неоднократно фиксировали множество мелких пережженных косточек, а иногда мелкие кусочки кальцита. Все это позволяло допускать мысль об использовании этих компонентов в качестве флюсов, чтобы привести в шихту СаО, способствующий созданию более жидкотекучего шлака. С другой стороны, в шлаке часто фиксировалось повышенное содержание СаО при его отсутствии в руде. Это, на первый взгляд, однозначно указывает на использование флюсов. Однако кальций содержится и в золе, и может попадать в шлак оттуда. Рассчитать в этом случае степень использования флюсов не представляется возможным. Сходные проблемы встают и с использованием железистых флюсов, которые могли быть в рудовмещающей породе.

Определение достигаемых температур является не менее сложной задачей. В принципе, основой для их определения было изучение микроструктур и выявление расплавленных и нерасплавленных компонентов, температура плавления которых хорошо известна. Впрочем, во многих случаях оказывается довольно трудно различить расплавленное и оплавленное включение. Кроме того, это дает не достигнутые, а более низкие температурные показатели. Реальная температура могла быть выше, чем это фиксируется по включениям. С другой стороны, иногда компоненты плавятся не столько за счет температуры, сколько за счет физических и термодинамических процессов в расплаве.

При работе с большими выборками лучше ориентироваться на температуру плавления нескольких веществ, которая приводится в таб. 0-1 по справочнику Р. Циммермана и К. Гюнтера (Циммерман, Гюнтер, 1982, таб.173—175).

Таб. 0-1

Температура плавления некоторых шлаковых минералов

Cu	Cu ₂ S	Cu ₂ O	CuO	FeO	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃
1084 °C	1127 °C	1232 °C	1336 °C	1360 °C	1530 °C	1570 °C

Иногда в археометаллургии применяется построение термальных диаграмм на основе химических анализов. Подобные диаграммы, сделанные на основе общего химического анализа, чаще указывают как на реальный температурный диапазон, так и на завышенный, поскольку химический анализ учитывает и тугоплавкие нерасплавленные компоненты. Так, экспериментальные исследования Гейла с соавторами показали, что определяемая по фазовым диаграммам температура всегда намного выше, чем при расплавлении того же шлака. При этом стандартная диаграмма SiO₂ — FeO — CaO не столь хороша, как диаграмма анортит — FeO — SiO₂ (Gale et al., 2000, p. 89, 92). Проведенные А. Хауптманном эксперименты со шлаками, полученными при плавке руды, относящейся к, так называемым, самофлюсующимся рудам, показали, что плавятся они при температуре 1130—1150 °C. Однако построение фазовых диаграмм дало совершенно иной результат. В соответствии с ними подобные шлаки должны плавиться при более высокой температуре — около 1200—1250 °C (Hauptmann, 1987, p. 130). С другой стороны, точка возможного плавления шлака вовсе не является свидетельством того, что в ходе плавки не были достигнуты более высокие температуры. Поэтому подобные определения дают величины относительные и должны верифицироваться целым комплексом данных.

Более правомерно использование микроанализа отдельных расплавленных или выкристаллизовавшихся компонентов. Правда и в этом случае, мы получаем температуру расплавления или затвердевания компонента, но достигаемая температура могла быть выше. Таким образом, этот метод носит оценочный характер. Но приблизительно определить температуру он позволяет. Нам приходилось сталкиваться со случаями, когда одно из включений оливина показывало очень высокую температуру расплавления, в то время как все прочие более низкую. Видимо, при расплавлении этого включения определенное воздействие оказали термодинамические процессы.

Иногда в археометаллургии применяется расплавление шлака и определение температуры, таким образом, с помощью измерительной техники (напр. Mei, Li, 2003, p. 114, tab. 9.4). Но и этот метод определяет лишь точку расплавления, а не достигнутую температуру.

В качестве вспомогательного метода для определения температуры выступал и рентгеноструктурный анализ. Метод определяет фазовый состав вещества на основе выяснения характеристик его кристаллической решетки (Скоков, 1983). Кристаллы различных минералов отличаются друг от друга сингонией, или формой кристаллической решетки, а также расстоянием и углами между ее плоскостями. Особенно полезным этот метод стал для определения модификаций кварца (Григорьев, 2000). Однако использование этого метода на практике дает ограниченное количество температурных точек, а именно формирование α-тридимита и α-кристобалита.

Поведение кварца при нагревании описывается классической диаграммой Феннера (Дир и др., 1966, 1966а, с. 221). Здесь нет необходимости перечислять все его фазовые переходы. Достаточно подчеркнуть, что кварц получается при остывании от 867 °C,

α -тридимит — от промежутка 867—1470 °С, α -кристобалит — от температуры свыше 1470 °С. Плавление кварца происходит в температурном промежутке 1670—1700 °С. Расплавленный кварц, остывая, образует кварцевые стекла. Однако растворение кварца в шлаке и образование оливина и стекла начинается и при более низкой температуре.

В реальных металлургических шлаках возможно сосуществование двух модификаций кварца. Допустим, что в образце присутствуют тридимит и кристобалит. Это означает, что температура при плавке превысила 1470°С, но продержалась на таком уровне недолго. Иногда, впрочем, образование кристобалита начинается и при более низких температурах.

Определение атмосферы плавки наиболее просто и, вместе с тем, наиболее субъективно. Это весьма важный параметр, поскольку от него зависит степень восстанавливаемости металла. Однако зависит он от множества факторов. Принципиальным является количество компонентов, содержащих кислород. Главными из таковых является воздух, подаваемый в печь и окисленная руда. Соответственно, металлурги, плавя окисленные руды, постоянно имели дело с дилеммой — при более интенсивном дутье происходит повышение температуры, но в печь поступает избыток кислорода, что мешает восстановлению меди. Успех во многом зависел и от качества угля. Но на этом проблемы не заканчиваются, поскольку атмосфера в печи может носить локальный характер. Экспериментальные работы показали, что в разных местах печи наблюдается окислительная и восстановительная атмосфера. Восстановительная атмосфера обычно распространяется на расстоянии более 15 см от воздуходувного сопла (Telecote, Merkel, 1992, p. 10). Это объясняется тем, что монооксид углерода не успевает сформироваться ближе к соплу. Соответственно, при небольшом диаметре печи легче достичь высокой температуры, но сложнее создать восстановительную атмосферу. Видимо, размер зоны той или иной атмосферы зависел также от скорости подачи воздуха в печь, и даже от размеров угля и других компонентов шихты.

По этим причинам, определяемая на основе анализа шлака атмосфера относится лишь к той области, где находилась руда. Кроме того, следует учитывать, что в ходе плавки атмосфера постоянной не была. Все это делает выводы по характеру атмосферы достаточно условными. К самым важным маркерам окислительной атмосферы в печи относится присутствие в шлаке значительных включений куприта. Часто таковым может выступать и оксид меди и железа делафоссит, формирующий характерные игольчатые кристаллы. На восстановительную атмосферу указывают такие минералы, как вюстит, фаялит, а также включения в отдельных случаях металлического железа.

Важной характеристикой минералов, кристаллизующихся из расплава, является их форма. Она зависит от многих факторов: от формы кристаллической решетки, присущей тому или иному минералу, от скорости охлаждения, от наличия компонентов, необходимых для формирования кристалла. На первой стадии кристаллизации образуются ее зародыши, вокруг которых постепенно формируются более крупные агрегаты. При быстром охлаждении формируются игольчатые кристаллы, при этом направление их роста (как и роста иных кристаллов), часто совпадает с направлением охлаждения. При более медленном остывании начинают формироваться дендритные, скелетные и идиоморфные кристаллы¹, вырастающие иногда до крупных призматических или таблитчатых. Последнее, впрочем, может не произойти в случае отсутствия необходимых компонентов. Поэтому исследование формы кристаллов, будучи очень информативным, все же информативно не до конца, и должно дополняться химическим анализом.

¹ Дендриты — минеральные агрегаты или индивиды разветвленной формы, состоящие из изогнутых индивидов, образующих единый двух- или трехмерный сrostок древовидной формы. Иногда состоят из скопления скелетных индивидов. Скелетными кристаллами считаются несовершенные пустотелые монокристаллические индивиды, внешне напоминающие контуры остова кристалла правильной формы. В отличие от дендрита имеют более совершенную форму (Перепелицын, 1987, с. 84).

Очень полезным в данном случае является исследование химического состава кристаллов с помощью сканирующего электронного микроскопа. Так, при подобном исследовании оливинов в шлаке синташтинской культуры было отмечено, что более мелкие кристаллы начали формироваться раньше, и они имеют более магниезильный состав, чем более крупные. Кроме того, оливины, могут иметь зональную структуру, различающуюся даже при исследовании с помощью обычного оптического микроскопа. Исследование различных участков зерен подобных кристаллов позволило определить, что формировались они на различных стадиях плавки. Более темные внутренние участки оказались более магниезильными. Соответственно, на разных стадиях охлаждения расплава формируется различный минеральный состав. Более того, при различной скорости охлаждения даже один химический состав может кристаллизоваться в различные фазы. При быстрой кристаллизации первичной фазой является шпинель (Перепелицын, 1987, с. 84).

Относительная скорость остывания расплава определялась по степени кристаллизации отдельных минералов, например, оливина. В условиях медленного остывания успевают сформироваться достаточно крупные кристаллы. При быстром же остывании кристаллизация либо не проходит вовсе, либо кристаллы образуют мелкие игольчатые или дендритные структуры (Текстуры и структуры руд, 1958, с. 67). Однако иногда отсутствие крупных кристаллов фаялита может объясняться не столько высокой скоростью остывания, сколько отсутствием в шихте необходимых компонентов для его формирования. В этом случае учитывались и формы кристаллов. Игольчатые кристаллы формируются обычно в тех случаях, когда скорость остывания была достаточно высока.

Скорость остывания тесным образом связана с вязкостью расплава. Обычно на высокую вязкость указывает значительное количество меди, оставшейся в шлаке. Однако иногда вязкость рассчитывалась по химическому составу шлака.

Существуют разные способы подсчета вязкости. На снижение ее влияют окислы кальция, магния, железа, марганца, титана, сульфиды. Увеличивают вязкость кремнезем и глинозем. Безусловно, на вязкость шлака существенное влияние оказывает не только химический состав, но и температура. Чем выше достигаемые температуры, тем ниже вязкость расплава. При этом характер изменений вязкости при разной температуре не является одинаковым для шлаков разного состава. Кроме того, в шлаке могут существовать нерасплавленные компоненты. Поэтому большее их число будет приводить к повышению вязкости всего расплава. Например, при расчетах вязкости по химическому составу невозможно учесть в каком виде представлены оксиды железа. Однако температура плавления вюстита, магнетита и гематита резко различается. Последние два оксида присутствуют обычно в шлаке в твердом виде, повышая вязкость расплава. Это довольно отчетливо заметно при оптическом изучении шлаков. В местах концентрации кристаллов магнетита обычно наблюдается повышенное содержание корольков меди, что указывает именно на более высокую вязкость.

Шлак негомогенен, и химический состав его может различаться в различных частях древней металлургической печи. Расплавленная медь будет способствовать снижению вязкости. Кроме того, вязкость шлака на разных стадиях плавки резко различается.

По всем вышеперечисленным причинам любые расчеты вязкости имеют весьма приблизительный характер. Они, как правило, не вполне корректны даже в строгой рамке, например, сделанные для определенной температуры. Тем не менее, они могут быть полезны для общих оценок и сопоставления шлака разных территорий и культур.

Группой немецких исследователей предложена формула для расчета вязкости шлаков при температуре 1400 °С (Vachmann u.a., 1987). Эта формула выглядит следующим образом:

$$\eta_{1400\text{ }^{\circ}\text{C}} = 4,9 / K_z - 0,45,$$

$$\text{где } K_z = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{SO}_3}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

В принципе, группировки оксидов здесь близки тем, которые применялись при расчетах основности шлака (см. ниже). Однако исключением является MgO, который, будучи основным оксидом, оказывает воздействие на повышение вязкости шлака. Это и вынуждает использовать несколько иную формулу расчетов.

Следует отметить, что вязкость шлака очень сильно зависит от исходной руды. Например, таблица вязкости для руды (таб. 0-2), выстроенная по мере повышения вязкости, выглядит следующим образом:

Таб. 0-2

Условная вязкость, рассчитанная для руд разного химического состава.

№	Памятник	Материал	K _z	η 1400 (Pa·s)
2158	Экспериментальная плавка № 9	Халькопирит	25,21	-0,26
2195	Экспериментальная плавка № 12	Халькопирит	21,81	-0,23
2126	Экспериментальная плавка № 5	Окисленная руда Дергамышского месторождения в ультраосновных породах	1,25	3,46
2161	Экспериментальная плавка № 10	Окисленная руда Ишкининского месторождения в ультраосновных породах	0,99	4,5
2106	Экспериментальная плавка № 4	Окисленная руда месторождения Никольское в кварцевых жилах	0,58	7,95
2103	Каргалы	Окисленная руда месторождения в медистых песчаниках	0,03	149,73

Халькопирит, благодаря обилию железа и серы, если строго следовать формуле, имеет минимальную вязкость при высокой температуре. Даже у окисленных руд, взятых с месторождения в ультраосновных породах вязкость выше, хотя она и незначительна.

Максимальной является вязкость руды с Каргалинских рудников, за счет обилия силикатного компонента.

Таким образом, при использовании сульфидных руд проще получить жидкотекучий шлак. Менее проблемной оказываются окисленные руды ультраосновных месторождений, и очень трудными для обработки являются окисленные руды из месторождений в силикатных породах.

Правда, ситуация для проблемной руды может быть исправлена с помощью использования флюсов. В противном случае высокие потери металла в шлаке неизбежны. Слиток меди в этом случае получить почти невозможно, и металлургам приходилось дробить шлаки для извлечения отдельных королек меди. Другой выход — это использование очень чистых кусков малахита. По археологическим материалам очень трудно оценить первичное соотношение руды и пустой породы в шихте. Шлак же отражает, преимущественно, химический состав последней.

Аналогичная таблица для шлака (таб. 0-3) будет выглядеть уже следующим образом:

Таб. 0-3

Вязкость, рассчитанная для шлаков разного химического состава

№	Памятник	K _z	η 1400 (Pa·s)
66	Верхняя Алабуга	35,83	-0,31
2173	Экспериментальная плавка № 11	25,39	-0,26
2193	Экспериментальная плавка № 11	17,28	-0,17
2186	Экспериментальная плавка № 11	16,61	-0,15

Продолжение таб. 0-3

№	Памятник	K_z	η 1400 (Pa·s)
2116	Экспериментальная плавка № 3	13,39	-0,08
1781	Аркаим	1,83	0,00
2145	Экспериментальная плавка № 6	9,29	0,08
2121	Экспериментальная плавка № 2	6,37	0,32
21	Атасу	5,35	0,47
26	Мыржик	4,8	0,57
2123	Плавка № 4	4,77	0,58
2212	Ужовой остров	2,83	1,28
2207	Гусева Гора	2,76	1,33
19	Атасу	2,6	1,44
1792	Аркаим	2,57	1,46
27	Мыржик	2,45	1,55
54	Вишневка	2,4	1,59
Gor-E09/3	Горный	2,15	1,83
483	Аякагитма 234	1,93	2,08
1923	Тюбяк	1,86	2,18
1789	Аркаим	1,86	2,19
46	Новоникольское	1,79	2,29
1799	Синташта	1,53	2,76
2144	Плавка № 6	1,51	2,8
590	Беш-Булак 1	1,45	2,94
588	Беш-Булак 1	1,44	2,96
18	Атасу	1,44	2,96
1937	Береговское	1,42	3,00
1946	Синташта	1,23	3,52
1285	Кузьминковское	1,16	3,78
1798	Синташта	1,14	3,85
2129	Плавка № 5	1,07	4,15
1303-1	Ивановское	1,03	4,31
1925	Тюбяк	0,98	4,56
44	Саргары	0,92	4,89
1333-1	Родниковое	0,9	4,97
1318-1	Покровское	0,89	5,09
1787	Аркаим	0,77	5,94
1304-1	Ивановское	0,75	6,09
Gor-E29/7	Горный	0,74	6,21
1344	Родниковое	0,72	6,33
2169	Плавка № 10	0,69	6,66
13	Петровка II	0,65	7,12
Gor-E10/1	Горный	0,64	7,17
Gor-E26/7	Горный	0,64	7,21
Gor-E01/5	Горный	0,63	7,3
580	Беш-Булак 1	0,6	7,68
Gor-E11/3	Горный	0,58	8
Gor-E12/1	Горный	0,57	8,13
Gor-E27/5	Горный	0,57	8,21
2063	Березовая Лука	0,56	8,23
Gor-E28/6	Горный	0,49	9,48
1941	Береговское	0,48	9,75

Окончание таб. 0-3

№	Памятник	K_z	η 1400 (Pa·s)
1942	Бирск I	0,47	9,91
Gor-E06/1	Горный	0,44	10,58
Gor-E23/5	Горный	0,39	11,97
Gor-E18/5	Горный	0,39	12,09
Gor-E25/6	Горный	0,37	12,8
Gor-E08/1	Горный	0,36	13,13
2037	Березовая Лука	0,34	13,83
Gor-E20/3	Горный	0,34	13,86
567	Беш-Булак 4	0,34	13,93
1355	Родниковое	0,34	14,04
Gor-E30/4	Горный	0,29	16,26
1356-2	Родниковое	0,29	16,4
Gor-1-5	Горный	0,26	18,42
2146	Плавка № 7	0,23	20,98
2047	Плавка № 7	0,22	22,24
53	Ак-Мустафа	0,21	22,6
Gor-E22/5	Горный	0,21	23,04
2044	Березовая Лука	0,2	24,15
Gor-E13/5	Горный	0,19	25,06
Gor-E19/8	Горный	0,17	28,41
2048-1	Березовая Лука	0,16	31,09
Gor-E21/5	Горный	0,12	41,9
Gor-E24/5	Горный	0,1	47
2030	Плавка № 5	0,05	108,4
2029	Плавка № 5	0,04	113,3
2074	Плавка № 11	0,02	323

Для шлаков синташтинской культуры (шлаки поселений Синташта и Аркаим) вязкость колеблется в диапазоне 1,46—6,2 Pa·s. Среднее значение вязкости составляет 3,25 Pa·s. Представительность выборки абашевских и раннесрубных шлаков Приуралья (Тюбьяк, Береговское, Бирск I) невысока. Однако колебания вязкости здесь выше — от 2,18 до 9,91 Pa·s. Среднее значение — 5,88 Pa·s.

Шлаки центральной части Казахстана эпохи поздней бронзы (Атасу, Мыржик, Ак-Мустафа, Саргары) дают еще более значительные колебания вязкости — от 0,47 до 22,6 Pa·s со средним значением 4,93 Pa·s.

Правда, следует учитывать, что при незначительной выборке подобные цифры получились в результате учета единичных шлаков с крайне высоким показателем этих значений.

Для Кызылкумов (Беш-Булак, Аякагитма) вязкость колеблется в пределах 2,08—13,93 Pa·s со средним значением 5,92 Pa·s.

Березовая Лука — колебание в пределах 8,23—31,09 Pa·s со средним значением 19,33 Pa·s.

Шлаки раннего железного века из районов Иртышских городищ в Зауралье дали низкие показатели 1,28 и 1,33 Pa·s, среднее значение — 1,3 Pa·s.

На поселениях эпохи поздней бронзы Зауралья и Северного Казахстана (Верхняя Алабуга, Вишневка, Новоникольское, Петровка II) вязкость колеблется от 0,31 до 7,12 Pa·s со средним значением 2,67 Pa·s.

На памятниках эпохи поздней бронзы Оренбуржья (Ивановское, Родниковое, Горный, Кузьминковское, Покровское) вязкость колеблется от 1,83 до 47 Pa·s. Среднее значение 13,3 Pa·s.

Таким образом, минимальные средние значения вязкости демонстрируют шлаки раннего железного века из районов Иртышских городищ (1,3 Pa·s), далее следуют шлаки позднебронзовых поселений Зауралья и Северного Казахстана и синташтинской культуры Зауралья (2,67 и 3,25 Pa·s), за ними шлаки эпохи поздней бронзы Центрального Казахстана, абашевские и раннесрубные Приуралья и шлаки из Кызылкумов (4,93; 5,88; 5,92 Pa·s). Наиболее высокой является вязкость шлаков Оренбуржья (13,3 Pa·s) и Березовой Луки (19,33 Pa·s).

Подобный результат вполне объясним. Низкая вязкость шлаков Иртышских городищ объясняется тем, что это шлаки железной плавки и содержание железистого компонента в них очень высоко. Кроме того, это наиболее поздние шлаки в проанализированной серии, с более совершенной технологией.

Низкая вязкость шлака синташтинской культуры объясняется тем, что в плавку поступала, преимущественно, руда из ультраосновных пород, с высоким содержанием компонентов, влияющих на снижение вязкости. Высокая вязкость в образцах с Березовой Луки и из Оренбуржья объясняется использованием руд из силикатных пород. При этом удивляет более высокая вязкость в шлаках Березовой Луки на фоне шлаков Оренбуржья.

Вязкость зависит от двух факторов — температуры и химического состава. Как и горные породы, шлаки делятся на несколько групп, различающихся по соотношению кислотных и основных оксидов (Перепелицын, 1987, с. 211—214). К основным оксидам относятся CaO, R₂O, MgO, FeO, MnO, к кислотным — SiO₂, P₂O₅, TiO₂, B₂O₃. Существует также группа амфотерных оксидов (Al₂O₃, Cr₂O₃, Fe₂O₃), которые в основных шлаках ведут себя как кислые, а в кислых как основные. Соответственно, вычисляются коэффициенты кислотности (К) и основности (О):

$$K = (\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO})$$

$$O = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3)$$

Если $K > 1$ ($O < 1$) шлак имеет кислый состав и наоборот.

Однако правомерней использовать более дробную классификацию (по В. В. Лапину), соответствующую геологической (таб. 0-4):

Таб. 0-4

Коэффициенты основности и кислотности, используемые при классификации шлаков

Группа шлаков	Кислотность	Основность
Ультраосновные	0—0,5	> 2,5
Основные	0,5—1	2,5—1,5
Средние	1—1,5	1,5—1
Кислые	1,5—3	1—0,5
Ультракислые	> 3	< 0,5

Но и здесь следует иметь в виду, что любые расчеты, сделанные по химическому составу, носят условный оценочный характер, поскольку они не учитывают количества нерасплавленных компонентов, повышающих вязкость вне зависимости от их химического состава из-за увеличения внутреннего трения.

Трудность в минералогическом исследовании шлаков заключается в том, что они являются достаточно сложной системой. Одна и та же микроструктура может быть результатом воздействия различных факторов. Так, слабая кристаллизация может отражать как высокую скорость остывания расплава (и, соответственно, какие-то технологические параметры), в результате чего кристаллизация просто не успела осуществиться, так и

недостаток компонентов для кристаллизации, а, следовательно, особенности рудной базы. Основные закономерности здесь следующие (Перепелицын, 1987, с. 82, 214). Ультракислые шлаки не кристаллизуются вообще. В кислых шлаках при затвердевании обычно образуется стекло. Кристаллические фазы представлены лишь минералами с высокой кристаллизационной способностью (шпинель, магнетит, ортосиликаты и др.). При медленном охлаждении могут формироваться дендритные, скелетные, реже идиоморфные (относительно совершенной кристаллической формы) кристаллы. Микроструктура шлаков среднего состава зависит от скорости охлаждения. При быстром охлаждении формируется стекло со скелетными кристаллами шпинелидов, сульфидов, реже ортосиликатов. При медленном охлаждении в теплоизоляционных формах шлаки могут приобрести полнокристаллическую структуру. Основные и ультраосновные шлаки даже при быстром охлаждении кристаллизуются полностью, образуя мелкозернистую структуру. При медленном охлаждении возможно формирование крупнокристаллических структур.

Спектральный анализ

Вторым методом, применяемым в данном исследовании достаточно широко, был спектральный анализ шлака и руды. Химические изучения металла, руды и шлаков Волго-Уралья и Казахстана имеют глубокую историю. Огромная работа по анализу металла первого региона была осуществлена Е. Н. Черных (1970), а металл Казахстана анализировался С. А. Агаповым (1990). Спектральный анализ абашевского и баланбашского (уральского абашевского) металла позволил разделить его на две основные химико-металлургические группы МП и ТК, связанные своим происхождением с плавкой руды из медистых песчаников Приуралья и рудника Таш-Казган. Вторая группа отличается повышенными концентрациями мышьяка и рассматривается как естественная бронза. Наблюдается также отчетливая закономерность преобладания меди ТК в баланбашской серии и меди МП в абашевской (Черных, 1970, с. 27, 28). В частности, предполагалось, что проанализированная руда с поселений Баланбаш и Урняк происходит с рудника Таш-Казган (Черных, 1970, с. 42). Наши исследования шлаков синташтинской культуры позволяют утверждать, что группа ТК является не только естественной мышьякосодержащей медью, связанной с различными месторождениями, но в большей степени искусственной бронзой, причем легирование производилось на стадии плавки руды (Григорьев, 2000а). Примечательно и то, что частотные гистограммы концентраций примесей в абашевском и баланбашском металле ТК имеют, в целом, идентичную конфигурацию, однако содержание мышьяка в баланбашской серии заметно выше (Черных, 1970, рис. 22), что можно объяснить только различной степенью легированности металла.

Основным диагностирующими элементами, использованными для отнесения металла к той или иной химико-металлургической группе, являются As, Sb, Sn, Pb, Ni, Ag, Bi (Черных, 1970, с. 17—31). Необходимо при этом иметь в виду, что между концентрациями олова, свинца и висмута наблюдается положительная корреляция, так как это геохимически связанные элементы, которые присутствуют часто в одних минералах. Весьма показательно то, что в диаграммах концентраций примесей в различных химико-металлургических группах эти элементы ведут себя сходным образом, показывая все вместе либо повышенное, либо пониженное содержание и часто повторяя конфигурацию диаграмм. Поэтому данные элементы могут отражать не только особенности месторождений, но в большей степени степень легированности металла оловом (Черных, 1970, с. 12, 21, рис. 8, 16, 20—24). Различия в диаграммах свинца в абашевской, баланбашской и срубной сериях группы МП (Черных, 1970, рис. 23) обусловлены, по-видимому, этим. Отклонения от этого правила могут объясняться не только особенностями отдельных

месторождений, но и различиями в распределении этих элементов между шлаком и металлом при разной температуре плавки.

Сочетание повышенных концентраций мышьяка и сурьмы характеризует химико-металлургическую группу ВК. Суммарное содержание этих элементов чаще колеблется в пределах 0,5—2,5%. Статистический подсчет показал, что присутствие этих элементов в сплавах является не случайным и можно говорить, по-видимому, о сурьмяно-мышьяковом легировании (Черных, 1970, с. 16, 17, 21). Вместе с тем, следует иметь в виду следующее обстоятельство. Сурьма часто замещает серу в сульфидных минералах мышьяка и других элементов. С другой стороны мышьяк, наряду с другими элементами (Ag, Au, Pt, Pb, Co, Ni, Mn, Sn, Zn, Se), может присутствовать как в виде примеси к сульфидным минералам меди, замещая серу, так и в виде арсенопирита в сульфидных медных месторождениях (Дир и др., 1966, с. 182). Поэтому сочетание таких элементов как As и Sb может отражать как эксплуатацию первичных месторождений меди, так и легирование арсенопиритом. С учетом того, что меди ВК свойственны повышенные концентрации и иных элементов, первый вариант мог встречаться, по-видимому, достаточно часто. Очень показательным фактом является то, что сурьмяно-мышьяковая примесь появляется в металле в тот период, для которого исследования шлаков фиксируют начало эксплуатации сульфидных руд.

Весьма показательным в этом плане является также то, что на территории Казахстана выделяется химико-металлургическая группа I, близкая по своим химическим характеристикам группе ВК Восточной Европы (Агапов, 1990, с. 11). Источником этой группы могли быть алтайские месторождения. Впрочем, для сейминско-турбинских памятников азиатской зоны подобная медь не характерна (Черных, Кузьминых, 1989, с. 166—170). Поэтому ее окончательное отнесение к искусственным сплавам или сульфидным месторождениям меди, обогащенным мышьяком и сурьмой, является проблематичным. Не исключено, что источником данной меди были обе эти причины.

Не слишком показательно для привязки к типам месторождения и содержание мышьяка. Как мы уже показывали в своих прежних работах (Григорьев, 1994, 2000а), появление в металле эпохи средней бронзы Волго-Уральского региона и Южного Зауралья группы меди ТК было связано не с эксплуатацией рудника Таш-Казган, а с преднамеренными лигатурами мышьякосодержащими минералами на стадии плавки руды. При этом эксплуатация каких-либо месторождений, имеющих мышьяк в качестве примеси к медной руде, включая Таш-Казган, тоже не исключена. Однако массовым это явление в тот период быть не могло, поскольку эксплуатировались преимущественно окисленные руды, где эта примесь очень редка, и в меньшей степени вторичные сульфиды. Наши исследования выявили также положительную корреляцию между мышьяком и никелем, что позволяет предполагать в отдельных случаях даже использование мышьяко-никелевых соединений для легирования. Подобная отчетливая зависимость никеля от мышьяка проявляется и в металле (см. Черных, 1970, рис. 3, 4). Следовательно, рост концентрации обоих этих элементов в металле, как и в случае с медью ВК, имел разные причины: легирование мышьяком и использование мышьякосодержащих медных руд. В случае с медью ТК ведущей была первая причина. С началом же эксплуатации сульфидных руд может возрастать доля мышьякосодержащей меди, полученной при плавке соответствующей руды.

Таким образом, единственным элементом, который менее зависим от такой причины, как легирование, является серебро. Из этого можно сделать лишь один вывод. В подавляющем большинстве случаев выделяемые химико-металлургические группы отражают легированность металла и тип месторождения (окисленное или сульфидное). Указывать на конкретное месторождение или даже на крупный район, где оно располагалось, эти группы не могут.

Вероятно, исключением в данном случае является медь МП, поскольку на фоне относительной своей чистоты она характеризуется повышенными концентрациями серебра (Черных, 1970, с. 17). В настоящее время предполагается, что ввиду нехватки леса в округе Каргалов и огромных масштабов производства, там могла производиться лишь ограниченная выплавка местных руд. Большинство вывозилось в иные районы, порой в отдаленные. В Башкирии, в том числе на памятниках по р. Белой обнаружены следы плавки руды, сходной с каргалинской (Черных, 1997, с. 67, 68). Тем не менее, утверждения о том, что металл этого ареала химически сопоставим с каргалинскими рудами (Черных, 1997, с. 67, 68) не вполне оправдано, поскольку серебро является очень типичной примесью для медистых песчаников Башкирской зоны вообще (Наркелюн и др., 1983, с. 12). На основании сопоставления микропримесей в меди в принципе невозможно привязать этот металл или песчаниковую руду к какому-либо конкретному ареалу. Данная проблема лежит за пределами возможностей спектрального или минералогического анализов, тем более, что геохимия месторождений этого типа в Приуралье весьма однородна (Черных, 1970, с. 37, 48). Следует учитывать, при этом, также возможность того, что в группу МП могут попадать изделия, выплавленные из окисленной руды месторождений иных типов, отличающихся, при этом, повышенными концентрациями серебра. Тем не менее, с учетом этой оговорки, мы можем предполагать, что данная группа, по преимуществу, связана именно с медистыми песчаниками Приуралья. К сожалению, в последнее время ситуация с группой МП усугубилась, и был сформулирован тезис о том, что вся она не просто связана с медистыми песчаниками, а с Каргалинскими рудниками. Более того, даже медь с явными примесями рассматривается как медь каргалинская, к которой добавлен иной металл (Черных, 2007, с. 66). Остается сказать лишь одно. Ни один сегодняшний аналитический метод, а тем более спектральный анализ, не дает оснований для подобных суждений.

Еще одна группа Волго-Уралья — ЕУ — характеризуется, главным образом, пониженными концентрациями серебра. Происхождение ее связывается с рудниками Еленовка и Уш-Катты в Примугоджарской зоне (Черных, 1970, с. 17, 22, 40). Однако не исключено, что эта группа может отражать более широкий спектр окисленных зон разных месторождений Оренбуржья, Мугоджар и Зауралья.

В целом, в настоящее время многие исследователи скептически относятся к прежним результатам спектральных анализов металла. В зарубежной литературе сейчас трудно найти ссылки на прежние работы по анализу европейских изделий. Определенный скепсис к этой проблеме имеется и у нас в стране. Мне хотелось бы все же подчеркнуть, что выделяемые с помощью данного анализа группы имеют объективный характер, хотя их трактовка и требует значительного переосмысления.

В силу вышеназванных причин в данном разделе необходимо обсудить возможности применения эмиссионного спектрального анализа для исследования руды и шлаков. В первую очередь, этот аналитический метод недостаточно достоверен. В нашей стране методически наиболее надежными были исследования, осуществляемые лабораторией естественнонаучных методов ИА РАН. Однако повторное изучение с помощью современных методов химического анализа балканского металла, проанализированного в Москве, показало, что целый ряд диагностически важных элементов был определен недостаточно достоверно. В результате, из выделенных химических групп металла лишь отдельные группы совпали с группами, выделенными Е.Н.Черных (Pernicka et al., 1997, p. 88—89, 102—106, 118). Тем не менее, при сравнении серии анализов старого проекта SAM по Иберии, где использовался эмиссионный спектральный анализ с данными современных аналитических техник (нейрон-активационного и атомно-абсорбционного анализов) оказалось, что анализы вполне сопоставимы (Müller, Pernicka, 2009, p. 303).

Кроме проблем чисто аналитических, существуют проблемы анализируемого материала. Хорошо известно, что элементы-примеси распределены в руде весьма неравномерно, что делает возможным сопоставление образцов руды лишь на статистическом уровне; метод неприменим при сопоставлении отдельных образцов. Эта ситуация сохраняется и при анализе черновой меди, на которую оказывают дополнительное воздействие флюсы. Например, по мнению А. Палмиери, К. Серток и Е. Н. Черных исследование микропримесей дает сомнительные результаты, поскольку они различаются в разных частях одного объекта; образцы с месторождений не отражают характер его микропримесей в других частях; могут добавляться иные минералы и флюсы; оказывают воздействие переплавки (Palmieri et al, 1993, p. 577).

Очень показательные эксперименты были осуществлены У. Цвиккером. После плавки руды полученная медь была проанализирована. В результате этого анализа выяснилось, что примеси в металле распределены неравномерно. Для получения гомогенного сплава требовалась переплавка (Zwicker, 1980, p.15). Однако относительно корректный результат можно получить лишь в том случае, если металл не смешивался с другим металлом сразу или впоследствии при переплавке лома. А в эпохи средней и поздней бронзы доля переплавленного металла резко возросла, что в значительной степени затрудняет корректное выделение химико-металлургических групп (Черных, 1970, с. 11, 12). Нам, к сожалению, не известна степень утилизации металла той или иной древней культуры, но она была, по-видимому, достаточно велика. Однако этим проблемы не ограничиваются. Даже плавка руды одного месторождения, с использованием одного типа флюсов и без последующих переплавок, может дать в результате совершенно различную картину микропримесей в металле. Очень часто такие элементы в меди как Ni, As, Sb и Ag используются в качестве диагностирующих при определении источника исходного сырья. Однако исследование британских ученых показало, что в этом вопросе они не имеют никакого значения, поскольку их содержание в значительной степени зависит от характера технологии (главным образом, от температуры) производства металла (Pollard et al., 1990, p. 135).

Все вышеперечисленное ограничивает использование метода эмиссионного спектрального анализа лишь рамками выявления характера лигатур. Однако, как будет показано далее, выделяемые на его основе химико-металлургические группы все же носят вполне объективный характер. Сопоставление данных по элементам-примесям на основе эмиссионного спектрального анализа с данными метода масс-спектрометрии на материалах Франции показало, что корреляция элементов в руде и шлаке сравнительно неплохая, хотя проблемы имеются (Verthoud et al., 1980, p. 87, 93). Это вполне естественный результат, так как в шлак поступает, преимущественно, пустая рудная порода.

Наши спектроаналитические исследования базировались на анализе шлака. Шлак довольно редко анализируется данным методом, поскольку считается, что это негетерогенная структура, поэтому результаты анализа будут давать значительный разброс. Чтобы снизить вероятность этого мы отбирали для анализа достаточно крупные пробы, около 5—10 г, измельчали их и лишь потом анализировали. Анализ проводился на приборе ISP-30, № 740521 в Челябинской геологоразведочной экспедиции. Полученные результаты обрабатывались с помощью Brookhaven Data Handling Programs.

Здесь необходимо оговорить саму правомерность применения подобного анализа. Проблема перехода микропримесей из руды в шлак и металл является довольно важной для решения ряда проблем древней металлургии. В особенности это касается проблемы соотношения шлаков и руд, обнаруженных на каких-либо конкретных поселениях, а также возможность связи шлака с конкретным рудником. На данном этапе исследований эта проблема почти неразрешима. Тем не менее, необходимы какие-то оценочные суждения о самой возможности связи шлака с той или иной рудной базой, основываясь на его

химическом составе. Подобные исследования предпринимались Е.Н. Черных (1970, с. 11). Он анализировал руды, шлаки и металл с помощью спектрального анализа с целью определения закономерностей перехода элементов в шлак и руду при металлургических переделах. При этом основное внимание уделялось проблеме соотношения металла и руды, что вполне естественно в силу задач, стоявших перед исследованием. В данном случае мы не будем обсуждать проблему перехода элементов в металл и сконцентрируем свое внимание на шлаке. К группе с понижающим коэффициентом перехода элементов в шлак Е.Н. Черных отнес Ag, Sb, Au, As, Bi. К нейтральной группе — Ni, Pb, Sn, Zn, Co. К группе с повышающим коэффициентом отнесены Mn, Ti, V, Mo. При этом указывались довольно большие коэффициенты данного перехода — 10—100. Наш опыт работы со шлаками средней бронзы (Григорьев, 2000а), а также последние работы со шлаком поздней бронзы показали, что столь высоких коэффициентов химических различий между рудой и шлаком не существовало. С целью выявления значений данных коэффициентов была предпринята работа с результатами спектрального анализа руды и шлака с памятников Северной Евразии. Из более чем 800 имевшихся на тот момент в нашем распоряжении анализов мы отобрали лишь те из них, где проанализированы руды и шлак с одного памятника. Необходимо отметить, что на каждом отдельно взятом памятнике руда и шлак, если они представлены единичными экземплярами, могут быть не связаны друг с другом. Однако сопоставление всей выборки позволяет наметить наиболее общие закономерности. Всего были использованы материалы 14 памятников: 155 анализов шлака и 106 — руды (Таб. 0-5). Из таблицы хорошо видно, что подавляющее число памятников (и, соответственно, анализов), где были проанализированы и шлак и руда, относятся к синташтинской культуре (Аркаим, Устье, Синташта, Ягодный Дол).

Таб. 0-5

Количество анализов руды и шлака, использованных для расчета закономерности перехода элементов-примесей

Поселение	Шлак	Руда
Аркаим	55	12
Бурли	1	1
Ильяска	27	12
Иткуль	1	1
Мыржик	1	1
Новобарятино	3	1
Петровка	2	1
Родники	3	1
Сергеевка	2	3
Синташта	16	38
Таш-Казган	2	4
Устье	41	30
Ягодный Дол	1	1
Всего	155	106

Это накладывает определенные ограничения на сделанные выводы, поскольку в синташтинской металлургии использовались, преимущественно окисленные руды и вторичные сульфиды. Во-вторых, имело место легирование мышьяком на стадии плавки руды, причем легирующий минерал содержал и более высокие концентрации никеля. Поэтому результаты по мышьяку недостоверны, а по никелю требуют некоторой коррекции в сторону понижения.

Данные спектрального анализа по отдельным элементам суммировались и делились на количество анализов. В результате были получены усредненные значения содержания того или иного элемента в шлаке и руде. Сопоставление этих значений позволило вы-

вести коэффициенты перехода элементов из руды в шлак. Правда, ряд элементов (Cd, Bi, W, Sn, Sb) демонстрирует, как правило, нулевые значения, поэтому выведенные для них коэффициенты статистически абсолютно не достоверны и, возможно, ошибочны. Эти элементы и мышьяк, привносимый в данные шлаки в качестве лигатуры, выделены в таблице (Таб. 0-6).

Таб. 0-6

Коэффициенты перехода элементов-примесей из руды в шлак
Выделены статистически недостоверные элементы

Группа		
понижения	нейтральная	повышения
Ag 0,001	V 0,91	As 1,31
Cd 0,1	Be 0,93	Ge 1,335
Bi 0,125	Mo 1,186	Ti 1,571
Sr 0,235	Sc 1,217	Zr 2,1
Pb 0,238	Mn 1,22	Ga 2,25
Ba 0,353		Cr 2,374
Ni 0,375		Sn 12
Zn 0,392		Sb 13
Co 0,489		
W 0,5		
Yb 0,594		
Y 0,605		

Таким образом, к элементам с понижающим коэффициентом рассматриваемого перехода, относятся Ag, Sr, Pb, Ba, Ni, Zn, Co, Yb, Y. В шлаке их содержание понижается. Коэффициент этого понижения для разных элементов колеблется от 0,235 до 0,605. Максимальный коэффициент 0,001 выявлен для серебра. Относительно нейтрально себя ведут V, Be, Mo, Sc, Mn. Увеличивают свои значения Ge, Ti, Zr, Ga, Cr. Коэффициент увеличения колеблется от 1,31 до 2,374. Таким образом, мы не наблюдаем значительных отклонений в содержании основных элементов, что позволяет сопоставлять химические анализы шлака с анализами руды. Необходимо, впрочем, иметь в виду, что эти данные корректны для плавок окисленных руд, причем при довольно полном оседании меди из шлака, что было свойственно синташтинской культуре. Для плавок сульфидных руд картина может быть иной, поскольку они, с одной стороны, больше загрязнены примесями, с другой — плавка их велась при более высокой температуре. Поэтому поведение элементов-примесей в этих условиях менее предсказуемо. Но в том, что поведение элементов-примесей зависит и от типа руды, убеждены многие исследователи (Бровендер, Шубин, 2008, с. 2).

Вероятно, эти коэффициенты неприменимы и к плавкам окисленных руд в условиях окислительной атмосферы, что вело обычно к высокому содержанию меди в шлаке. Например, эксперименты с рудой, шлаком и слитками с археологических памятников показали, что никель и кобальт переходят (в отличие от наших результатов и результатов Е. Н Черных), преимущественно, не в слитки металла, а в шлак. Но это в слитках, где отмечено формирование куприта, то есть, в условиях окислительной атмосферы. В слитках с включениями сульфидов содержание этих элементов выше (Zwicker et al., 1980, p. 140). Поэтому для всех этих типов шлака необходимо делать отдельные расчеты. Кроме того, необходимо помнить и об определенной условности данных коэффициентов, отражающих наиболее общие тенденции. В реальной ситуации коэффициент этого перехода будет зависеть еще и от соотношения меди и пустой породы в руде, а это соотношение на разных памятниках могло быть очень различным.

Для шлаков (27 образцов) и руды (21 образец) поселения поздней бронзы Ильяска получены несколько иные коэффициенты (таб. 0-7). Однако использованная выборка слишком мала. Поэтому уточнение данных коэффициентов для памятников поздней

бронзы дело будущего. Тем не менее, различия все же не столь значительны. Ощутимы они лишь для мышьяка, что объясняется легированностью этим элементом во многих образцах первой выборки.

Таб. 0-7

Коэффициенты перехода элементов из руды в шлак (пос. Ильяска)

Группа		
понижения	нейтральная	повышения
Ag 0,08	Cr 1,083	Mn 1,595
Pb 0,091		V 2,1
Sr 0,105		Sc 2,17
Ni 0,157		Zr 2,41
Ba 0,187		Ti 2,779
Co 0,253		Be 3,482
Zn 0,267		Mo 7,799
Ge 0,296		
As 0,4		

Для плавков окисленных руд при не слишком высоких температурах и в условиях окислительной атмосферы, что характерно для ряда образцов Казахстана, Башкирии и Оренбуржья, данные коэффициенты могут быть не столь значительны, поскольку эти шлаки содержат значительное количество включений меди и куприта. Поэтому их химический состав будет не слишком отличаться от исходной руды, которая, надо сказать, сама по себе неомогенна и может демонстрировать значительные вариации на различных участках рудного поля. Тем не менее, результаты любых анализов носят вполне объективный характер, хотя и не могут рассматриваться в качестве абсолютных доказательств. Таким образом, применение спектрального анализа к шлаку все же вполне возможно. Это будет давать вполне объективные группировки, однако трактовка полученных группировок как относящихся к какому-либо конкретному руднику будет абсолютно неправомерной.

Вместе с тем, столь незначительные коэффициенты показывают, что анализы шлака, в принципе, все же можно сравнивать с анализами руды. Хотя шлак и менее гомогенен по сравнению с металлом, у него есть одно неоспоримое преимущество. Огромная масса металла неоднократно переплавлялась и часто смешивалась с другим металлом. Шлак плавился из руды только один раз. Однако и со шлаком существуют свои специфические проблемы, а именно, переход элементов из обмазки или компонентов шихты, что будет обсуждаться при описании экспериментальных работ. Поэтому абсолютно достоверным данный анализ не является и для шлака.

Проблема определения рудного источника

Как уже было показано выше, метод спектрального анализа даже при анализе шлака или руды (не говоря уже о металле) не позволяет установить связь не только с конкретным месторождением, но даже с группой месторождений определенного региона. В полной мере это относится и к рентгенфлюоресцентному анализу. Используемый широко в данной работе минералогический анализ позволяет определить лишь тип рудовмещающей породы. Однако порода одного типа может быть в различных, довольно удаленных друг от друга месторождениях.

В современной археометаллургии для решения этой задачи широко применяется изотопный метод. Он основан на том, что при металлургических переделах соотношение трех изотопов свинца в шлаке, руде и металле остается неизменным. Это, как будто, выгодно отличает его от иных химических методов, и дает возможность для непосредственного сопоставления металла и руды. Однако слишком уповать на этот метод не следует, поскольку он имеет свои проблемы. Часто отдельные образцы в корреляционных графиках располагаются на одной прямой, различаясь лишь местом на этой пря-

мой. Есть еще одна странность. В корреляционные графики, исходя из установки о том, что важно соотношение изотопов, вносятся именно соотношения изотопов: $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и т. д. (см., например, Gale, Stos-Gale, 2002, fig. 2-4). В результате, в этом случае мы получаем математический абсурд, когда мы вправе сократить знаменатели и работать только с числителями. Поэтому в реальности производится сопоставление всего лишь по паре изотопов, что и располагает образцы на одних прямых. Это заведомо (чисто графически) не позволяет различать группы образцов из большого количества месторождений (рис. 0-8). Кроме того, данный график отражает лишь весьма простой факт — чем больше свинца, тем больше его изотопов. А это, строго говоря, уже не изотопный анализ. Эти мысли не следует рассматривать в качестве призыва отказаться от использования данной методики, но и абсолютно доверять ее результатам тоже не следует. Есть множество случаев, показывающих, что этот метод прекрасно справляется со своими задачами, когда образцы разных месторождений располагаются вдоль параллельных линий (см. напр. Gale et al., 2003). Но когда речь идет о серии месторождений

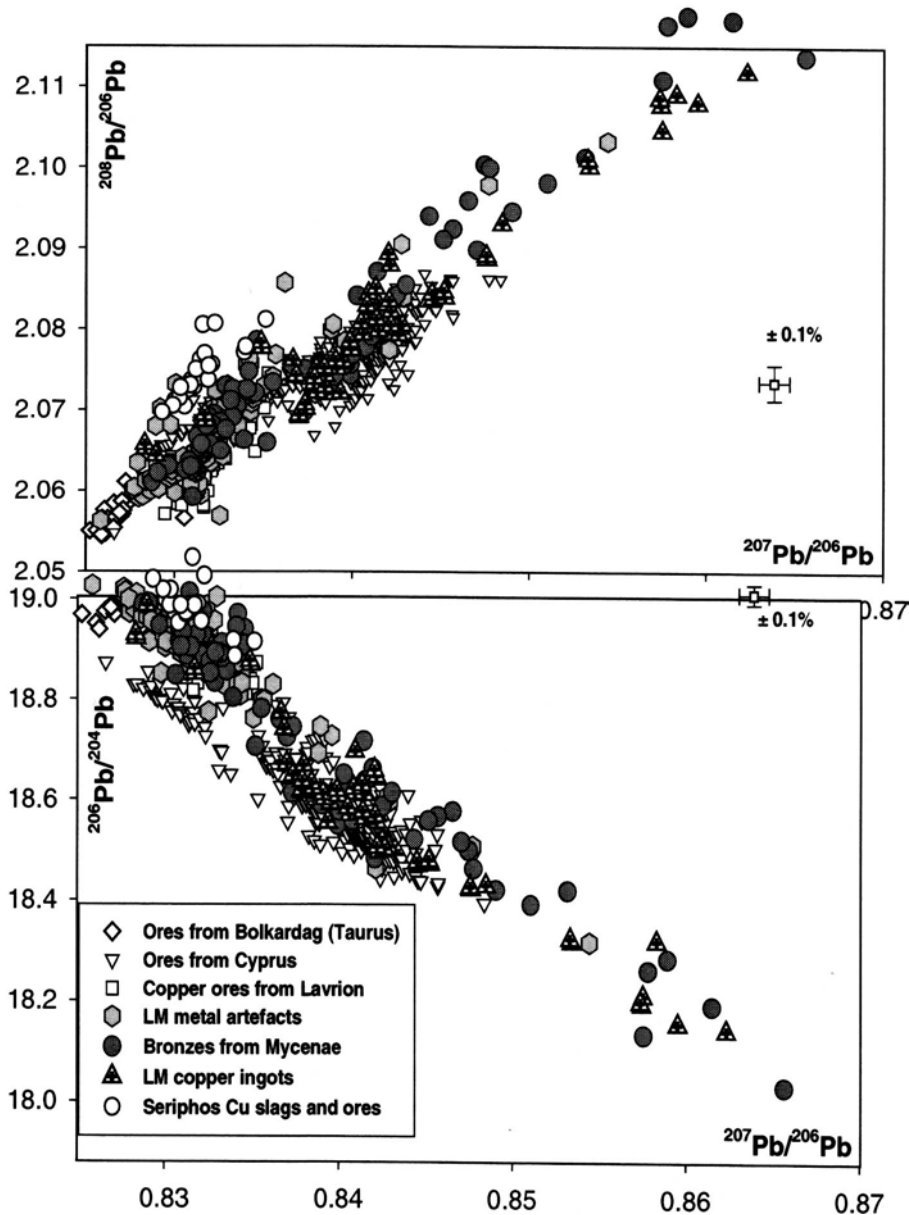


Рис. 0-8. Диаграмма соотношения изотопов свинца (по Gale and Stos-Gale, 2002)

(а при большой выборке металла это так), часть этих линий будет накладываться друг на друга. Следовательно, в тех случаях, когда два комплекса металла (шлака или руды) различаются, мы можем надежно констатировать это различие. Но если линии сливаются, это далеко не всегда означает, что мы вправе делать вывод об одном источнике.

Есть и другие проблемы. Исследования в разных регионах, например, в Армении, Сербии и Болгарии показали, что на месторождениях изотопный состав может варьировать, а состав микропримесей остается постоянным. В изделиях набор микропримесей зависит еще от характера обработки (Рындина, Равич, 2012, с. 12, 13). Исследование руд в Юго-западной Британии тоже показало, что соотношение изотопов одного рудного поля может сильно различаться в разных зонах, и там этот метод не применим (Craddock, Craddock, 1996, p. 61).

Вероятно, выходом из этой проблемной ситуации является применение целого ряда аналитических методов и корреляция результатов этих методов. Одним из таковых может быть исследование химического состава хромшпинелидов с помощью сканирующего электронного микроскопа. Однако метод этот не универсален и применим исключительно к материалам синташтинской культуры. Перспективы использования этого метода именно для синташтинской металлургии очень велики в силу трех обстоятельств:

1. В отличие от металлургии поздней бронзы, синташтинская металлургия базировалась на плавке ультраосновных руд, поэтому руда и шлак почти всегда содержат включения хромшпинелидов, что характерно и для месторождений данной группы.

2. Хромшпинелиды очень тугоплавки и их химический состав не изменяется при плавке руды, поскольку они практически не взаимодействуют с иными компонентами плавки, как показали наши многочисленные исследования синташтинских шлаков. Этим они отличаются от всех прочих компонентов и от химического состава руды и шлака в целом.

3. В пределах одного месторождения химический состав хромшпинелидов довольно близок и может рассматриваться в качестве важного диагностического признака.

Осуществленное на основе этих анализов конструирование фазовой диаграммы $Fe_2O_3 - Al_2O_3 - Cr_2O_3$ позволяет сопоставить химический состав хромшпинелидов в шлаке и исследованных месторождениях.

Еще одним из методов, которые могут оказать помощь в решении поставленных вопросов, является выявление специфических минералов, характерных для определенных месторождений и химический анализ шлака. К сожалению, в шлаке, в результате металлургических реакций, эти минералы могут не сохраниться, а химический состав сильно трансформироваться. Помощь в решении проблемы могут оказать петрохимические расчеты химического состава.

Исследования химического состава шлака в целом позволяют судить о составе рудовмещающей породы. Такое определение может быть сделано с помощью стандартных петрохимических расчетов. В настоящем исследовании была использована программа Minpet. Однако здесь следует сделать целый ряд оговорок. Эти расчеты были бы корректны в том случае, когда в плавке использована только руда. Однако в случае использования флюсовых добавок мы неминуемо получаем искаженный результат. Правда, наше исследование больших серий шлака эпохи средней и поздней бронзы Урало-Иртышского междуречья позволило усомниться в широком использовании флюсовых добавок. Можно вполне определенно говорить о том, что синташтинская металлургия эпохи средней бронзы таковых почти не знала. Тем не менее, синташтинцы добавляли в плавку фрагменты костей животных, что приносило в шихту кальций и калий, способствуя созданию более жидкого шлака. Попадавший при этом в плавку фосфор способствовал повышению температуры при экзотермальной реакции его горения.

Это обстоятельство заставляет сомневаться в определении Са-содержащих пироксенов, таких как волластонит¹. В силу той же причины сомнительны определения апатита, нефелина и лейцита — минералов, содержащих Са и К. Реконструкция некоторых иных компонентов шихты, например оливина и пироксена, в силу близости их химического состава, тоже не может быть признана удовлетворительной. Поэтому данный метод имеет лишь оценочный характер и может использоваться лишь как дополнение к основной методике. Следует оговорить еще одно обстоятельство. В нижеследующем тексте упоминается обнаружение с помощью данных расчетов того или иного минерала в шлаке. Но имеются в виду вовсе не минералы, реально присутствующие в шлаке, а нормативный минеральный состав, реконструируемый на основе пересчета химического анализа.

Существует еще одна оговорка. Минеральный состав зависит не только от химического состава, но и от скорости охлаждения расплава. Поэтому часто он не соответствует теоретическому, определенному на основе петрохимических пересчетов. Соответственно, с учетом сделанных оговорок, данный метод носит лишь оценочный характер, но позволяет, все же, более уверенно говорить о типе рудовмещающей породы.

База исследования

В общей сложности анализу было подвергнуто 2331 образец руды и шлака, происходящих с памятников, расположенных в ареале от Дона до Алтая и Средней Азии. В этой выборке учтено и некоторое количество анализов экспериментальных образцов. Всего было сделано 2628 различных анализов, из них 1184 спектральных анализа, 738 минералогических анализов с помощью оптического микроскопа, 467 анализов с помощью сканирующего электронного микроскопа, 74 химических анализа, 42 рентгеноструктурных анализа, 88 рентгенфлюоресцентных анализов металла и 135 визуальных минералогических определений руды².

К сожалению, эти цифры лишь кажутся значительными. В действительности для такой огромной территориальной и временной протяженности они ничтожны. Связано это не только с трудоемкостью всех исследовательских процедур, но, зачастую, и с отсутствием материала. Так, данные по энеолитической металлургии региона ограничены лишь несколькими образцами, а данные по металлургии периодов ранней и средней бронзы попросту отсутствуют. Лишь самый финал средней бронзы хорошо представлен памятниками синташтинско-абашевского времени.

Эпоха поздней бронзы в выборке отражена тоже очень неравномерно. Основной массив данных происходит с памятников срубной культуры. Шлаковые материалы Зауралья и Казахстана представлены несопоставимо хуже. Но даже на этом фоне данные по производству в эпоху финальной бронзы, с учетом огромного количества изделий этого времени, выглядят удручающе, а по раннему железному веку они и вовсе отсутствуют. Все это отчасти объясняется конкретными исследовательскими ситуациями, но отчасти отражает какие-то иные реалии, например, частичный перенос производства на рудники или увеличение роли обменных операций и территориальную специализацию.

Археологические культуры Северной Евразии

Прежде чем приступить к описанию культур, материалы которых анализируются в настоящей работе, а также историко-культурных процессов, в рамках которых осуществлялось развитие металлургического производства в Северной Евразии, следует коснуться принятой здесь периодизации. Рассматриваемые в настоящей книге материалы относятся к эпохе энеолита, ранней, средней и поздней бронзы, а также раннего железного века. Отнесение тех или иных культур к эпохе энеолита особых проблем

¹ Информация по отдельным минералам взята из издания Дир и др. (1965, 1966, 1966а).

² Автор выражает признательность многим коллегам, оказавшим помощь в сборе этого материала.

не вызывает, хотя, как будет показано ниже, зачастую и это довольно дискуссионно. Однако многочисленные проблемы возникают с отнесением иных материалов к той или иной эпохе. Так, синташтинскую культуру мы рассматриваем в рамках эпохи средней бронзы (Григорьев, 1994, 1999, с. 34). Но часто говорят о переходном периоде от средней к поздней бронзе и даже о начале периода поздней бронзы. Множество проблем появляется и при соотношении материалов различных территорий. Поскольку мы будем касаться материалов огромного ареала, существенной проблемой является то, что в различных регионах используются разные периодизации. В Восточной Европе выработана более-менее стройная система, восходящая к В. А. Городцову, который, выделив ямную, катакомбную и срубную культуры, соответственно отнес их к ранней, средней и поздней бронзе. Впоследствии и в европейской и в азиатской зоне Евразии стала выделяться эпоха финальной бронзы. Однако на ряде территорий поздние ямные комплексы существуют и в эпоху средней бронзы. Кроме того, городцовская периодизация не привязана к строгим историко-металлургическим критериям, и отличается по принципу от периодизаций, принятых в Центральной и Западной Европе, где материалы, соответствующие энеолиту, рассматриваются в последнее время в рамках медного века. Ранняя бронза, если исходить из самого термина, может отсчитываться лишь со времени появления мышьяковых лигатур. Таковые в ямных комплексах встречаются, но отражают, по-видимому, лишь кавказские импорты. В Оренбуржье, где ямники плавил руду сами, подобные лигатуры не известны. Поэтому, если исходить строго из этимологии терминов, в качестве ранней бронзы следует рассматривать абашевско-синташтинские комплексы.

Однако это универсальная проблема. Так, в докерамическом неолите Месопотамии уже встречаются единичные металлические изделия (Рындина, Яхонтова, 1989, с. 306, 308). В неолите их число растет. При этом речь идет, безусловно, об использовании самородной меди. Разделение медного века и энеолита очень проблематично. Более того, в Западной Сибири и на Урале большинство энеолитических комплексов металла не содержит. Мы просто знаем, что он был известен в регионе в эту эпоху. Однако во всем остальном отличить энеолитические материалы от неолитических может лишь специалист, знакомый с типологией керамики региона.

В Казахстане и Западной Сибири используемые периодизационные схемы вовсе не привязаны к тем, которые имеются в Восточной Европе, на фоне стадильной сопоставимости материалов. Используются понятия «ранняя», «средняя», «развитая», «поздняя», «финальная бронза», причем это разделение достаточно произвольно на каждой территории.

Еще сложнее ситуация в контактных ареалах, особенно в лесной зоне, когда рядом с позднебронзовыми культурами существуют культуры неолитического облика. Обозначение эпохи для региона превращается в проблему предпочтения.

Перечисление подобных парадоксов можно продолжать до бесконечности, однако в этом нет особой нужды, поскольку из всего сказанного ясно, что имеющиеся периодизации не имеют под собой достаточно жестких универсальных критериев, к тому же выработка подобных критериев вряд ли возможна, они всегда будут носить условный характер. Это надо понимать, и не абсолютизировать какой-либо из критериев. Представляется более разумным придерживаться устоявшейся терминологии. Поэтому, несмотря на то, что ямную культуру правильнее относить именно к медному веку, мы все же предпочитаем термин «эпоха ранней бронзы». Равным образом, абашевские и синташтинские комплексы правильнее относить именно к эпохе средней бронзы. Это соответствует и историко-металлургическим критериям, поскольку в этот период почти не встречаются оловянные лигатуры, а распространены мышьяковые. К тому же хронологически эти комплексы соответствуют поздним катакомбным памятникам, что

позволяет рассматривать их в рамках второго периода эпохи средней бронзы или СБВ II. Однако хронологически они соответствуют также елунинским и кротовским памятникам. Учитывая связь последних с сейминско-турбинскими, синташтинская и абашевская культуры могут быть синхронизированы, таким образом, с культурами позднего бронзового века Азиатской зоны, что объясняется тем, что стереотипы эпохи поздней бронзы распространялись с востока на запад вместе с движением сейминско-турбинских племен (Черных, Кузьминых, 1989). Подобное членение материала будет сохранено и в этой книге.

Прежний опыт работы в области истории древней металлургии позволяет утверждать, что те или иные особенности технологии или рудной базы, использовавшиеся в древности, были теснейшим образом связаны с крупными культурно-историческими процессами, протекавшими на нашем континенте. Суть этих процессов ранее излагалась мной в целом ряде работ (Григорьев, 1999, 2000а), однако здесь следует дать их наиболее общее описание.

Хотя наиболее ранние металлические изделия Северной Евразии относятся еще к энеолитической эпохе, свидетельств плавки металла в этот период крайне мало. Нет никаких надежных данных и о плавках руды в эпоху ранней бронзы, хотя медистые песчаники Южного Приуралья в это время наверняка эксплуатировались (Черных, 2002). Однако отсутствие поселений в этой зоне мешает изучению данной проблемы. По всей вероятности, позднеямные комплексы в этом регионе продолжают существовать и в эпоху СБВ I. Но данных о металлургическом производстве этого времени тоже нет.

Существенные изменения в Северной Евразии происходят в СБВ II. В XVIII в. до н. э. (в калиброванных значениях это происходит около конца III тыс. до н. э.) происходит миграция ираноязычных племен из Сиро-Анатолийского региона в Южное Зауралье. Это привело к формированию синташтинской культуры Зауралья, а затем потаповского типа памятников в Поволжье. Параллельно, в Восточной Европе формируется ряд абашевских культур. Вероятно, с некоторым отставанием от описанного процесса, в XVII в. до н. э., (или в начале II тыс. до н. э. по радиоуглеродной хронологии) существенные культурные трансформации происходят и на востоке описываемого региона. Проникновение племен, носителей сейминско-турбинских традиций в металлообработку на Алтай приводит к появлению здесь елунинской культуры, а впоследствии, с распространением этого процесса в западном направлении, к формированию ряда культур южных районов Западной Сибири — кротовской, ташковской. Каким-то образом с этим процессом были связаны вишневецкие, и одиновско-крохалевские комплексы. Распространение сейминско-турбинского комплекса в Приуралье привело к появлению в Волго-Камье соответствующих могильников и памятников чирковской культуры. Этот миграционный процесс оказывает определенное воздействие на синташтинскую и абашевские культуры. Начинаются дезинтеграция синташтинской системы и миграции популяций в Восточную Европу. В результате, в лесостепи и степи Восточной Европы на базе синташтинских, абашевских, полтавкинских и позднекатакомбных популяций формируется срубная культура. В Южном Зауралье идет формирование алакульской культуры. В основе ее лежали синташтинские комплексы. Распространение алакульской культуры на восток приводит к подавлению родственной петровской традиции, сформировавшейся в Северном Казахстане ранее, на базе той же синташтинской культуры. В результате, в XVI в. до н. э. оформляется очень крупный срубно-алакульский культурный блок. Основным культурным компонентом, лежащим в его основе, является, таким образом, синташтинская культура.

Отдельные алакульские и срубные популяции проникают в Среднюю Азию. Срубное проникновение ограничивается Восточным Прикаспием, а алакульское осуществляется восточнее, вплоть до Киргизии. Однако говорить о том, что это проникновение было

массовым и достигало Ирана и Афганистана не приходится, хотя такое убеждение встречается в российской археологии.

Уже в XVI в. до н. э. начинаются новые процессы. Они связаны с продвижением на Алтай федоровских племен. С Алтая эти племена начинают распространяться широким потоком на запад. Полоса их движения включала в себя степную зону, лесостепь и южную часть леса. В степи и лесостепи эти племена активно взаимодействовали с алакульскими племенами, что приводит к формированию серии синкретических типов. В лесной зоне наблюдается взаимодействие этих племен с носителями прежних культурных традиций, в том числе сейминско-турбинской. В результате, начинается формирование черкакульской, а затем межовской культуры Зауралья. Этот процесс продолжается и в Восточной Европе, где фиксируются федоровские и черкакульско-межовские проникновения, и формируются приказанская и сусканско-лебяжинская культуры.

В XIV—XIII вв. до н. э. в степной и лесостепной зоне Северной Евразии происходит оформление культур финальной бронзы, характеризующихся валиковыми украшениями верхней части сосуда. В европейской части это ивановская культура (или срубно-хвалынская), а в азиатской части саргаринская (или алексеевская, саргаринско-алексеевская). В основе своей они формировались на базе срубной и алакульской культур, однако в предшествующее время наблюдаются проникновения в степь населения с севера лесостепи и из лесной зоны (федоровское, межовское, сусканско-лебяжинское), а также допустимы импульсы с Северного Кавказа.

Наконец, в начале I тыс. до н. э. в степи археологические памятники почти исчезают. Исключением являются многочисленные белозерские памятники Северного Причерноморья, сформировавшиеся на основе сабастиновской культуры этого региона. Последняя же была обязана своим происхождением Северо-восточным Балканам, и потому эти культуры были не столь уж и связаны с культурами Северной Евразии, описанными выше. В Нижнем Поволжье известны немногочисленные нурские памятники. Неожиданно много памятников оказывается на востоке Сары-Арки в Казахстане, где появляются памятники донгальского типа, продолжающие саргаринскую традицию. Прежняя культурная традиция сохраняется и в Приуралье, где новые образования формируются, в целом, на местной основе, но она прерывается в Зауралье. Однако шлаковых материалов этого времени у нас, практически, нет.

Следует еще раз оговорить нерепрезентативность выборки для столь обширного ареала и столь длительного времени. Она не вполне отражает даже реальную картину распространения металлургического производства в Северной Евразии. В некоторых районах при исследованиях поселений шлаковые материалы не брались в коллекции, так как информативные возможности их не оценивались должным образом. В других районах попросту не проводились археологические работы. Поэтому имеющаяся коллекция способна отразить лишь наиболее общие тенденции развития производства на этой территории.

Причем, эти тенденции очень важны при реконструкции историко-культурных процессов, в частности, миграций. Можно обсуждать сомнительные возможности заимствований через значительные пространства типов керамики, архитектурный стиль, или еще более сомнительную возможность заимствования погребального обряда с идеологией и мифологической системой. Но любые обсуждения заимствования металлургических технологий в большинстве случаев абсолютно бессмысленны. Во-первых, эти технологии невозможно передать без обучающего процесса. Как мы видели, металлургическое производство является сложным комплексным процессом. То же касается и смены лигатур, которые, как мы увидим, тесным образом связаны с характером рудного сырья. Например, переход на новые типы сырья вызвал переход на оловянные лигатуры, а с этим связаны необходимость поиска и плавки оловянной руды, касситерита, тонко-

стенное литье в закрытые формы, литье по восковой модели, новые формы кузнечных операций и так далее. То есть, металлургические технологии — это очень сложные, взаимосвязанные системы. Для их заимствования необходим непосредственный контакт с мастерами-металлургами. Передать эти технологии можно близким соседям, но через безрудные районы это невозможно. Если это происходит, то это надежный индикатор миграции.

Любые культурные процессы зависят от двух основных факторов — культуры прежнего населения той или иной территории и влияний или миграций со стороны. Процессы культурных взаимодействий разных форм обеспечивали формирование сходных стереотипов в рамках сравнительно больших ареалов. Однако прежние традиции редко исчезали бесследно. Как правило, они проявлялись в той или иной степени в культуре дериватов. В полной мере это касается и технологии металлургического производства. Более того, если любые иные производства или особенности материальной культуры зависимы, в первую очередь, от традиций слагаемых компонентов, то металлургическое производство зависит и от рудной базы. Поэтому местный компонент может выражаться как в заимствовании местных технологических традиций, что является стандартным культурным процессом, и зависит от конкретной ситуации межкультурного взаимодействия, так и в переходе на новую для пришельцев местную рудную базу, что является вынужденным шагом.

Это обстоятельство вносит свои сложности в систему описания технологии металлургии такого огромного региона как Северная Евразия. С одной стороны, существуют хронологические закономерности, обусловленные технологическими изменениями на огромных территориях. Однако они проявляют себя далеко не всегда и не везде, что обусловлено уже местной спецификой. Поэтому, на первый взгляд, представляется более логичным рассматривать производство всего региона поэтапно. Однако, в отличие от керамики, шлак не имеет четких культурных или хронологических признаков, часто вычленишь шлаки того или иного времени внутри многослойных поселений позволяют лишь сравнительные и статистические процедуры. Это заставляет одновременно рассматривать шлаки разных эпох какого-то отдельного ареала. И с этой точки зрения, доминировать должен территориальный подход, когда последовательно описываются шлаки разных территорий, что приводит уже к утрате хронологического подхода. В конечном счете, приходится останавливаться на каких-то компромиссах.

В частности, рассмотрение шлаков эпохи бронзы начинается с синташтинской и петровской культур Зауралья, что вызывает и обсуждение редких материалов Казахстана. Далее рассматриваются материалы поздней бронзы Европейской зоны провинции. Однако частично приуральские материалы рассматриваются и в контексте синташтинской культуры. Химические анализы шлаков поселения Тюбьяк рассматриваются и в контексте синташтинских шлаков и в контексте приуральских, поскольку они относятся к тому же типу, что и синташтинские, что вызвало необходимость проведения сравнительного анализа.

Отдельные из обозначенных проблем в разных главах будут освещаться более подробно. Но, хотелось бы подчеркнуть, что задача этой книги — выработка какого-то исследовательского стандарта и наиболее общей модели развития производства меди на этой территории, в рамках которых в будущем возможно более детальное изучение конкретных ареалов или производство конкретных культур.

Есть еще одна проблема, требующая особого обсуждения, это используемые здесь абсолютные даты. Для большей части того временного промежутка, который охвачен этой работой, возможно использование как традиционного датирования, привязанного к ближневосточной хронологии, так и радиоуглеродного датирования с калибровкой его результатов. Последняя система датирования в последнее время безоговорочно доминирует.

нирует, но она создана не для всех регионов. С другой стороны, существуют серьезные проблемы и с радиоуглеродными датами, которые особенно не принято обсуждать. Попытки совместить эти две системы дают пока мало надежд на то, что это возможно, так как для разных эпох разница между ними составляет от 200 до 900 лет (Michael, 2004, p. 18). Очевидно и то, что радиоуглеродный метод работает пока лишь на статистическом уровне, что не позволяет уверенно опираться на него при небольших сериях дат (Müller, 1998, S. 66). А для многих культур Северной Евразии эти серии пока невелики. Я не знаю, как относиться к данной проблеме, и насколько корректна калибровка результатов радиоуглеродного анализа для многих евразийских комплексов. Но давать именно калиброванные данные просто необходимо, так как во многих районах это настолько принято, что коллеги не понимают иных возможных систем дат. То есть, независимо от того, насколько эти даты соответствуют действительности, они здесь используются для определения времени обсуждаемых процессов и их последовательности. Иногда, при этом, приводятся и даты в системе традиционной хронологии.

Глава 1. Экспериментальное моделирование древнего плавильного процесса

Экспериментальные работы играют важную роль в исследованиях в области реконструкции древней технологии. Многочисленные эксперименты проводились в области исследования древнего керамического производства, металлургии и металлообработки, изготовления и использования каменных орудий, ткачества, домостроения и т. д.

В рамках наших работ производились, главным образом, эксперименты по плавке руды. Осуществлялся также выжиг угля, но это носило вспомогательный характер, для обеспечения топливом самого металлургического эксперимента. Наиболее хорошо экспериментальные работы по выжигу проведены и описаны другой группой авторов (Агапов и др., 1989, с. 101—103).

В мировой археометаллургии экспериментальные работы по плавке руды осуществлялись достаточно широко. Хотя почти все они имели эпизодический характер, многие из них были успешными (напр. Rostan et al., 2006; Ueda, 2006). Однако и их результаты пока никем, к сожалению, не суммированы. Единственная ограниченная попытка подобного рода сделана Р. Ф. Тайликотом и Дж. Ф. Меркелем (Tylecote, Merkel, 1992).

Однако прежде чем приступить к описанию проведенных экспериментальных серий, следует остановиться на их месте в историко-археологических исследованиях. Иногда удачно проведенный эксперимент непосредственным образом переносится на древнюю реальность и утверждается их тождество. В действительности, только анализ самих древних материалов может помочь нам в понимании древних технологий. Экспериментальные же работы показывают лишь возможность применения того или иного метода, и только. Кроме того, один и тот же результат часто возможно получить различными способами, и оптимальный способ, выявленный экспериментатором, вовсе не обязательно употреблялся в древности. При эксперименте важно не пытаться сделать бронзу лучше, чем коллеги из Бронзового века, а нащупать много разных вариантов (Fasnacht, 2009, p. 396). И использование экспериментальной реконструкции без учета этих важных положений абсолютно неправомерно. Это делает экспериментальные работы, несмотря на огромные трудозатраты на их подготовку и проведение, очень сомнительным исследовательским инструментом.

В основе подобных исследований должен все же лежать анализ остатков древних производств с помощью современных аналитических методов. Поэтому и экспериментальные работы являются вспомогательными по отношению к этим исследованиям. Наиболее оптимальным является анализ результатов экспериментальных работ с помощью тех же аналитических методов. Помимо повышения достоверности эксперимента, подобный подход дает еще одно преимущество: возможность сопоставить результаты анализа экспериментального и древнего материала. В особенности это важно для самих аналитических исследований, так как позволяет делать более достоверные выводы. Собственно, этот подход не нов. Он изначально лежал в основе трасологического метода анализа древних материалов, активно использовался и используется исследователями керамики, без создания эталонов немыслимо металлографическое исследование древних бронзовых и медных орудий.

Однако в случае с плавкой медной руды мы имеем более трудную ситуацию, что ставит большее количество проблем и требует привлечения большего количества методов. В первую очередь, как указывалось ранее, шлаковые системы довольно сложны. Вторым аспектом, является то, что все аналитические методы требуют определенной проверки и коррекции. Например, довольно хорошо известно, что при

металлургических переделах происходит перераспределение элементов-примесей между шлаком и металлом. Есть элементы, содержание которых в шлаке возрастает, а есть элементы, увеличивающие содержание. Однако поведение отдельных элементов будет зависеть также от температуры. Кроме того, нельзя забывать о том, что изменения в металле происходят и в случае рафинирования, а также о том, что подавляющая часть исследуемого металла подвергалась переплавкам, причем неоднократным. А это должно было сказываться на композиции микропримесей. В этом случае довольно распространенным было и смешивание металла из различных источников, а часто и с различным легированием. Наконец, при заливке в литейную форму элементы-примеси могут неравномерно распределяться по отливке. Все эти проблемы наиболее эффективно можно решить лишь в случае реализации специальной экспериментальной программы.

Мы коснулись лишь одного незначительного аспекта, однако при плавках руды их возникает множество.

В этой связи, нами был произведен сбор информации по прежним экспериментальным работам, проводимым в этой области, и осуществлена серия новых экспериментальных работ. Все эти работы носят весьма предварительный характер. Результаты их подробно публикуются в настоящем издании с целью помочь будущим экспериментаторам избежать наших ошибок.

Первые подобные работы были проведены нами с И.А. Русановым на поселении Аркаим в 1989г. и на Каргалинских рудниках в 1991г. (Григорьев, Русанов, 1995). Впоследствии небольшая серия экспериментов по плавке свинцовой руды была осуществлена совместно с А. Никитиным в 2004г. (Григорьев, Никитин, 2004, с. 141-143; Grigoriev, Nikitin, 2005, p. 35-39). Большая экспериментальная серия с использованием окисленных и сульфидных руд была проведена затем на острове Веры озера Тургояк в 2005 и 2006гг. Особенностью этой серии было то, что были отобраны и проанализированы образцы руды, шлака, золы, углей и обмазки. Все этапы плавки и наблюдения описывались и хронометрировались. В общей сложности в результате всех этих работ удалось провести 34 экспериментальные плавки, которым предшествовали подготовительные работы по конструированию печей, изготовлению тиглей, выжигу древесного угля. Здесь я не буду приводить подробных описаний этих экспериментальных работ, тем более, что многие наблюдения повторялись от одной экспериментальной плавки к другой. Эти описания могут быть полезны лишь очень ограниченному количеству людей, которые намерены заняться экспериментами в области археометаллургии. Но основные выводы из результатов этих работ тут приводятся, поскольку многие из них важны для понимания технологии и особенностей древнего металлургического производства. Необходимо сразу отметить, что в ходе экспериментов нам так и не удалось добиться полного и стабильного извлечения металла из руды, хотя много важной информации и было получено. К концу этой экспериментальной серии удалось выяснить и причины неудач, хотя я не уверен, что после корректировки ошибок не выявятся новые, не учтенные факторы. Но важность этих экспериментов в том, что многие особенности древнего производства стали совершенно очевидны. Например, причины переноса производственных площадок в эпоху поздней бронзы за пределы жилищ или необходимость использования, так называемых, плавильных чаш.

Древесный уголь

Были проведены эксперименты по выжигу древесного угля. Это достаточно трудоемкая операция, требовавшая значительного опыта, несмотря на кажущуюся ее простоту. Мы проводили выжиг угля в ямах. В принципе, его можно получать и в кучах, перекрывая их землей и дерном, но подобный способ оправдан при больших

объемах производства. В выкопанную яму закладывалась смесь из сухого и сырого дерева. Использование исключительно сухого дерева невозможно, поскольку оно не тлеет, и легко прогорает, а сырая древесина гаснет. Сечение отдельных бревен и плах было около 10—15 см. Более крупные приходилось раскалывать. Среди уложенных поленьев в различных частях ямы устраивались закладки из мелких сухих сучьев и бересты. Заполненная до верха яма перекрывалась дерном и сверху насыпалась земля. При этом по периметру оставлялись небольшие отверстия, которые легко было перекрыть крышками из дерна. Затем через эти отверстия поджигались закладки из сучьев. Благодаря этим отверстиям в яме образовывалась воздушная тяга, и начиналось горение всего заполнения, хотя и не слишком интенсивное. Когда удавалось этого добиться, что было видно по интенсивному дыму, выходящему из всех отверстий, все они закрывались. Этот первый этап зажигания и воспламенения заполнения требовал от 2 до нескольких часов (в первом эксперименте). Для опытных древних горняков на эту операцию, думается, требовалось не более 1,5 часов. Но сама подготовка дерева требовала гораздо большего времени, поскольку работа осуществлялась исключительно топорами. В перекрытом состоянии яма должна была оставаться несколько дней, пока дерево медленно не прогорало, образовав уголь. В наиболее успешных наших экспериментах нам удавалось получать около 50% угля. Значительная часть дерева лишь обугливалась, но не прогорала до конца. В древности этот процент был, безусловно, выше, хотя наверняка полного перехода дерева в уголь достигать тоже не удавалось.

В ходе экспериментов мы использовали березовый и сосновый уголь. Их физические качества очень сильно различаются. Березовый уголь более плотный и прочный. При дроблении угольных бревен они образовывали более крупные куски, которые длительное время сохраняются в ходе плавки. Сосновый уголь легко рассыпается на мелкую фракцию. Поэтому их поведение в металлургической печи различается. Крупные куски березового угля в печи не прилегают друг к другу слишком плотно, позволяя легко проходить воздуху (рис. 1-1.1). В противоположность этому, сосновый уголь распадается на более мелкие части, и этот процесс продолжается и при его горении, что проявляется в интенсивных искрах, вылетающих из печи при интенсификации дутья. Поэтому он более плотно размещается в печи, мешая свободно проникать воздуху. В результате, уголь горит, преимущественно, в области печи, примыкающей к соплу, и достаточно быстро там прогорает. Кроме того было отмечено, что мелкий уголь легко выдувается воздушным потоком, и тогда этот поток непосредственно подается на руду, охлаждая или окисляя ее, чего не происходит с более крупными кусками угля. У противоположной стенки печи, заполненной мелким углем, он, хотя и воспламеняется, горит очень слабо. Поэтому приходится его перемещать вперед, но в целом в печи необходимый температурный и химический процесс поддерживать не удается. Однако сосновый уголь более удобен при использовании в кузнечном производстве. Но у нас нет на сегодняшний день данных о том, была ли подобная дифференциация в древности, хотя предпочтение угля из плотных пород дерева (береза, дуб) можно считать надежным выводом. Вероятно, это понимали всегда, во всяком случае, для античного времени это понимание зафиксировано. По Плинию, лучший уголь для плавки руды делали из дуба. А кузнецы предпочитали не такой плотный уголь — из ели, она лучше возгорается и измельчается (Forbes, 1958, p. 20, 21).

На мой взгляд, оптимальный размер углей около 10—12 см. Это позволяет, с одной стороны, проходить воздуху, с другой, сохраняется значительное количество поверхностей, вступающих в реакцию с газами.

При измельчении березового угля тоже образуется какое-то количество мелкой угольной фракции и пыли. Ее было удобно использовать для перекрытия шихты

сверху. Тем самым, с одной стороны, происходила дополнительная закупорка шихты и обеспечивалось поддержание более высокой температуры. С другой стороны, эта фракция понемногу просачивалась вниз между более крупными кусками угля, формируя легко воспламеняющуюся и горящую массу. Это обеспечивало поддержание более высокой температуры и быстрое интенсивное образование монооксида углерода.

При различных размерах печи (25—50 см диаметром) мы использовали от 2,5 до 4,5 кг угля. Обычно одна загрузка угля прогорала за 1—1,5 часа полностью, что было явно недостаточно для проведения плавки. Поэтому при длительных плавках приходилось периодически добавлять уголь. Так, при плавке в печи небольшого размера в течение 4 часов 50 минут с момента загрузки угля, потребовалось 4,5 кг.

Изготовление технологической керамики

В ходе подготовки экспериментов приходилось постоянно изготавливать технологическую керамику: тигли и воздуходувные сопла. Необходимо подчеркнуть, что это было вспомогательной частью эксперимента и не идет ни в какое сравнение с работами специализирующихся на керамическом производстве экспериментальных экспедиций. Поэтому данного аспекта я коснусь лишь вкратце.

Керамика, используемая в металлургическом производстве, должна обладать огнеупорными свойствами. Огнеупорность ей придают примеси кварцевого песка. Поэтому тигли и сопла изготавливались из глины с обильной примесью песка, взятого со дна озера. Анализ этого песка показал, что он содержит до 70% кварца, что позволяло использовать его для приготовления огнеупорных масс (таб. 1-1). Глина для производства отмучивалась в течение нескольких дней в воде и перемешивалась, чтобы убрать крупную сухую фракцию и добиться гомогенной массы.

Таб. 1-1

Результаты химического анализа песка, глины, обмазки, руды и шлака экспериментальных плавков (вес. %)

Анализ произведен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

№	Плавка №	Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO
2029	5	Шлак	18,64	15,01	1,45
2030	5	Шлак	15,88	11,44	1,23
2031	6	Халькопирит до плавки	13,64	9,54	1,23
2033	6	Халькопирит до плавки	21,26	1,92	54,01
2034	6	Обоженная в ходе плавки руда	77,18	8,82	2,76
2035	6	Обоженная в ходе плавки руда	70,74	10,78	1,6
2038	6	Фрагмент обмазки	67,16	10,88	2,03
2047	7	Шлак	61,62	5,63	14,52
2074	11	Шлак	70,4	10,78	1,23
2101		гранодиоритовый песок	70,16	16,22	0,36
2103		руда с Каргалов	33,96	6,19	1,31
2105		глина	66,75	13,33	0,58

Тигли в ходе экспериментов использовались двух типов. Первый — высокие сосуды баночной формы для проверки гипотезы о тигельной плавке меди. Изготавливались они на конусовидном деревянном шаблоне, обмотанном влажной тканью, что позволяло снять подсухшее тулово тигля с шаблона. Второй тип — блюда овальной формы с невысоким бортиком длиной около 20 см (рис. 1-1.2).

Сопла были вылеплены на обструганных палочках, что позволяло получить продольное отверстие. Это, вероятно, универсальный способ: мы к нему пришли само-



1 — Крупные куски березового угля позволяют воздуху легко распространяться в печи



2 — Плавильная чаша, заполненная окисленной рудой



3 — Костровой обжиг сопел и тиглей



4 — Сопло после использования. На фото хорошо видно, что оно не ошлаковано



5 — Печь в процессе строительства. Гранитные блоки уложены на глиняный раствор



6 — Та же печь после завершения строительства и промазывания швов

Рис. 1-1. Экспериментальные работы

стоятельно, но африканские металлурги, как и в нашем эксперименте, лепили сопла вокруг палки (Schmidt, 1997, p. 63).

После лепки керамика просушивалась два дня, после чего обжигалась в костре три часа. В процессе первичной сушки было необходимо постоянно уплотнять изделия руками, так как при сушке из них испарялась вода, и образовывались мелкие трещины. Одно из сопел при просыхании дало небольшую трещину из-за того, что глина при просыхании не была вовремя уплотнена. Была сделана попытка эту трещину замазать, но при обжиге сопло все равно треснуло в этом месте. Обжиг сопел производился вместе с палочками, на которых они были наклеплены. В результате обжига дерево выгорело. Процессу обжига это не помешало. Обжиг сопел и тиглей осуществлялся на костре (рис. 1-1.3).

Какие-то специальные дополнительные процедуры с керамической массой не проводились. В процессе эксплуатации сопла оказались достаточно устойчивыми. Ошлаковке они, практически, не подвергались, несмотря на достаточно высокие температуры. Исключения наблюдались редко, лишь в случаях, когда сопло контактировало с каким-то посторонним объектом в печи, например, куском угля или расплавляющейся рудой (рис. 1-1.4). Тигли тоже выдерживали крайне высокие температуры. В ходе экспериментов нам приходилось наблюдать, как стенки тигля, стоящего в области температурного максимума, становятся, практически, белыми и слегка прозрачными от нагрева, но их оплавление не происходит. Однако во всех случаях, когда в тигле начинала плавиться руда, происходила ошлаковка или расплавление края тигля, но не его дна. Это обусловлено уже не только высокими температурами, но активным взаимодействием шлака с материалом тигля.

Конструкции печи и ее изготовление

Печи конструировались разных типов. Серия экспериментов была проведена с печами синташтинского типа, соединенных с колодцами. Для этого использовались колодцы эпохи бронзы поселений Аркаим и Мочище. Диаметр использованных колодцев был около 120см, глубина до 230см. Колодец перекрывался куполом из глины или глинистой супеси. Для этого над ним был сооружен небольшой каркас из прутьев, на который постепенно намазывалась формовочная масса. После ее просыхания получалась достаточно прочная конструкция. Канал, соединяющий колодец с печью, делался следующим образом. На Аркаиме для этого было использовано аналогичное древнее сооружение в виде канавки. Поскольку на его стенках фиксировались вертикальные следы толстых обугленных прутьев, в канавку были поставлены прутья в виде арок, упирающиеся в стенки. На основу из прутьев намазывалась глина, которая после просыхания обжигалась изнутри мелкими сучьями. В результате, прутья выгорали, но полученное перекрытие сохраняло свою форму.

Строительство самих печей оказалось наиболее трудоемкой процедурой. Первая наша печь была сделана из просушенных глиняных блоков, посаженных на глиняный раствор, что очень облегчило эту задачу. Блоки делались около 20см длиной. Их формовка не занимает слишком много времени, и на сушку уходит около двух дней. Во время работ на острове Веры для конструирования печи были использованы куски гранита (рис. 1-1.5,6). На месте печи был убран слой дерна, а затем был насыпан слой песка мощностью около 3см. На него намазан слой глины с песком. Стенки печей выкладывались из гранитных или глиняных блоков, на растворе, состоящем из песка с глиной. Внутренняя и внешняя поверхности тоже были обмазаны этим составом. Как показали в дальнейшем опыты с плавкой руды, без подобной обмазки печь рассыпается достаточно быстро. Обмазка хорошо выдерживает температуры, но, если она в каком-то месте отошла, то поверхность гранитной стенки быстро рассыпается

до стояния песка. Кроме того, в тех местах, где обмазка треснула, в особенности в месте стыков глиняных или каменных блоков, огонь прорывался через стенку печи из-за высокого давления в ней, что приводит к теплопотерям. Необходимость наружной обмазки тоже объясняется стремлением избежать теплопотерь. Во время работы печи плохо обмазанные стенки теплые, и даже горячие.

Процесс конструирования и обмазывания печи требовал нескольких дней в зависимости от погоды. При намазывании на стенки сразу толстого слоя обмазки в ходе просыхания она покрывалась сетью крупных трещин и, впоследствии, легко отходила от поверхности. Поэтому приходилось намазывать тонкие слои, давать им подсохнуть и постоянно уплотнять, ликвидируя все трещины и внутренние поры. Если поры сохранялись, в этом месте обмазка могла при нагреве лопнуть. В сырую погоду все это требовало значительного времени (рис. 1-II.1). В конце сушки обмазку можно было обжечь с помощью дров, хотя эта операция не кажется обязательной.

Одну из печей мы сделали цельной. Она конструировалась путем наклеивания все новых и новых пластов глины. На это уходило очень много времени, но в ходе эксплуатации не создавалось проблем с облетевшей обмазкой.

Как показали дальнейшие эксперименты, обмазка выдерживала очень высокие температуры, но она не выдерживала контакта с расплавленным шлаком. Жидкий шлак сплавлялся с обмазкой, и отделить его было невозможно. При его отделении с помощью лома или каменного молотка вместе со шлаком отлетали и куски обмазки, причем, зачастую, с достаточно большой поверхности. Поэтому процедуру обмазывания печи перед следующей операцией приходилось повторять, на что вновь уходило много времени. Парадокс, таким образом, заключается в том, что любая успешная плавка, когда шихта была расплавлена, приводила к необходимости существенного ремонта печи. Но в случае цельной печи без обмазки разрушению подвергнутся уже сами стенки.

При разборе печей в конце эксперимента мы отметили, что стенки печи прокаляются до красного цвета на значительную глубину, в то время, как под имел обычно темный или золистый оттенок. Поэтому при археологических исследованиях печей вовсе не следует ожидать обнаружение красного прокала по всему поду (рис. 1-II.2, 3).

Проблемы с ремонтом печи не возникали, если руда помещалась в тигель. В результате шлаковой реакции ошлаковывалась и оплывала лишь верхняя часть стенок тигля, который можно было легко заменить, но даже это не мешало переиспользовать тигель повторно. Это привело нас к выводу о том, что использование, так называемых, литейных чаш (правильнее называть их плавильными) было обусловлено, скорее, стремлением предохранить печь от негативного воздействия шлака (рис. 1-II.4).

Существуют, впрочем, способы ускорить высыхание обмазки, установленные другими экспериментаторами. Чтобы удалить кристаллическую воду надо добавлять пережженный керамический материал в обмазку, сушить и обжигать углем с дровами при температуре 1100 °С в течение 6 часов (Woelk et al., 1998, p. 266). Но, в любом случае, это является достаточно трудоемким процессом, от которого могла избавить именно плавка в тигле или плавильной чаше.

Печи сооружались двух типов. Одна, вышеупомянутая печь синташтинского типа с колодцем, делалась с внутренним диаметром от 50 до 70 см. Однако в печи меньшего диаметра легче получать более высокие температуры, поэтому диаметр в некоторых экспериментах сокращался до 40 см. Печь была купольного типа, соединенная с перекрытым колодцем воздуходувным каналом, как это имело место на синташтинских поселениях. Напротив колодца располагались воздуходувные мехи, при этом сопло вмазывалось чуть выше уровня пода печи. После разогрева печи выяснились особенности функционирования этой конструкции, которые до этого не

поддавались объяснению. За счет разницы температур в печи и колодце в печную полость стал активно проникать воздух. Воздух, поступающий в печь из колодца, проходил по полному кругу вдоль стенок в сторону, противоположную выходу в дымоходное отверстие, равномерно разогревая полость печи, в то время как воздух, поступающий через воздуходувное сопло, направлялся к центру печи, где при столкновении с встречным воздушным потоком наблюдался температурный максимум (рис. 1-2). Подобное движение воздуха, с одной стороны, способствовало тому, что даже при использовании одних воздуходувных мехов удавалось разогреть печь равномерно и достичь высоких температур в центральной части печи. С другой стороны, кислород, совершая столь долгий путь сквозь слой угля, реагировал с ним, и успевал сформироваться монооксид углерода, основной восстановитель руды. Вероятно, этим объясняется восстановительная атмосфера плавки, фиксируемая при анализе синташтинских шлаков.

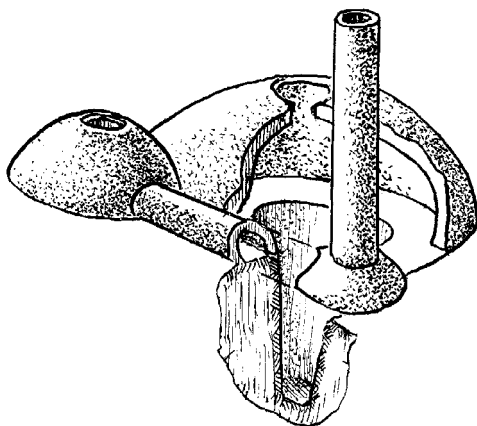


Рис. 1-2. Схема печи, пристроенной к колодцу. В печах, примыкающих к перекрытым куполом колодцам, воздух из колодца идет по кругу вдоль стенок печи, а воздух из воздуходувных мехов поступает в ее центр. Пройдя по кругу, воздух выходит в дымоход, расположенный у колодца

Вторым типом была наземная купольная печь без дымохода и колодца с внутренним диаметром пода 50—55 см и внешним диаметром основания — 70 см. Внутренний диаметр устья — 21 см, внешний — 42 см. Толщина стенок составляла около 10 см. Высота печи — 35 см. Выяснилось, что равномерное горение в подобной печи довольно сложно поддерживать. Для этого не хватало воздуха. Поэтому мы шли двумя путями: сокращение внутреннего диаметра печи до 25 см и установка вторых воздуходувных мехов. В этом случае мехи были расположены или непосредственно напротив друг друга или под углом 120° , чтобы обеспечить столкновение воздуха в центре печи и создать там температурный максимум. Одни мехи для печи размером более 30 см были явно недостаточны.

При этом следует иметь в виду, что мы использовали двухкамерные мехи постоянного дутья с достаточно высокой производительностью. Суть этой конструкции в том, что воздух при подъеме верхней крышки мехов попадает в нижнюю камеру, а затем через клапан в перегородке между камерами направляется в верхнюю, откуда под давлением крышки поступает через сопло в печь. Это позволяет вести дутье не рывками, а постоянно. Регулирование дутья осуществляется интенсивностью подкачки воздуха, а его давление и скорость поступления в печь — тяжестью крышки (ее легко регулировать камнями). Это очень удобная для работы и эффективная конструкция, однако сомнительно, чтобы она существовала в древности (рис. 1-II.5). Известные



1 — Вспучивание обмазки пода печи в процессе просыхания. Поэтому в процессе сушки ее было необходимо уплотнять



2 — Разбор печи. Стенки прокалены до красного цвета на значительную глубину



3 — Разбор экспериментальной печи. Перед соплом виден столб образовавшегося шлака. Основания стенок окрашены в красный цвет. Слой обмазки пода золистого цвета. Под ним в центре видно пятно красного прокала, а по периметру и под основаниями стенок прокал имеет черный цвет, поскольку сюда не было проникновения кислорода.



4 — Плавильная чаша после плавки. С расплавившимся шлаком активно контактирует лишь верхняя часть стенок, но чашу можно использовать заново



5 — Нагнетание воздуха в печь с помощью воздуходувных мехов



6 — Закладка дров в печь для ее прогрева

Рис. 1-II. Экспериментальные работы

египетские фрески с изображениями воздуходувных мехов демонстрируют более простые приспособления в виде пар однокамерных мехов небольших размеров. Работавшие нажимали на них ногами, выдавливая воздух, а затем поднимали ногу, одновременно поднимая верхнюю часть меха веревкой, привязанной к руке, в результате чего мех вновь заполнялся. Использование пары мехов обеспечивало сравнительно равномерное дутье. Иные изображения показывают людей, дующих в трубки (Zwicker et al., p. 103, 104). Это довольно трудозатратный способ. Чтобы плавить даже в тигле (то есть в небольшом объеме) без мехов необходимо дутье в трубки 4—6 человек (Fasnacht, 2009, p. 396). Наконец, в хеттское время в Анатолии известны мехи в виде глиняного горшка, перекрытого кожей, откуда выдавливался воздух в печь (Müller-Karpe A., 2000, S. 117, 118). Археологических свидетельств двухкамерных мехов для синташтинского времени мы не знаем, хотя не исключено, что в начале поздней бронзы они появляются, так как с этого времени иногда фиксируются двухкамерные печи, в которых одна из камер, возможно, служила углублением для нижней камеры мехов. Дело в том, что на плоской поверхности эти мехи не столь производительны, поскольку при обеих заполненных камерах угол между верхней крышкой и поверхностью земли слишком велик, что не позволяет создавать необходимое давление. Во время экспериментов на Тургояке мы специально ставили печь на слегка наклоненной площадке, чтобы для мехов не пришлось копать углубление под нижнюю камеру. Однако чаще причины второго углубления были, все же, иные.

Длина каждой камеры мехов была 90 см, высота в задней части — до 50 см, ширина колебалась от 20 до 60 см. Рычаг для нагнетания мехов опирался на переносную подставку из двух связанных жердей. Это не столь устойчиво, как вкопанная конструкция, но в ходе экспериментов с сульфидной рудой, когда выделялось большое количество сернистых газов, позволяло переносить место рабочего, качающего мехи, в зависимости от направления ветра. Соответственно, следов подобных мехов сохраниться не может.

Однако при любом размещении воздуходувных мехов и независимо от дополнительного дутья из колодца, добиться воспламенения угля во всей полости печи было в первых экспериментах непросто. Для этого необходим предварительный разогрев печи. В первых опытах у нас на это уходило 2—3 часа. По мнению других экспериментаторов, разогрев печи тоже является длительной процедурой, требующей от 1,5 до 3—5 часов (Bamberger, 1992, p. 157; Caneva, Giardino, 1994, p. 454). Наши последующие эксперименты показали, что разогрев печи проще проводить дровами (рис. 1-II.6). На эту операцию уходит совсем мало времени (не более получаса). Для облегчения и интенсификации процесса требуется незначительная работа мехами. Угли, положенные затем на горящие дрова, легко возгораются по всей полости печи. Но для полного прогрева требуется больше времени. Подобная процедура, кроме экономии времени, экономит количество угля, которое необходимо затратить для осуществления плавки.

Во время экспериментов был выявлен парадокс, характерный для древней металлургии. Технологическое противоречие заключалось в том, что в случае очень интенсивного дутья, необходимого для поддержания высокой температуры, в печь поступало слишком много кислорода, что приводило к формированию в ней окислительной атмосферы. Руда, вместо того, чтобы восстанавливаться в металл, превращалась в куприт. При менее интенсивном дутье реакция не происходила вовсе.

При этом, атмосфера в разных частях печи может различаться. Например, после плавки стенки печи в районе сопла имеют интенсивный красный цвет, а далее черный. Соответственно, в районе сопла формируется резко окислительная атмосфера, а дальше она сменяется восстановительной. Таким образом, в примитивных металлур-

гических печах восстановительная атмосфера формируется на расстоянии 15—18 см от воздуходувного сопла. Объясняется это тем, что поступающий из сопла кислород, реагируя с углем, формирует сначала диоксид углерода. Лишь потом этот газ, проходя через слой угля, реагирует с ним и формирует восстанавливающий газ — монооксид углерода. В верхней части печи атмосфера тоже окислительная. Вероятно, за счет поступления воздуха через устье (рис. 1-III.1).

Из сказанного можно сделать следующий вывод: в печах маленького диаметра везде будет формироваться окислительная атмосфера. В случае прохождения дутья через слой угля, восстановительная зона начинается на расстоянии 12-15 см. Поэтому окисленную руду желательно помещать на этом расстоянии. Сульфидные руды могут располагаться ближе. Аналогичные данные ранее получали иные экспериментаторы (Tylecote, Merkel, 1992, p. 10). Зона максимальных температур располагается, по их наблюдениям, в 10—15 см от сопла.

Плави́льный процесс

Подготовка руды

В ходе экспериментов мы использовали окисленную руду (малахит), вторичную (ковеллин) и первичную (халькопирит) сульфидную руду. Руда перед помещением в печь дробилась на куски. В различных экспериментах размеры их отличались: от пылевидной фракции до кусков размером 3—5 см (рис. 1-III. 2, 3). Пылевидная фракция использовалась редко. Это связано с трудностями дробления руды. Кроме того, нам казалось, что при высоких температурах руда должна расплавиться в любом состоянии. Однако, это было главной ошибкой экспериментальных работ. Крупные куски руды очень плохо плавятся. Количество руды тоже различалось. Как правило, оно было очень невелико, что было связано с ее постоянным дефицитом. В результате, даже, если в каком-то месте образовывался расплав, он мог быть изолирован углем от остальной руды, которая в шлаковых реакциях участия не принимала. Поэтому руда должна быть в достаточном количестве, не менее 1 кг, и размещаться в печи она должна компактно. В обязательном порядке руда должна быть измельчена до порошкообразного состояния. Кстати, и в древних шлаках нерасплавленные фрагменты руды имеют очень незначительные размеры, чаще около 1 мм. Обнаруженная в некоторых местах (например, Атасу) подготовленная для плавки руда (кусками до 3—5 см в керамическом горшке) в действительности могла быть приготовлена для измельчения.

Процесс измельчения руды очень трудоемок. Для этого мы редко пользовались каменным инструментом, употреблявшимся в древности, чаще металлическими молотками и даже иногда кувалдами. Дробление окисленной руды особых проблем не вызывает. Это довольно скрупулезная процедура, когда в раздробленном материале надо отобрать пылевидную рудную массу от включений породы, которые (если это кварцевая порода) дробятся уже хуже. Но доведение до порошкообразного состояния молотками не слишком удобно, поэтому в древности для этого и использовались песты и каменные терочные плиты.

Более трудно дробление халькопирита, отличающегося большой твердостью. Попытки его дробить железным молотком были безуспешны. Рабочая поверхность инструмента расплющивалась. Использование крупных кусков гранита тоже не закончилось успехом. Поэтому мы в первом из экспериментов с этим материалом были вынуждены положить в печь крупные куски руды. В разогретую печь на слой горящих углей было помещено 6,5 кг халькопирита. Сверху руда была перекрыта углем до устья печи. Сразу после этого появился резкий запах серного газа. Эта ситуация повторялась всегда, когда в печь помещался халькопирит. Из печи выходили клубы



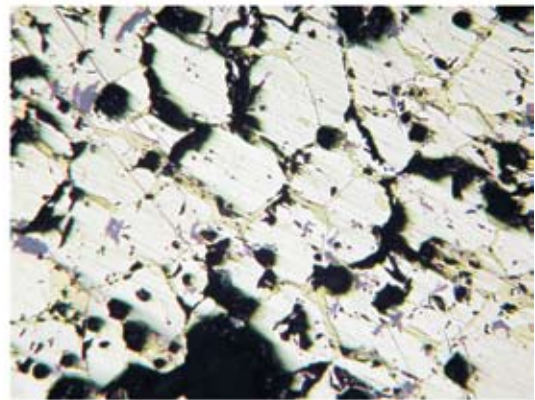
1 — Печь с плавильной чашей после плавки. Палочкой показано направление дутья от сопла. Красный провал вокруг сопла маркирует область окислительной атмосферы. Стенки вокруг темные, вероятно, благодаря формированию в этой области монооксида углерода. Но верхняя часть стенок красная, видимо за счет поступления воздуха сверху



2 — Куски халькопирита размером 3—4 см, подготовленные для плавки



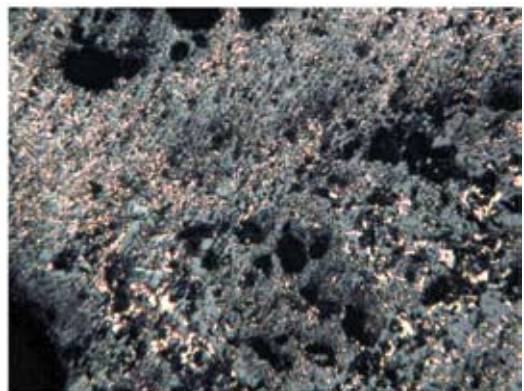
3 — Измельченная окисленная руда



4 — Аншлиф обожженного куса халькопирита. Между зернами фиксируется образование медного сульфида, что способствует легкому разрушению этих кусков



5 — Крупные куски халькопирита после обжига



6 — Микроструктура рудовещающей породы образца 2156 экспериментальной плавки 8. Длина снимка 1,55 мм. Восстановленные частицы меди в породе

Рис. 1-III. Экспериментальные работы

серовато-желтоватого дыма. Причем этот запах сильно ощущался по направлению ветра даже на расстоянии до 15 м от печи. Непосредственно рядом с печью в этом дыму находиться было просто невозможно. Поэтому плавка сульфидной руды в жилых (и даже производственных) помещениях полностью исключена. Нас выручала описанная выше возможность перемещать место рычага, которым нагнетался воздух в мехи. Наиболее резкий запах сохранялся в течение 1—1,5 часов, а потом ослабевал до минимума. Создавалось впечатление, что сера полностью выгорела, тем более, что температура, судя по цвету пламени, достигала иногда 1400 °С. Однако после извлечения загрузки печи оказывалось, что куски руды, по большей части, не расплавлены. При их дроблении выяснилось, что руда состоит из фрагментов халькопирита, но на стыках крупных зерен халькопирит замещен минералом фиолетово-синего цвета. Благодаря этому замещению нарушилась прочность кусков халькопирита, что облегчило его дробление. То же показал и минералогический анализ этого материала. Основу всех образцов составляли зерна халькопирита, между которыми фиксируется медный сульфид (рис. 1-III.4). Таким образом, даже длительное пребывание в металлургической печи не привело к полному удалению серы из руды.

Не исключено, что исчезновение следов металлургического производства в жилищах может быть признаком перехода на сульфидные руды. Этот признак не всегда может напрямую работать, но общие тенденции эпохи он должен отражать. Исключения из этого правила вполне возможны в случаях, когда плавка в помещении является культурной традицией, основанной на плавке окисленных руд. Поэтому в этих случаях вполне легко может осуществляться в тех же условиях и плавка смеси вторичных сульфидов и окисленных руд, особенно при наличии дымохода, хорошей тяги и плотно закрытой крышкой печи.

Необходимость предварительного обжига сульфидной руды обычно объясняется требованиями плавки (Zwicker, 1987, S. 195). Но более легкое дробление обожженной руды навело на мысль, что и в древности обжиг ее требовался не столько для удаления серы, сколько для облегчения этой операции. Поэтому в одном из экспериментов была предпринята попытка обжечь халькопирит в печи с помощью дров. Однако это оказалось очень неудобно из-за маленького объема печи. Первая загрузка дров очень быстро прогорала, а часть непрогоревших дров мешала добавлять новые. После засыпки первой партии руды горение резко ослабло, несмотря на постоянную работу воздуходувными мехами. Новые партии дров приходилось загружать через устье сверху, а не подкладывать снизу под руду. Процесс продолжался два часа, но переработки халькопирита не произошло. Из печи извлекли потрескавшиеся куски руды красно-фиолетового цвета (рис. 1-III.5). Собственно, получен тот же материал, что и в предыдущем эксперименте, он достаточно легко дробился. Этот способ обжига, хотя и позволяет экономить древесный уголь, очень неудобен и непроизводителен из-за ограниченного объема печи.

Поэтому в одном из последующих экспериментов крупные куски халькопирита были помещены в костер. Горение костра продолжалось 8 часов. В течение первого часа ощущался едкий запах серы. После извлечения руда имела фиолетово-красный цвет. Дробилась она легко, иногда по трещинам даже рассыпалась в руках. Этот способ более удобен, чем обжиг в печи, и позволяет обработать большое количество руды, с меньшими трудозатратами. Однако заметных изменений химических свойств руды не происходит, поэтому маловероятно, чтобы обжиг ее осуществлялся с этой целью.

Плавка руды

Как следует из вышесказанного, выплавить успешно халькопирит нам не удалось, так как мы использовали слишком крупные куски руды. Сама же плавка сульфидной

руды может быть осуществлена и в рамках однофазового процесса, как показали опыты с борнитом (Rostan et al., 2006). Наши эксперименты с прямой плавкой халькопирита закончились неудачей, что соответствует мнению многих археометаллургов (Pigott, 1999, p. 115). Однако, судя по экспериментам иных исследователей это возможно. Было установлено, что в тигле дутьем через трубки можно получить медь из блеклой сульфидной руды, близкой по химическому составу халькопириту. Ее обжиг осуществляется при температуре 800 °С, а плавка — 1100 °С (Zwicker et al., 1992, p. 104).

Большая серия опытов была проведена с окисленной рудой. В экспериментах использовался малахит. Однако надо сказать, что эти опыты нельзя назвать вполне корректными, так как у нас не было значительного количества хорошего чистого малахита, доступного древним металлургам. Эксперименты других авторов показали, что в случае плавки чистого малахита шлак почти не образуется и восстанавливается 90% меди (Zwicker et al., 1992, p. 104). Восстановление меди из малахита в печи может быть осуществлено при температуре 900-1000 °С. Полученные капли меди собирали и запускали в переплавку в тигле с сухими листьями при температуре 1100-1200 °С, что позволяло получить черновая медь (Tylecote, Merkel, 1992, p. 5).

Эксперименты других авторов с плавкой окисленной руды, содержащей значительное количество рудовмещающей песчаниковой породы, были проведены на Каргалах (Rovira, 1999, p. 106—109; Ровира, Апп, 2004). В экспериментах использовались небольшие наземные или углубленные горны, с диаметром до 40 см, куда загружались малахит и азурит, раздробленные до размера 2—3 мм. Плавка окисленной руды велась непосредственно в горнах, в результате чего атмосфера в них была окисленной. В итоге, полученные структура и состав шлаков не отличались от археологических, что указывает на корректность реконструкции. Тем не менее, в большинстве экспериментов получали оксиды. Медь не восстанавливалась. В эксперименте № 5 было загружено 3 кг руды и 6 кг угля. Было получено 110 г меди из 207 г, имевшихся в руде. Таким образом, коэффициент извлечения составил 53,1%. Ровира предполагает, что более опытные древние металлурги могли получать до 200 г (Rovira, 1999, p. 106—109). Столь же низкий процент выхода меди получался и в экспериментах, проведенных в Испании (Rovira, Gutierrez, 2005, p. 241).

В серии экспериментов в Воронежской области и на донецких рудниках экспериментаторам удавалось получить ограниченное количество меди при плавке вторичных сульфидов, но с плавкой окисленной руды тоже возникали серьезные проблемы (Саврасов, 2009).

Малахит, использованный в экспериментах нами, содержал слишком много рудовмещающей породы. В различных опытах окисленная руда помещалась либо непосредственно в печь, либо в тигель или плавильную чашу. Первоначально предполагалось, что при достижении высокой температуры руда в тигле начнет реагировать с углем, а стенки тигля должны защищать ее от избыточного кислорода. Поэтому руда с углем помещались в тигель, а дутье осуществлялось в стенку тигля. Однако в тигле с рудой ничего не происходило, несмотря на достигаемые высокие температуры. Объяснение этому достаточно простое. Уголь сам по себе не вступает в реакцию с кислородом, содержащимся в руде. С ним сначала должен реагировать кислород, нагнетаемый в печь, формируя монооксид углерода. Поэтому была изменена схема дутья. Оно осуществлялось сверху в тигель через слой угля. Но в этом случае заполнение тигля тоже не реагирует с газами, формирующимися в печи. Реакция осуществляется лишь с вдуваемым в него кислородом и диоксидом углерода, поскольку монооксид углерода формироваться не успевает. Это приводит к избыточному кислороду в тигле с окисленной рудой. В результате, малахит переходит в куприт. Последний же достаточно трудно расплавить, а восстановить его без расплава невозможно из-за

отсутствия в тигле восстановительной атмосферы. Поэтому во всех подобных опытах мы получали лишь губчатую массу куприта и отдельные частицы меди. Плавка окисленной руды подобным способом затруднительна. Какое-то количество меди при определенных условиях этим способом получить, конечно, можно. Но это не может быть основой массового производства.

В случае менее интенсивного дутья, температура снижается, и над шихтой может образоваться застывшая шлаковая корка, защищающая шихту от высоких температур и консервирующая ее. Мы обнаруживали в тигле после подобной плавки восстановленные частицы меди. В аншлифе подобного продукта хорошо видно (рис. 1-III.6), что они представлены не в виде расплавленных корольков, а в виде частиц или иголок, аморфных чуть оплавленных зернышек. Видимо, плавление меди не произошло, несмотря на высокие температуры.

Плавка в плавильных чашах по своему химизму не отличается от плавки в печи. Строго говоря, это уже нельзя назвать тигельной плавкой. Как уже говорилось, единственным преимуществом по сравнению с плавкой непосредственно в печи является то, что при успешной плавке не разрушается под печи и более удобно выбирать ее заполнение и обнаруживать полученный металл, не перебирая все заполнение печи. В ходе этих экспериментов удавалось без особых проблем, даже с одними мехами достигать температур 1200—1300 °С. Иногда на завершающих этапах плавки получали температуру до 1400 °С. При использовании сульфидной руды такая высокая температура достигалась быстрее и легче, что связано с экзотермальной реакцией горения серы. Определение температуры можно осуществлять визуально, по цвету углей и пламени. Однако в некоторых случаях цвет пламени может отражать и химические процессы в печи. Так, при горении серы появляются желтоватые языки пламени в сопровождении густых клубов белого дыма желтоватого оттенка. При плавке окисленной руды могут появляться зеленоватые языки пламени¹. Это могло позволять в древности контролировать процесс химических превращений в печи.

Резким отличием плавки окисленных руд от сульфидных является то, что этот процесс осуществляется почти без дыма и пламени (рис. 1-IV.1). Они присутствуют лишь на этапе разогрева печи дровами. Соответственно, рядом с печью не ощущаются и какие-либо запахи. Лишь иногда появляется легкий запах окалины. Поэтому плавки этого типа можно вести в любом помещении.

Основной проблемой при плавке было создание восстановительной атмосферы в печи. В подавляющем числе наших экспериментов из малахита удавалось получать куприт. Количество получаемой меди было, как правило, невелико. Ситуация облегчалась в случае совместного использования малахита и вторичного сульфида ковеллина. В этом случае шло восстановление руд обоих типов за счет реакции серы с кислородом. При этом, реакция осуществлялась лишь в сравнительно небольшой области температурного максимума, где было наиболее интенсивное дутье, но где был и избыток кислорода.

Сходный результат, показывающий более простую плавку этой смеси по сравнению с плавкой окисленной руды, был получен У. Цвиккером (Zwicker, 1987, S. 195). Как показала другая серия экспериментов, плавить смесь сульфидов и оксидов можно даже без угля, на сухих дровах (Pigott, 1999, p. 115). Более ранние эксперименты в этом направлении закончились неудачей, что было объяснено отсутствием флюсов (Tylecote, 1980, p. 5).

При сокращении диаметра печи до 25 см получать высокую температуру не составляло проблем. Это приводило к плавлению руды и породы, но происходила ку-

¹ Зеленый цвет пламени появляется не только при плавке малахита, но при нагреве меди (Charles, 1992, p. 23).

притизация материала. В результате экспериментов мы пришли к выводу о том, что для плавки окисленной руды необходимы печи диаметром минимум 50 см. Правда, в случае использования чистого малахита процесс будет иным.

Печь с диаметром пода 50—55 см слишком велика для плавки с одними мехами. У задней стенки не создается высокой температуры. Горение угля там слабое. Для такого диаметра нужны вторые мехи напротив или дутье из колодца, как в металлургическом производстве синташтинской культуры. При диаметре печи около 25 см ситуация резко улучшается. Подобные небольшие размеры представлялись наиболее оптимальными и иным авторам экспериментов, причем даже для этих размеров использовалось до шести воздуходувных сопел и интенсивное дутье до 250 литров воздуха в минуту на сопло (Bamberger, 1992, p. 152; Bamberger, Wincierz, 1990, p. 123). Однако нам не известны археологические аналоги подобных небольших печей с таким количеством воздуходувных сопел, к тому же даже наши несовершенные опыты показывают, что достижение высоких температур в небольшой печи не является проблемой и с одним воздуходувным соплом. Высоких температур (1400—1600 °С) неоднократно достигали и иные экспериментаторы (Caneva, Giardino, 1994, p. 454; Woelk al., 1998, p. 270—274). Более того, даже при использовании в печи не угля, а дерева легко достичь температуры 1200 °С (Fasnacht, 1995, S. 291). Использование угля в металлургии вызвано не только необходимостью достижения высокой температуры, но и необходимостью создания восстановительной атмосферы.

Плавить малые объемы руды в печи невозможно. Частицы руды изолированы друг от друга и не образуют сплошного шлакового расплава, в котором расплавляется руда. Ситуация упрощается в тигле или плавильной чаше. Вероятно, для нормального отделения меди от шлака необходим менее вязкий шлак и использование флюсов. Но самым большим недостатком экспериментов были слишком крупные куски руды, которую следует дробить до пылевидного состояния.

Длительность плавки составляла обычно 2—4 часа, хотя достичь высокой температуры можно достаточно быстро. Нам так и не удалось научиться определять, когда следует прекращать плавку. Чаще мы снижали дутье, когда появлялся запах окалины. Подобным образом поступали и металлурги в Африке. Металлурги племен лубу определяли, что процесс завершен по цвету дыма, после чего металл и шлак выпускали (Bisson, 2000, p. 98).

После плавки на остывание печи до той степени, когда в ней можно работать руками, уходило от 10 до 14 часов. Все это, безусловно, лимитировало количество плавок. Необходимо, впрочем, иметь в виду, что полное остывание печи необходимо лишь в том случае, когда надо полностью выбирать и сортировать ее заполнение. В случае, если руда находится в тигле или плавильной чаше, ее можно было изъять быстрее с помощью перчаток, но 6—8 часов все равно требовалось. Кстати, повторная плавка, если не произошло разрушение обмазки, облегчается, если печь недостаточно остыла. Наши опыты с неостывшей печью показали, что повторный разогрев ее дровами, практически, не требуется, и уголь разгорается во всей полости печи намного легче.

Плавка свинца

Помимо экспериментов по плавке меди были проведены экспериментальные плавки по получению свинца. Причиной проведения этих экспериментов стала реконструкция на основе древних шлаков технологии получения серебра из свинцовой руды. К сожалению, в нашем распоряжении было слишком мало руды, чтобы осуществлять эксперимент в полной мере. Поэтому остановились

на попытке получения металлического свинца. При этом, восстановительный характер атмосферы плавки и высокие температуры позволили предполагать использование в качестве сырья сульфида свинца — галенита (Григорьев, 2003). С учетом имеющегося в археологии и археометаллургии скепсиса относительно плавки сульфидов в рамках простого однофазового процесса было решено провести плавку галенита. В частности, существует мнение о том, что в плавку поступали окисленные руды типа церуссита или ярозита (Hess et al., 1998, p. 64). Другие исследователи склоняются к мнению об использовании вторичных сульфидов (Pernicka et al, 1998, p. 123, 128).

Экспериментальные работы проводились в купольной печи, пристроенной к колодцу. После того, как основная часть топлива прогорела, на под печи поместили кусочек руды (около 40 г), причем руду не дробили. Руду разместили таким образом, что она находилась в зоне температурного максимума и на пересечении воздушных потоков, идущих из сопла и из отверстия, соединяющего колодец и печь. Затем все свободное пространство полости печи заполнили древесным углем. Плавка проводилась всего 15 минут. В результате был получен незначительный слиток свинца — 3—5 г. Около 15% руды оказалось перекрыто шлаковой керамзитовой коркой, и она оказалась вне зоны температурного максимума.

Вторая плавка осуществлялась по той же схеме, но с некоторыми изменениями.

Использовался галенит (100 г.), но на этот раз его поместили в тигель. Тигель был установлен так, что струя воздуха из сопла попадала в его придонную часть. Основная масса топлива располагалась вокруг тигля, а внутрь него было положено четыре куска угля размером 5×8 см. Вся шихта была перекрыта слоем толченого до пылевидного состояния угля.

В результате неравномерного нагрева тигель лопнул таким образом, что одна из частей оказалась ниже, и в образовавшуюся трещину стал поступать воздух. Через 30 минут подкачка воздуха мехами была прекращена. Тяга из колодца обеспечивала равномерное прогорание остатков топлива в печи.

На дне печи были обнаружены крупные капли свинца размером 1,5×2 см, массой 15—20 г. Минимальное количество керамзитового шлака и незначительное число фрагментов нерасплавленной руды были обусловлены стабильной атмосферой внутри плавильной камеры, а также оптимальным подбором топлива и расположением тигля. А получение оксида свинца, требуемое для извлечения серебра, является еще более простым процессом.

Анализ продуктов плавки

Отличием экспериментов 2005 г. было то, что были проанализированы, как исходная руда, так и полученный шлак, а также руда, побывавшая в печи. Кроме того, были сделаны анализы угля и золы. Последнее делалось с целью определить возможности археологического выявления производственных площадок, а также то каким образом химический состав золы и угля могут повлиять на характер шлака.

Анализ угля и золы

Для химического анализа были отобраны проба угля, не использованного в экспериментах (обр. 2201) и проба угля после плавки № 6, побывавшего в печи при плавке халькопирита (обр. 2202) (таб. 1-3). Этот уголь имел на поверхности фиолетовый оттенок, как халькопирит после обжига. Эти образцы показали вполне сопоставимые содержания SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO , K_2O и SO_3 . Различия наметились лишь в содержании CuO . В угле, побывавшем в плавке, его содержание растет на порядок.

Были отобраны также образцы золы из обычного костра (обр. 2200) и из печи, после проведения плавки № 11 (обр. 2199). В пробе из костра оказалось выше содержание SiO_2 и Al_2O_3 , но это не является показательным, поскольку эти компоненты составляют основу гранитов, из которых сложен остров. Содержание FeO в золе из печи в несколько раз превысило его содержание в золе из костра, что является вполне ожидаемым результатом. Вызывает интерес гораздо большее содержание K_2O и особенно CaO в золе из костра. Это может иметь только одно объяснение — эти компоненты при плавке более активно переходят в шлак. Повышение их в шлаке было зафиксировано соответствующими анализами, что согласуется с экспериментальными данными других исследователей (Merkel, Rothenberg, 1995, p. 163). Кроме того, на пониженное их содержание в золе из печи оказывает влияние более высокая доля Al_2O_3 , который более активно попадает в золу при термическом разрушении обмазки печи. Примечательно также то, что сера, содержащаяся в угле, в золе полностью исчезает, поскольку выгорает. Таким образом, в определенной степени, повышенное содержание в золе FeO и Cu , а также пониженное CaO и K_2O могут служить дополнительным признаком того, что зола получена в ходе металлургического производства.

Таб. 1-3

Химический анализ угля и золы экспериментальных работ (вес. %).
Анализ произведен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

Материал	№	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	K_2O	SO_3	Cu	CuO
Зола из печи	2199	57,4	11,72	1,52	4,86	3,5		1,75	
Зола из костра	2200	33,22	9,45	0,36	22,58	6,31		0,35	
Уголь	2201	0,02	0,13	0,36	1,14	0,19	0,78		0,04
Уголь из печи	2202	0,06	0,14	0,36	0,57	0,23	0,91		0,3

Недостатком этого вида анализа является его дороговизна, не позволяющая осуществлять значительные аналитические серии (например, из разных зольников или разных участков зольника) на поселениях. Оптимальным является, по-видимому, использование на начальной стадии спектрального анализа. Как мы видим из приводимой ниже таблицы (таб. 1-4), подавляющее большинство элементов в золе и угле, побывавших в металлургической печи, принципиально не отличается от угля или золы из костра.

Однако, содержание меди возрастает на порядок, что и может являться надежным диагностическим признаком. То же происходит с серебром. Однако, поскольку объяснению это пока не поддается, а количество анализов невелико, опираться на содержание серебра не следует.

Химический же анализ может использоваться для дополнительной аргументации и подтверждения выводов, сделанных на базе спектрального анализа. Однако спектральный анализ является достаточно надежным диагностическим признаком для этого. Эти данные вполне соответствуют аналитическим исследованиям золы с древних медеплавильных комплексов, которые показали повышенные концентрации в ней меди (Shalev et al., 2006, p. 991).

Было сделано 18 минералогических анализов шлака и руды, побывавшей в металлургической печи, а также фрагментов тиглей и обмазки. Как уже обсуждалось выше, анализы халькопирита, подвергнутого термической обработке, показали, что в случае, если плавильный процесс не прошел, а имел место лишь обжиг руды, существенно на преобразование халькопирита это не влияет. Однако образующиеся вдоль его зерен преобразования в иные сульфиды делают рудное тело более хрупким, позволяя легко измельчать руду (рис. 1-III.4).

Таб. 1-4

Спектральный анализ угля и золы экспериментальных работ (%)
Анализ произведен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	As	Ag	As	Mo	Ba	Sr	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Зола из печи	2199	0,007	0,01	0,05	0,1	0,005	0,3	<0,0005	1	0,1	0,02	0,02	0,002	0,02	0,001	0,2	0,05	0,0007	0,0001	0,015	0,0015	0,0015	0,0001
Зола из костра	2200	0,005	0,003	0,015	0,15	0,0015	0,3	<0,0005	0,07	0,05	0,03	0,0005	0,01	0,0005	0,0005	0,5	0,1	0,015	0,00015	0,01	0,0015	<0,0001	<0,0001
Уголь	2201	0,002	<0,0003	0,01	0,05	<0,001	0,03	<0,0005	0,01	0,015	0,003	0,01	<0,00003	0,01	0,0001	0,1	<0,01	0,0005	<0,00003	0,0015	<0,0005	<0,001	<0,0001
Уголь после плавки	2202	0,003	0,002	0,02	0,05	<0,001	0,01	<0,0005	0,1	0,015	0,007	0,0001	0,0001	0,03	0,0001	0,02	<0,01	0,0007	<0,00003	0,0015	<0,0005	<0,001	<0,0001
Чувствительность анализа																							
		0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,001	0,003	0,0003	0,01	0,00003	0,01	0,0001	0,01	0,01	0,0005	0,00003	0,001	0,0005	0,001	0,0001

Таб. 1-5

Результаты спектральных анализов компонентов и продуктов экспериментальных плавок (%)
Анализ произведен в комплексной лаборатории ОАО Челябинскгеосъемка.

Плавка	Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Кара-лы	руда	2102	0,15	0,01	0,05	0,07	0,01	0,2	<0,0005	1	0,1	0,007	0,00005	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,01	0,1	<0,001	0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
Турко-ж	гранулированный песок	2104	0,003	0,0007	0,03	0,02	0,0015	0,2	<0,0005	0,015	0,02	0,005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,3	0,1	0,001	0,0015	0,0002	0,01	0,0015	0,0015	0,0015
Турко-ж	глина	2105	0,007	0,002	0,02	0,07	0,007	0,4	0,0005	0,02	0,01	0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,15	0,04	0,0005	0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,0015	0,0015
Никольский	руда	2106	0,003	0,0005	0,02	0,1	0,003	0,15	<0,0005	1	0,007	0,003	0,003	0,2	<0,003	<0,001	0,005	0,005	0,7	0,07	0,0015	0,0005	0,0001	0,007	0,0005	0,0005	0,0005
1, 2, 3, 4	Халькопирит	2107	0,003	0,07	0,0015	0,005	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,3	0,01	0,003	0,07	<0,003	0,003	<0,001	nd	0,015	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
3	Шлак	2116	0,005	0,07	0,0015	0,05	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,3	0,02	0,003	0,01	<0,003	0,003	<0,001	nd	0,05	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	0,001	0,001	0,001
2	Оплавочная ванная обсадка	2117	0,015	0,002	0,05	0,06	0,007	0,5	1	0,03	0,015	0,003	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,15	0,05	0,001	0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,001	0,001
2	Обоженная руда	2120	0,002	0,07	0,002	0,05	<0,001	0	<0,0005	1	1	0,07	0,003	0,015	<0,003	0,005	<0,001	nd	0,015	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	0,001	0,001	0,001
2	Шлак	2121	0,04	100/1000	0,02	0,07	<0,001	0,15	<0,0005	1	0,3	0,03	0,001	0,005	<0,003	0,005	<0,001	nd	0,2	<0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	nd	0,0005	0,0005	0,0005
4	Шлак	2124	0,03	0,1	0,0015	0,05	<0,001	<0,005	<0,0005	1	1	0,15	0,002	0,01	<0,003	0,005	<0,001	nd	0,15	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	0,001	0,001	0,001
5	Окисленная руда до плавки	2125	0,1	0,01	0,05	0,07	0,01	0,2	0,0005	1	0,1	0,003	0,00005	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,01	0,015	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
5	Шлак	2128	0,15	0,015	0,1	0,07	0,01	0,15	0,0005	1	0,1	0,005	0,00005	0,06	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,01	0,015	<0,001	<0,0005	0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
6	Халькопирит до плавки	2133	0,003	0,1	0,003	0,01	<0,001	<0,005	<0,0005	1	1	0,03	0,0015	0,05	<0,003	0,007	<0,001	0,0015	<0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001

Продолжение Таб. 1-4

Плавка	Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
6	Обо- жжен- ная в ходе плавки руда	2134	0,004	0,1	0,001	0,01	<0,001	<0,005	<0,0005	1	1	0,03	0,0015	0,03	<0,003	0,007	<0,001	0,0015	<0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
6	Фраг- мент обмазки руда	2137	0,01	0,005	0,05	0,05	0,01	0,5	0,001	0,2	0,015	0,005	0,0005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,1	0,03	<0,001	0,0007	0,0001	0,015	0,0015	0,002	0,00015
6	Фраг- мент обмазки красно- го цвета	2138	0,005	0,002	0,03	0,07	0,005	0,3	0,0005	0,015	0,005	0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,2	0,03	0,001	0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,0015	0,0001
6	Фраг- мент обмазки серого цвета	2141	0,005	0,0015	0,03	0,03	0,005	0,3	0,0005	0,01	0,005	0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,15	0,04	<0,001	0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,002	0,00015
6	Шлак	2142	0,005	0,1	0,003	0,15	<0,001	0,2	<0,0005	1	0,2	0,04	0,001	0,005	<0,003	0,003	<0,001	0,003	0,07	0,015	<0,001	<0,0005	0,00007	nd	0,001	<0,001	<0,0001
6	Шлак	2145	0,005	0,1	0,001	0,07	<0,001	0,1	<0,0005	1	0,4	0,04	0,001	0,005	<0,003	0,003	<0,001	0,005	0,03	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	0,001	<0,001	<0,0001
7	Шлак	2147	0,007	0,01	0,05	0,05	0,05	0,3	<0,0005	0,4	0,03	0,003	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,3	0,04	<0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,0015	0,0015	0,0001
8	Дно тигла	2151	0,007	0,003	0,03	0,07	0,01	0,4	<0,0005	0,015	0,01	0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,15	0,04	0,001	0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,0015	0,00015
8	Шлак, похо- жий на керам- зитовый	2155	0,007	0,002	0,02	0,2	0,005	0,5	<0,0005	0,03	0,005	0,002	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,3	0,05	<0,001	0,0005	0,00015	0,01	0,001	0,0015	0,0001
8	Шлак с поверх- ности рудной кромки	2156	0,15	0,03	0,1	0,1	0,007	0,3	<0,0005	1	0,15	0,02	0,0002	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,2	<0,01	<0,001	0,0005	<0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,0001
9	Халько- пирит до обжига	2158	0,07	0,07	0,1	0,05	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,15	0,003	0,0001	0,1	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	<0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
9	Халько- пирит после обжига	2159	0,15	0,1	0,1	0,03	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,15	0,003	0,0005	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
10	Руда с Николь- ского	2162	0,1	0,005	0,2	0,02	0,007	0,1	0,005	1	0,06	0,003	<0,00003	0,7	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,015	<0,01	<0,001	0,001	<0,00003	nd	0,001	<0,001	<0,0001
10	Сопло	2163	0,01	0,005	0,05	0,07	0,005	0,3	0,0005	0,15	0,02	0,003	0,0001	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,15	0,03	<0,001	0,0007	0,0002	0,015	0,0015	0,002	0,0002
10	Ошла- кован- ная обмазка	2165	0,01	0,02	0,07	0,07	0,003	0,3	<0,0005	1	0,4	0,01	0,002	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,2	0,03	<0,001	0,001	0,00015	nd	0,0015	<0,001	<0,0001
10	Обмазка пода	2168	0,01	0,003	0,05	0,07	0,005	0,3	<0,0005	0,05	0,01	0,007	0,0001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,2	0,03	<0,001	0,0007	0,0002	0,015	0,0015	0,0015	0,00015

Окончание Таб. 1-4

Плав-ка	Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
10	Шлак	2169	0,15	0,01	0,7	0,1	0,007	0,15	0,007	1	0,007	0,003	<0,00003	0,5	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,7	0,02	<0,001	nd	0,00015	nd	nd	<0,001	<0,0001
11	Шлак из передней части печи	2172	0,1	0,07	0,2	0,05	<0,001	0,015	<0,0005	1	0,15	0,007	0,0007	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	nd	0,2	<0,01	<0,001	<0,00003	nd	0,0005	0,0005	<0,001	<0,0001
11	Шлак из задней части печи	2176	0,15	0,1	0,15	0,1	<0,001	0,005	<0,0005	1	0,15	0,003	0,002	0,1	<0,003	<0,001	<0,001	nd	0,015	<0,01	<0,001	<0,00003	nd	0,0005	0,0005	<0,001	<0,0001
11	Фрагмент пода печи	2181	0,007	0,002	0,03	0,05	0,007	0,3	0,0005	0,015	0,005	0,003	0,00005	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,15	0,04	<0,001	0,0005	0,0002	0,015	0,001	0,0015	0,0001
11	Обожженная руда от задней стенки печи	2182	0,1	0,1	0,15	0,1	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,1	0,003	0,001	0,15	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	<0,01	<0,01	<0,001	<0,00003	nd	0,0005	0,0005	<0,001	<0,0001
11	Обожженная руда из основного массива шлака	2183	0,15	0,07	0,07	0,07	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,1	0,003	0,001	0,07	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,01	<0,01	<0,001	0,0005	<0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,0001
11	Шлак из основного массива шлака	2185	0,15	0,1	0,07	0,05	<0,001	<0,005	<0,0005	1	0,15	0,003	0,001	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	nd	0,01	<0,01	<0,001	0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
11	Шлак	2192	0,15	0,1	0,2	0,05	<0,001	0,02	<0,0005	1	0,2	0,003	0,001	0,07	<0,003	<0,001	<0,001	nd	0,01	<0,01	<0,001	<0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	<0,0001
12	Халькопирит с Гаш-Тау	2196	0,005	0,0015	0,002	0,07	<0,001	0,005	<0,0005	1	0,3	0,02	0,002	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,07	<0,01	<0,001	<0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,001	<0,0001
12	Халькопирит с Гаш-Тау, после обжиг	2198	0,005	<0,0003	0,0015	0,05	<0,001	0,005	<0,0005	1	0,4	0,03	0,002	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,01	<0,01	<0,001	<0,00003	nd	0,001	<0,001	<0,001	<0,0001
Чувствительность анализа			0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,001	0,003	0,0003	0,00003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,00003	0,001	0,0005	0,001	0,0001

Одной из серьезных проблем в археометаллургии является определение признаков тигельной плавки. Реконструировать подобную плавку по микроструктуре шлака довольно проблематично, хотя в литературе можно встретить мнение, что идентифицировать тигельную плавку по шлаку вполне возможно (в образовании тигельного шлака участвуют, в первую очередь, глина и зола, но могут присутствовать медь и железо с формированием делафоссита, а также силикаты, кальций, глинозем, медные и железные оксиды) (Tylecote, 1980a, p. 203). Однако все эти компоненты есть в обмазке печи.

Наши эксперименты показали, что керамика, использованная в эксперименте, ошлаковывается в тех случаях, когда имел место ее контакт со шлаковой массой, сформировавшейся из руды. Соответственно, шлак этот является результатом смеси расплавленной керамической массы и рудной. Поэтому при минералогическом исследовании в подобном шлаке фиксируются не только капли меди, но и очень ограниченные рудные включения, а также оливин и магнетит. Исследованная под микроскопом ошлаковка края тигля (обр. 2148) была представлена пористым стеклом с единичными мелкими корольками меди и зародышами оливиновой кристаллизации, что может образоваться и при расплавлении металла. Однако было выявлено мелкое зерно хромита и отдельные мелкие зерна серпентинита. А это характерно для рудовмещающей породы, использованной в данной плавке. Следовательно, ошлаковка края тигля имеет рудное происхождение. Вероятно, это и является наиболее надежным свидетельством тигельной плавки руды. Аналогичный результат ранее был получен при экспериментальной плавке в тигле и при исследовании древнего тигля иными исследователями (Zwicker et al., 1992, p. 104, 106). Правда, возвращаясь к проблеме выявления плавок руд в ультраосновных породах, необходимо отметить, что единичные зерна хромита могут содержаться и в глине обмазки или тигля. Например, был проанализирован керамзитовый шлак, взятый с края тигля, полученный при плавке руды Каргалинских рудников, для которой включения хромита не характерны, и в нем было найдено включение хромита (обр. 2155). В рудном шлаке той же плавки хромит отсутствовал. Поэтому индикатором тигельной плавки руды должно быть устойчивое присутствие рудных минералов, например, хромита. Проанализированный тигельный шлак легкий и пористый. В стекле встречаются отдельные иголки оливиновой кристаллизации, мелкие зернышки кварца (рис. 1-IV.2). Медных минералов и меди не обнаружено. Таким образом, любой анализ содержит элемент случайности. В данном случае в ошлаковке не принимали участие рудные включения.

Ближние микроструктуры может давать и протекшая обмазка, реагировавшая с металлургическим шлаком. Проанализированный под микроскопом обр. 2165 был представлен такой ошлакованной обмазкой. Поскольку шлак керамзитовый, кристаллизация в нем прошла очень слабо, и большая часть поверхности аншлифа представлена стеклом. В нем на некоторых участках встречаются частицы магнетита, зародыши (мелкие призмы) оливиновой кристаллизации. Часть оливинов представлена кристаллами игольчатой формы. Магнетит представлен крупными октаэдрами, которые распадаются из крупных аморфных зерен. Частицы магнетита оплавлены, что вполне естественно при столь высоких температурах. Встречены мелкие корольки меди (рис. 1-IV.3). Однако чаще медь представлена восстановленными частицами (рис. 1-IV.4). Изредка встречены мелкие зернышки куприта. В крупном распадающемся зерне магнетита выявлены включения меди (рис. 1-IV.5). Присутствие магнетита, причем в ассоциации с медными минералами, и указывает на то, что в образовании шлака принимала участие не только обмазка, но и расплавленная порода. Выявлено одно зерно хромита, что отражает, по-видимому, плавку руды из

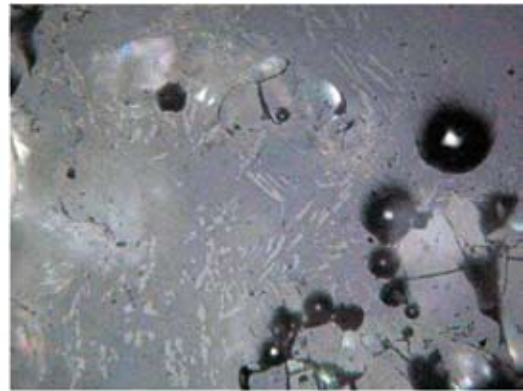
ультраосновных пород. В целом, руды, практически нет, а меди очень мало. Это вполне объяснимо для ошлакованной обмазки. Однако при малой выборке с какого-либо памятника в выборку могут попасть именно подобные образцы. Следовательно, шлаки не всегда отражают ситуацию металлургического производства на каком-то памятнике, во всяком случае, не один образец. Следует обратить внимание на то, что на фоне высоких достигнутых температур (1400 °С) сохранились нерасплавленные частицы меди и куприта. Соответственно, это не всегда происходит, так как часть шихты может находиться в более низкотемпературной зоне.

Анализ шлака, полученного при плавке окисленных руд в ультраосновных породах, то есть типичного сырья синташтинской металлургии, выявил микроструктуры отличные от того, что мы обычно видим в синташтинских шлаках. Разные участки шлака неоднородны, в отличие от довольно однообразных синташтинских образцов. На некоторых участках кристаллизация не прошла. Обычно здесь порода плавно переходит в стекло. Все это указывает на гораздо большую вязкость расплава. На других выявлены скопления восстановленных медных частиц среди частиц железного оксида (рис. 1-IV.6). При этом, магнетита в образцах довольно много. В некоторых местах хорошо выкристаллизовались иглы делафоссита, дендриты куприта, октаэдры магнетита с делафосситом по краям зерен (рис. 1-V.1). Иногда иглы делафоссита слегка изогнуты. Между иглами делафоссита могут прорасти дендриты куприта. На некоторых участках шлака сформировались немногочисленные мелкие призмы оливинной кристаллизации, скелеты и дендриты магнетита, частицы и корольки меди (рис. 1-V.2). Встречаются и довольно крупные медные корольки. Меди в шлаке 1—2%. Крупные корольки меди иногда обрамлены магнетитовой каймы. Особенно много меди встречается в скоплениях магнетита. Это редко правильные корольки, чаще частицы. Но есть и скопления крупных корольков. Много включений серпентинита. Выявлены отдельные зерна хромита. Встречается хромит, окруженный магнетитовой каймой. В трех иных образцах (2144—2146) кристаллизация почти не прошла, поскольку расплав очень быстро застыл. Но встречались мелкая магнетитовая сыпь и одно зерно хромита. Последний, таким образом, может выступать достаточно надежным индикатором плавки руд из ультраосновных пород. Наиболее приближен к синташтинским оказался шлак плавки № 10 2005 года. Образец 2169 представлен обычным металлургическим шлаком. Встречаются участки без кристаллизации. В стекле встречаются поры и мелкие призмы оливина (рис. 1-V.3). По сравнению с основной массой синташтинского шлака оливин выкристаллизовался хуже, что указывает на более высокую скорость затвердевания расплава. Соответственно, или остывание более крупных синташтинских печей происходило медленнее или шлак более вязок, чем синташтинский. Встречается мелкая магнетитовая сыпь, изредка мелкие скелеты и дендриты магнетита. Корольков меди не слишком много (1—3%). Встречаются корольки светло-желтого металла. Некоторые, более крупные, в обрамлении меди. Встречается расплавляющаяся порода, и даже медь в расплавляющемся серпентините. Хромит представлен хорошо, как и в синташтинском шлаке. Таким образом, наблюдается лишь одно отличие от синташтинского шлака: более быстрое остывание и чуть большее количество меди.

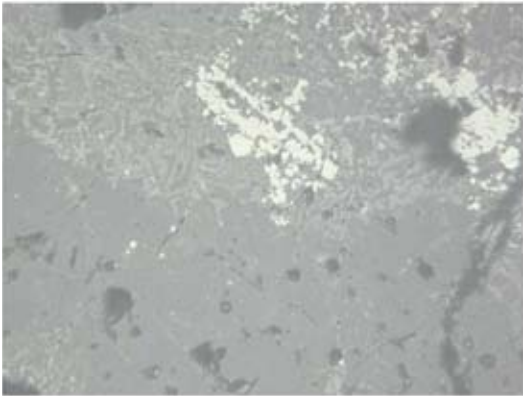
Таким образом, в большинстве случаев плавки ультраосновных руд, несмотря на то, что использована руда, типичная для синташтинской металлургии, таких микроструктур синташтинский шлак не демонстрирует. Кристаллизация оливина типична для синташтинского шлака, однако обилие делафоссита и магнетита указывает на более окислительную атмосферу, чем атмосфера синташтинских плавок. Следовательно, синташтинские металлурги либо более активно использовали вторичные сульфиды, чем об этом можно заключить по микроструктурам, либо им удавалось создавать



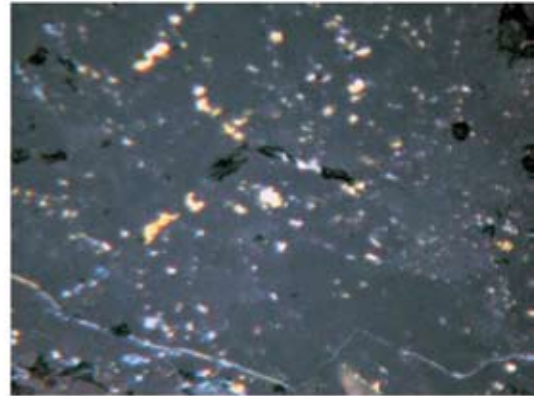
1 — Горение угля в печи с окисленной рудой осуществляется почти без пламени и дыма. По цвету углей визуально хорошо различимы разнотемпературные области. Так, под верхним слоем угля видна ярко-белая область температурного максимума



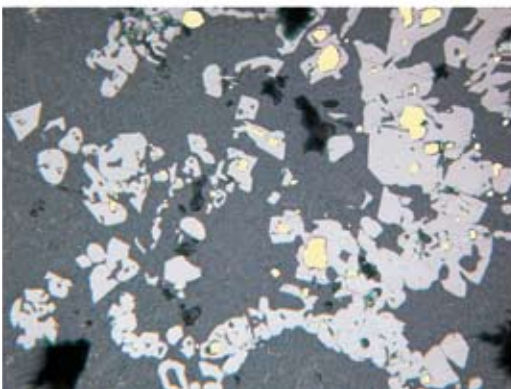
2 — Типичная микроструктура керамзитового шлака. Образец 2155, экспериментальная плавка 8, длина снимка 0,54 мм. В стекле (темно-серый фон) видны поры (темные) и светло-серые иглы фаялитовой кристаллизации.



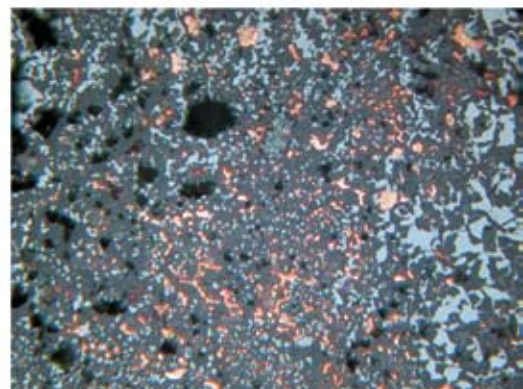
3 — Микроструктура ошлакованной обмазки образца 2165. Длина снимка 0,54мм. В силикатном стекле (серый фон) видны мелкие светло-серые призмы оливина, более светлые частицы магнетита и мелкие розоватые корольки меди.



4 — Микроструктура ошлакованной обмазки образца 2165. Длина снимка 0,22 мм. Корольки меди в силикатном стекле

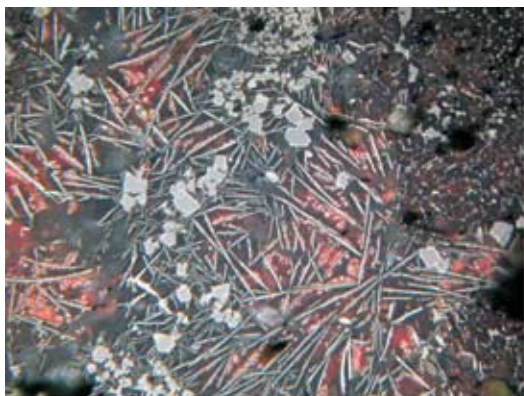


5 — Микроструктура ошлакованной обмазки образца 2165. Длина снимка 0,54 мм. Распадающееся на частицы зерно железного оксида и включения меди

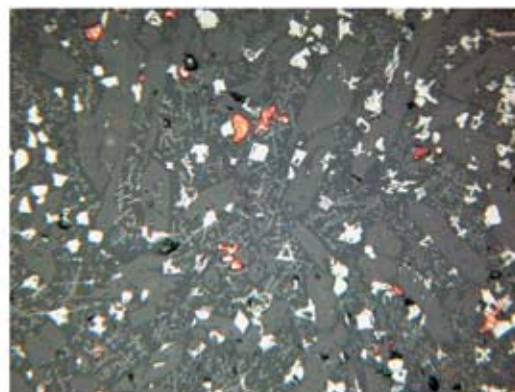


6 — Микроструктура шлака экспериментальной плавки 5. Длина снимка 0,54 мм. Скопления медных частиц среди частиц железного оксида в стекле

Рис. 1-IV. Экспериментальные работы



1 — Микроструктура шлака экспериментальной плавки 5. Длина снимка 0,54 мм. Иглы делафоссита, дендриты куприта (вишневые) и октаэдры магнетита в стекле



2 — Микроструктура шлака экспериментальной плавки 5. Длина снимка 0,54 мм. Призмы оливина, скелеты и дендриты магнетита, частицы и корольки меди



3 — Микроструктура шлака экспериментальной плавки 10. Длина снимка 0,54 мм. Призмы и иглы оливина и мелкая магнетитовая сыпь

Рис. 1-V. Экспериментальные работы

более восстановительную атмосферу, за счет эффективной работы системы «печь — колодец». Но и в случае восстановительной атмосферы, как в образце 2169, скорость остывания расплава оказалась выше.

Были осуществлены и ограниченные химические анализы компонентов плавки. В принципе, для исследования поведения микропримесей более правильно использовать статистические серии. Однако поскольку в экспериментах были использованы разные руды и режимы, корректней приводить поведение элементов не суммарно, а по отдельным плавкам. Небольшие изменения (полпорядка) игнорировались, поскольку при столь небольших выборках они могут быть вызваны неомогенностью материала.

Необходимо иметь в виду, что приводимые данные не могут в полной мере быть перенесены на анализ древних шлаков, поскольку полного металлургического передела не произошло. Кроме того, выводы, которые даже вполне достоверны, например, о переходе элементов-примесей из обмазки печи, применимы относительно данных элементов лишь в этой конкретной ситуации, так как химический состав обмазки в разных районах будет различаться. Полученный результат лишь демонстрирует подобную возможность (таб. 1-5).

Руда (халькопирит), шлак и ошлакованная обмазка, полученные в результате эксперимента 2 (2005 г.) дали следующие результаты. По сравнению с исходной рудой в шлаке не изменились следующие элементы: Co, Zn, Pb, Cd, Ga, Y, Yb, зато значительно выросло содержание Ni, Cr, Mn, Ba, и в меньшей степени Ti, Be. Значительно уменьшилось содержание As и немного содержание Ag.

В обожженной руде не изменилось содержание Ni, Co, Cr, Zn, Ag, Cd, Ba, выросло содержание Pb, Ga, Y, Yb, но в особенности Mn, уменьшилось содержание As.

Общий химический состав шлака по сравнению с рудой почти не изменился (таб. 1-1; 1-6). Содержание CaO осталось прежним, но содержание K₂O повысилось в 4,5 раза. Источником его может быть зола, где содержание этого компонента достаточно велико (таб. 1-3, обр. 2199, 2200). Однако в руде, практически, отсутствовали SiO₂ и Al₂O₃. В шлаке же появилось 9,66% SiO₂ и 2,11% Al₂O₃. Поскольку флюсовые добавки не применялись, единственным возможным источником этих компонентов является поплывшая обмазка печи. В исходной глине, использованной в экспериментальных работах, содержалось 66,75% SiO₂ и 13,33% Al₂O₃ (обр. 2105). Соответственно, обмазка могла оказать воздействие и на состав микропримесей. В этом смысле интересен анализ обмазки этой плавки (таб. 1-5, обр. 2117). Не перешли в шлак такие элементы, как V и Sc, имеющиеся в глине и обмазке, но отсутствующие в шлаке и руде. Мог повлиять на повышение содержания в шлаке переход Mn, Ba, Be (состав идентичный в обмазке и шлаке), Cr, Ti.

Наличие в обмазке 0,03% меди, видимо, не связано с переходом из руды и не может маркировать металлургические процессы, так как 0,02% меди есть в исходной глине. Соответственно, подобные концентрации не всегда отражают наличие металлургии меди. Отсутствие в обмазке таких элементов как Ag и As могло повлиять на их понижение в шлаке.

Таким образом, судя по эксперименту 2 (при невысоких температурах), некоторые изменения в составе микропримесей в шлаке могут быть обусловлены микропримесями обмазки. Изменения в составе ошлакованной обмазки по сравнению с исходной глиной не отмечены.

Сходные результаты получены при неудачной плавке халькопирита в эксперименте 3. Химический состав шлака, не считая некоторого увеличения силикатного компонента, не изменился. Изменения в наборе микропримесей были обработаны с учетом результатов эксперимента 2. В целом, в шлаке повышается содержание таких примесей, как Ba, Ni, Mn, Ti, не изменяется содержание Co, Cr, Zn, Pb, Ag, Cd, W, Sn, V, Sc, Be, Ga, Y, Yb и уменьшается содержание As. Как мы обсуждали выше, повышение содержания всех элементов за исключением Ni объясняется переходом их в шлак из обмазки. Симптоматично во всех случаях снижение концентраций мышьяка.

В эксперименте 4 использованы смесь окисленной руды месторождения Никольское и халькопирита. Общий химический анализ особых изменений не выявил. По сравнению с окисленной рудой с Никольского месторождения в шлаке уменьшился силикатный компонент, который возрос по сравнению с халькопиритом. Однако, судя по минералогическому анализу, в образовании шлака принимал участие халькопирит, что подтверждается и данными спектрального анализа шлака. По отношению к халькопириту состав микропримесей не изменился. Выросло лишь содержание Ba. Изменения заметны лишь по отношению к малахиту (рост Ni, Co, Mn, Cd, уменьшение Cr, V, Ti, Zn, As, Sr, W, Sn, Be, Zr), но это объясняется лишь тем, что ошлаковался халькопирит и проба взята с него. Таким образом, даже при столь невысоких температурах первичная сульфидная руда начинает легче реагировать в шлаковых реакциях, чем окисленная.

В эксперименте 5 использовалась окисленная руда из ультраосновных пород. Составление химического состава шлака, исходной руды и обмазки позволило выявить следующую картину. В шлаке по сравнению с рудой химический состав не изменился. Повысилось содержание SiO_2 и Al_2O_3 . Вероятно, это повышение связано с проникновением этих компонентов в шлак из обмазки печи. Некоторое повышение содержания CaO и K_2O , видимо, связано с их переходом из золы.

Таб. 1-6

**Результаты химического анализа руды (до термического воздействия)
и шлака экспериментальных плавов (вес. %)**

Анализ произведен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

№	Плавка №	Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	MnO	Cu	SO_3
2152	8	Дно тигля	62,54	12,51	3,7	9,43	1,78	2,25	0,07	0,09	0,12
2106	4	Окисленная руда	49,48	5,19	5,68	1,43	1,38	0,21	0,11	21,53	1,56
2126	5	Окисленная руда	30,64	5,94	17,67	1,43	9,5	0,07	0,07	17	0,13
2161	10	Руда	34,74	7,5	12,8	0,28	15,64	0,05	0,02	12,74	0,25
2112	1, 2, 3, 4	Халькопирит	0,32	0,58	53,84	2,57	1,38	0,1	0,02	11,95	0,17
2132	6	Халькопирит	0,94	0,42	66,65	1,72	0,2	0,11	0,02	10,5	0,28
2158	9	Халькопирит	2,44	0,81	59,74	1,72	4,75	0,1	0,04	14,75	0,84
2195	12	Халькопирит	1,34	0,29	54,66	1,14	1,38	0,1	0,02	9,23	0,51
2116	3	Шлак	5,54	0,67	69,49	2,86	1,98	0,11	0,03	7,8	0,87
2121	2	Шлак	9,66	2,11	56,28	2,86	2,97	0,45	0,05	12,2	0,17
2123	4	Шлак	13,22	1,64	55,06	1,72	1,58	0,27	0,06	11,85	0,33
2129	5	Шлак	39,32	7,52	17,47	3,14	10,89	0,35	0,2	17,43	0,44
2144	6	Шлак	30,5	6,59	40,03	2,29	1,58	1,46	0,11	10,28	0,22
2145	6	Шлак	7,64	1,22	70,3	2	0,99	0,25	0,04	8,28	0,45
2146	7	Шлак	64,64	13,87	3,54	6,86	2,38	4,59	0,27	0,09	0,22
2169	10	Шлак	47,5	10,69	12,5	2,29	14,65	1,14	0,14	9,1	0,28
2173	11	Шлак	2,42	1,05	69,5	1,43	2,38	0,14	0,03	13,46	1,16
2186	11	Шлак	4,38	0,92	57,7	6,29	3,17	0,34	0,11	14,12	6,28
2193	11	Шлак	3,5	1,52	60,96	2	4,15	0,22	0,07	16,72	2,61
2153	8	Шлак керамзитовый	63,56	11,81	3,65	9,72	2,17	3,58	0,24	0,48	0,2

Поскольку металл остался в шлаке, и металлургические переделы не произошли, состав микропримесей в шлаке по сравнению с исходной рудой не изменился. Глина обмазки не оказала никакого влияния на это. Собственно, обмазка текла редко, лишь у сопла. В данном случае в формировании состава микропримесей шлака она не участвовала.

В эксперименте 6 использовался халькопирит. Общий химический анализ выявил следующую картину: В шлаке по сравнению с рудой заметно выросло содержание SiO_2 , Al_2O_3 , что связано с переходом этих соединений из обмазки печи. Наблюдается совсем незначительный рост (0,3—1%) CaO , K_2O , перешедших в шлак, вероятно, из золы.

Наблюдается и определенное изменение состава микропримесей, выявленное на основе спектрального анализа: увеличение содержания Mn , Ti и Ba , и уменьшение Zn и As . Содержание ряда иных элементов (Ni , Co , Cr , V , Sc , Pb , Ag , Cd , Mo , W , Sn , Be , Ga , Y , Yb) не изменилось. Сопоставление этого результата с результатом анализа обмазки позволило заключить, что именно обмазка оказала влияние на изменение набора микропримесей в шлаке.

Примечательно, что содержание Cr в обмазке выше, чем в руде и шлаке, хотя руда происходит из месторождения в серпентинитах, для которых характерны включения хромитов. Следовательно, в ряде случаев хромиты могут попадать в шлак из обмазки, не всегда являясь, таким образом, диагностическим признаком, позволяющим относить рудный источник к ультраосновным породам.

Были осуществлены также сопоставления химического состава обмазки разного цвета из разных участков стенок печи с химическим составом исходной глины (таб. 1-5). Существенной разницы отмечено не было.

В эксперименте 7 в тигле был проплавлен халькопирит с песком. Химический анализ (2146) показал, что состав шлака кислотный. Этим и объясняется отсутствие кристаллизации в шлаке. По сравнению с рудой резко выросло содержание SiO_2 и Al_2O_3 . В руде их, практически, нет. Край тигля тоже сильно не оплавлен. С другой стороны, в шлаке мало меди и Fe_2O_3 , не исключено, что в формировании шлака большую роль сыграл гранитный песок, в котором SiO_2 и Al_2O_3 представлены очень хорошо. Рост содержания CaO и K_2O связан, вероятно, с золой.

Спектральный анализ показал (обр. 2147), что в шлаке по сравнению с рудой увеличилось содержание следующих элементов: Cr, Ti, Ba, Sr, Be, Ga, а уменьшились: Co, Cu, Zn, Pb, Ag, As, Cd. Сложно сказать, что оказало большее воздействие на поведение микропримесей. Температуры были достигнуты достаточно высокие. Для большинства элементов можно говорить, что смещение вызвано химическим составом глины. Но тигель не расплавлен. Он ошлакован, но ошлакован рудным шлаком. Поэтому отчасти изменение состава микропримесей вызвано участием в расплаве гранитного песка, а отчасти металлургическим переделом.

В эксперименте 8 в тигле была проплавлена окисленная руда из Каргалинских рудников. Проанализирован керамзитовый шлак края тигля и рудный шлак. Сравнение химических анализов исходной глины, дна тигля и керамзитового шлака показало, что они, практически, идентичны. Поэтому, скорее всего, керамзитовый шлак формировался за счет оплавленного края тигля. По сравнению с тиглем, в шлаке несколько увеличилось содержание меди, следовательно, руда тоже принимала участие в формировании этого шлака. Соответственно, мелкие иглы оливина вызваны не высокой скоростью остывания шлака, а недостатком железистого компонента. Они могут формироваться и в керамзитовом шлаке.

По подавляющему числу элементов состав микропримесей не изменился. В керамзитовом шлаке по сравнению с обмазкой и глиной выросло содержание Ag и уменьшилось содержание W (возможно, благодаря шлаку рудному). В шлаке с поверхности руды немного выросло содержание Pb и в большей степени Ag и Ba, а уменьшилось содержание Sr.

В эксперименте 9 халькопирит был обожжен в печи. Спектральный анализ обожженной руды заметных изменений в микропримесях не выявил.

В 10 эксперименте плавилась руда из ультраосновных пород Ишкининского рудника. Химическому анализу были подвергнуты шлак и исходная руда. Учитывались анализы глины и обмазки. В шлаке, по сравнению с рудой, уменьшилось содержание меди и несколько выросло содержание SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и K_2O . Первые два компонента перешли в шлак из обмазки, вторые — из золы. Но переход компонентов из золы может быть только незначительный, до 1—2%, как показывает данный анализ.

Спектральный анализ шлака, сопла, фрагментов пода и стенки печи показал незначительные изменения в содержании микропримесей. В шлаке по сравнению с рудой и в обмазке по сравнению с глиной состав микропримесей почти не изменился. В шлаке немного выросло содержание Cr и Be, и в большей степени Zn, Ba и Sr, которые, возможно, перешли из обмазки. В обмазке выросло содержание Ag и немного Cr, а в обмазке стенки в районе сопла Cu и Mo.

В 11 эксперименте плавил окисленную руду и халькопирит Ишкининского месторождения. Проанализирован лишь слегка ошлакованный халькопирит. Химический анализ изменений не выявил. Сходная ситуация и с набором микропримесей. В обожженной руде, шлаке и керамических массах заметных изменений

состава микропримесей не произошло. Везде несколько выросло лишь содержание серебра.

После кострового обжига халькопирита в эксперименте 12 изменений химического состава и состава микропримесей тоже не произошло.

Таким образом, при анализе химического состава шлака следует учитывать, что некоторые компоненты (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO и K_2O) могут перейти в шлак из обмазки печи и золы. Более сложно судить на основе данных экспериментов о поведении микропримесей, поскольку нормального металлургического передела в рамках данных экспериментов получить не удалось. Однако очевидно, что спектроаналитические исследования шлака в дополнение к проблемам, связанным с неомогенностью анализируемого материала, имеют еще одну проблему — помимо руды и рудонесущей породы на состав микропримесей в шлаке может оказать воздействие обмазка печи, а в какой-то степени зола, флюсы и иные факторы.

Из иных экспериментальных работ мы знаем, что при температуре до $950\text{ }^\circ\text{C}$ содержание мышьяка в меди по сравнению с рудой сильно не меняется. При более высоких температурах содержание мышьяка начинает резко расти. При температуре $1300\text{ }^\circ\text{C}$ почти весь мышьяк переходит в металл. Поэтому наличие или отсутствие таких элементов как Ni, As, Sb, Ag не имеет значения для определения региона, откуда металл происходит, поскольку зависит от технологии (Pollard et al., 1990, p. 130—132, 135).

Другие эксперименты показали, что при плавке окисленной руды содержание мышьяка и никеля возрастает. При плавке сульфидных руд содержание всех примесей уменьшается. Даже мышьяк почти весь уходит из металла. В этом причина чистоты металла периода ПБВ. При большей загрязненности сульфидных руд, причина очистки металла в более высоких температурах. Кроме того, на чистоту металла влияет рафинирование в тигле (Tylecote, 1980, p. 7). Однако в ряде случаев мы имеем дело со смесью руды различного типа, что затрудняет прогнозирование поведения микропримесей.

Таким образом, на поведение микропримесей в металле и шлаке будут оказывать различное воздействие многие факторы, в том числе тип использованной руды и достигаемая температура.

В этой работе важное место будут занимать сплавы с мышьяком. Поэтому нельзя не упомянуть еще серии экспериментов по этой тематике (Marechal, 1965; Рындина и др., 2008). Плавка медной руды с мышьяковыми минералами позволяет стабильно получать мышьяковые бронзы того состава, который применялся в древности.

Исследование металла, полученного в ходе экспериментальной плавки руды с поселения Норшунтепе в Анатолии, показало, что примеси в нем распределены неравномерно. Для получения гомогенного сплава требовалась переплавка (Zwicker, 1980, p. 15). Однако это актуально и при переплавках самородной меди (Wayman, Duke, 1995). Но шлак является еще менее гомогенным материалом, к тому же, полученным в результате разовой плавки.

На практике все это означает, что в отличие от металла, мы не можем с полным доверием относиться к группам, выделяемым для шлака на основе анализа состава микропримесей, хотя какие-то наиболее общие тенденции этот анализ отражает вполне объективно.

На основе химических анализов были высчитаны коэффициенты основности образцов (таб. 1-7).

Руда и шлаки экспериментальных работ были разделены на группы в соответствии с коэффициентом основности. Вполне очевидно, что весь халькопирит, использованный в плавках, в котором было весьма незначительное количество рудовмещающей

породы, был отнесен к ультраосновной группе. Соответственно, все шлаки, полученные при плавке халькопирита, относятся тоже к ультраосновной группе, хотя коэффициент основности заметно понижается за счет участия в формировании шлака флюсов или обмазки печи. Лишь один образец (2144) был отнесен к шлакам среднего состава. Более высокое содержание кислотных компонентов здесь связано с включениями рудовмещающей породы.

Таб. 1-7

Коэффициенты основности шлака и руды экспериментальных плавков

Образец	Эксперимент	Материал	Основность	Группа
2112	1,2,3,4	Халькопирит	64,53	Ультраосновная
2132	6	Халькопирит	50,72	Ультраосновная
2195	12	Халькопирит	35,47	Ультраосновная
2158	9	Халькопирит	20,67	Ультраосновная
2173	11	Шлак	21,51	Ультраосновная
2193	11	Шлак	13,95	Ультраосновная
2186	11	Шлак	13,94	Ультраосновная
2116	3	Шлак	12,13	Ультраосновная
2145	6	Шлак	8,36	Ультраосновная
2121	2	Шлак	5,33	Ультраосновная
2123	4	Шлак	3,97	Ультраосновная
2144	6	Шлак	1,23	Средний
2126	5	Окисленная руда	0,79	Кислый
2161	10	Окисленная руда	0,68	Кислый
2129	5	Шлак	0,68	Кислый
2169	10	Шлак	0,53	Кислый
2153	8	Шлак керамзитовый	0,26	Ультракислый
2146	7	Шлак	0,22	Ультракислый
2106	4	Окисленная руда	0,16	Ультракислый

Окисленная руды с месторождения Никольское имеет ультракислый состав. Месторождение это приурочено к кварцевым жилам, поэтому подобный состав руды вполне объясним. Окисленные руды месторождений Дергамышское и Ишкининское имеют кислый состав. Шлаки, полученные при плавке этой руды, тоже демонстрируют кислый состав. Этим и объясняется слабая степень кристаллизации в шлаке. Эти месторождения относятся к ультраосновным. Древние шлаки, полученные при плавке подобных руд, имеют тоже ультраосновной состав. Судя по всему, плавке этой руды должна была предшествовать ее сортировка. Шлак эксперимента 7, в котором был использован халькопирит, имеет ультракислый состав. Вероятно, на это оказало воздействие то, что в образовании шлака основную роль сыграл песок, использованный в качестве флюса. Наконец, шлак эксперимента 8 тоже показал ультракислый состав, что объясняется тем, что шлак этот керамзитовый, образовавшийся из обмазки печи.

Таким образом, данный показатель в состоянии объяснить причины вязкости шлака.

Иногда в этой работе используются этнографические параллели по архаичным плавкам в Африке и Индии. Но они не всегда могут переноситься напрямую, даже в районах, где можно проследить сохранение традиции. Африканские этнографические печи недавнего времени в районе Великих озер строились на одну плавку, причем на скорую руку. Но это не означает, что в древности было так же. У древних на этой территории зафиксированы подмазки и ремонты печей (Schmidt, 1997, p. 176). Поэтому данная информация может учитываться, но ее нельзя использовать в качестве надежного доказательства существования той или иной операции в древности. Это

касается не только исследований древней металлургии, а возможности применения этнографических параллелей в археологии вообще.

Подводя итог результатам экспериментальных работ, я не стану возвращаться к сделанным в ходе них частным выводам. Они не могут иметь самостоятельного значения для реконструкции древнего производства. Мы к ним будем неоднократно возвращаться по мере описания конкретных археологических материалов. Остановимся лишь на констатации тех результатов, которые вытекают из минералогических и химических анализов материалов экспериментов, поскольку они нам потребуются для понимания корректности тех или иных анализов археологического материала.

Как уже неоднократно подчеркивалось, любые единичные анализы шлаков способны дать искаженную картину, в силу неомогенности их состава и возможного формирования в различных зонах печи. Невозможность определить исходную рудную базу на основе спектрального анализа, что обсуждалось во введении, усугубляется тем, что на химический состав шлака может оказывать воздействие обмазка (в случае ее расплавления) и зола. Это не приводит к полному искажению картины, но во многих случаях такие сдвиги неизбежны.

Но хотелось бы остановиться на одном важном и фундаментальном выводе, который можно сделать из наших экспериментов и из множества экспериментов иных исследователей. Как мы видели, подавляющую часть экспериментов успешными назвать нельзя. Никому не удалось добиться относительно полного отделения шлака от металла, особенно, когда речь идет о плавке окисленной руды. При этом, экспериментами занимались люди, сведущие в археометаллургии, знающие химизм этих процессов, знакомые с научной литературой и опытом других экспериментаторов. Но эмпирический опыт древних металлургов, передаваемый из поколения в поколение, был несоизмеримо больше. И передача этого опыта невозможна без непосредственного обучающего процесса. Поэтому передача металлургических технологий возможна лишь при условии этого процесса, то есть, непосредственного контакта носителей металлургической традиции с новыми ее адептами. В случае, если эта традиция распространяется на значительное расстояние, мы просто обязаны ставить вопрос о миграционных процессах.

Глава 2. Производство в эпоху энеолита, раннего и среднего бронзового века

На территории Северной Евразии, как и почти повсеместно, первые металлические изделия появляются в эпоху энеолита. К сожалению, для этого времени нам почти не известны факты плавки меди из руды. Поэтому обычно находки этого времени трактовались либо как импорты медных изделий, либо какковка самородной меди. Однако последнее время появилась серия косвенных признаков того, что производство этой эпохи было более сложным. Причем, факты, говорящие в пользу этого, существовали и раньше, но на них обычно не обращали внимания.

Рассматриваемая территория огромна. Поэтому на первых стадиях освоения металла здесь должны были быть сочетания разнонаправленных импульсов, возможно, где-то самозарождение металлургического производства. Хотя, когда мы имеем дело с примитивной ковкой самородной меди, невозможно определенно сказать — родилось ли это явление на месте или было стимулировано знакомством с металлом каких-то соседей.

Поскольку в данной работе речь идет, преимущественно, об анализе шлаков, а для энеолита они почти повсеместно отсутствуют, этот очерк будет носить довольно беглый характер. Даже в сравнительно развитых районах Средней Азии предполагается рудный характер металла, но отсутствие убедительных данных о местном производстве заставило предполагать, что он происходил из иранских источников (Энеолит СССР, 1982, с. 54). На западе региона Северное Причерноморье входит в энеолитическую Балкано-Карпатскую металлургическую провинцию. Металлурги трипольской культуры использовали, преимущественно, чистую медь, вероятно, балканских источников. Правда, хотя трипольский металл химически и близок балканскому, технологии и морфология изделий отличаются, что указывает на собственное металлообрабатывающее производство. То же можно сказать и о другой позднеэнеолитической группе, новоданиловской, где литье изделий осуществлялось в холодные формы, прием, не встречаемый больше в других ареалах этой провинции (Рындина, Дегтярева, 2002, с. 61—64, 74).

Восточнее, в Поволжье, металл выявлен в Хвалынском могильнике. Предполагаются его трипольские (соответственно, балкано-карпатские) источники, но способы металлообработки гораздо примитивнее, что тоже указывает на собственную металлообработку (Рындина, Дегтярева, 2002, с. 79)¹.

Все это позволяет полагать, что на восток с Балкан вместе с металлом могла распространяться и металлообработка, хотя и технологически менее совершенная. Однако могла ли тем же путем прийти плавка руды? К сожалению, для юга Восточной Европы таких данных у нас нет. Впрочем, для этого периода они отсутствуют в Европе повсеместно. Считается, что шлака в это время в Европе нет ни в одном регионе (Pernicka, Anthony, 2010, p. 171). В Европе даже для эпохи бронзы известно не так много памятников со шлаками (Groer, 2008, S. 39), хотя это может объясняться переносом в эпоху бронзы плавки в районы рудников и сложностью обнаружения и датировки таких памятников. Скудные данные о ранней металлургии при наличии самих медных изделий привели к выводам о том, что самородная медь была основным источником сырья в энеолите и РБВ. Но подтвердить этот вывод довольно проблематично, так как после переплавки такую медь трудно отличить от выплавленной из малахита, тот тоже может быть чистым, а медь иметь примеси, особенно мышьяк и серебро (Tylecote, 1982, p. 99;

¹ Энеолитические культуры периода Хвалынец — Средний Стог датировались ранее временем от середины или первой половины IV тыс. до н. э. Но в рамках калиброванных радиоуглеродных дат их начало относят к середине V тыс. до н. э., а конец в промежуток 3865—3550 до н. э. Сходным временем датируются и культуры типа новоданиловской (Дремов И., Юдин, 1992, с. 25, 26; Агапов и др., 1990, с. 85; Кузнецов, 1996, с. 56; Gimbutas, 1992, p. 399, 401, 402).

1987, p. 92). Например, судя по иберийским материалам, где мышьяк встречается повсеместно, наличие или отсутствие примесей не указывает на самородную медь (Hunt Ortiz, 2003, p. 322). Но, если рассматривать не специфические ареалы, а ситуацию в целом, то, хотя самородная медь и может содержать разные примеси, в том числе железа и серы, это демонстрируют редкие образцы (Rapp, 1982, p. 34, 35). Этот вывод подтверждается достаточно хорошей серией анализов, поэтому статистически он достоверен. Следовательно, имея выборку относительно чистой меди с какой-то территории, мы можем предполагать ее связь с самородной медью, но делать такой вывод по единичным образцам уже рискованно.

Тем не менее, отдельные образцы шлака в энеолитической Европе, все же есть, но это, в большинстве случаев, очень мелкие фрагменты. Поэтому большинство исследователей полагает, что в это время плавил чистую руду; и этот шлак трудно отличить от литейного шлака (Hunt Ortiz, 2003, p. 304). Экспериментальное моделирование такого производства было проведено в Испании. В открытую печь был загружен 1 кг малахита с углем. Поскольку руда была окисленная, а дутье прямое в открытую печь, в ней сформировалась окислительная атмосфера при температуре 1100—1200 °С. В результате плавки был получен шлаковый конгломерат (в котором анализ выявил делафоссит и куприт), который пришлось разбивать и истирать в порошок для извлечения твердых частиц меди. Возможно, это и есть главная причина отсутствия шлака на поселениях (Rovira, Gutierrez, 2005, p. 241).

Объемы производства на Балканах огромны, и речь все же должна идти о довольно масштабной переработке рудного сырья. В Болгарии и Турецкой Фракии наиболее ранние металлические изделия появляются в позднем неолите, в конце VI тыс. до н. э. (Pernicka et al., 1977, S. 48; Makka, 1996, p. 37). Вероятно, на этой стадии использовалась еще самородная медь. Но уже в раннем энеолите несколько изделий содержат повышенные концентрации Pb, As, Sb, что указывает на их рудное происхождение (Черных, 1978а; Pernicka et al., 1997, S. 118—121, 127, 130). Изучение медных объектов из Варненского некрополя показало более высокое содержание кобальта и никеля, чем в самородной меди, и привело к выводу об их рудном происхождении. При этом, судя по изотопным исследованиям, балканский металл не является результатом анатолийских или эгейских импортов (Gale et al., 2003, p. 162, 168).

Исключением является фрагмент шлака с поселения Дуранкулак, но он настолько мал, что его хватило лишь на рентгенфлюоресцентный анализ (Glumac, Todd, 1990). Вероятно, это типичный пример, когда используется чистый малахит, который позволяет выплавлять металл, не образуя шлака. Это подтверждается и редкими анализами руды с поселений. Руда с поселений в районе Старой Загоры представлена малахитом и азурином (Gale et al., 2003, p. 162, 168). Не исключено, что плавка осуществлялась в тиглях, и иногда в шихту попадали сульфидные руды: в культуре Гумельница (поселения Чаталка и Долнослав) установлена совместная плавка в тигле окисленной и сульфидной руды при температуре 1100—1200 °С (Yener, 2000, p. 28). Но основой производства, конечно, были оксиды.

Западнее, в Сербии, наиболее известным энеолитическим рудником является Рудна Глава, где выявлена серия шахт энеолитического времени, в которых добывали малахит, и принято считать, что эксплуатация его началась в раннем энеолите, и это не символические действия, а реальная добыча и производство (Jovanović, 1971, p. 106; 1980, p. 32, 34). Исследования последнего времени показывают, что разработки рудника Рудна Глава начаты уже около 6100 г. до н. э., хотя по аналогии с Анатолией допускается, что первоначально добывали малахит для украшений, а добыча руды осуществляется с середины VI тыс. до н. э. по 4650 г. до н. э., когда исчезают памятники культуры Винча в этом районе (Borić, 2009, p. 206, 209, 237). Самые ранние медные изделия здесь встреча-

ются в поздней фазе культуры Винча (Jovanović, 1971, p. 105), поэтому первоначальная добыча малахита для украшений вполне вероятна. Однако этот рудник невелик, и набор элементов Рудной Главы отличен от большинства энеолитических изделий. Ни одного изделия, сопоставимого по изотопам свинца с Рудной Главой, тоже не выявлено. Не исключено, что этот рудник действительно эксплуатировался в более раннее время, чем эти энеолитические изделия, для добычи малахита, который использовался для украшений. В Сербии есть более крупные месторождения меди (например, Майданпек), на которых следы древней добычи могли быть уничтожены поздней эксплуатацией (Begemann et al., 1990, p. 146—148). Правда, некоторые исследователи сомневаются, что такая масштабная добыча могла вестись только ради малахитовых украшений или добычи красящего пигмента (чему тоже нет доказательств), и проблема лишь в отсутствии раннего металла, что для начального периода производства не редкость (Jovanović, 2009, p. 144, 145).

Судя по находкам на поселении Беловодэ, расположенном неподалеку от Рудна Глава, там плавил малахит и азурит в тиглях (Borić, 2009, p. 208). В баденской культуре в Словении известны металлургические горны и очаги небольших размеров. На поселении Окукали найден очаг размером 90×60 см, около которого обнаружены капли меди и немного шлака. На поселении Салаш-Донья Врба обнаружены металлургические горны, фрагменты тиглей, литейные формы. Строгих данных о плавке руды здесь нет, хотя стадия металлообработки документируется вполне надежно (Ložuk, 1990, p. 55—57).

Таким образом, на Балканах использовались, преимущественно, относительно чистые окисленные руды. Плавка руды осуществлялась в тиглях, помещаемых в небольшие горны. Все это относительно примитивная стадия развития металлургии, хотя известны отдельные находки, выпадающие за эти рамки. На поселении Горня Тузла в Сербии в тигле выявлена расплавленная сурьма, которая или выплавлена, или была сделана попытка этого. На поселении трипольской культуры Мезвиско обнаружено шило, содержащее 80% серебра и 20% меди (Jovanović, 1971, p. 110). Такое содержание серебра указывает на знакомство со способами его получения, или на использование каких-то более сложных руд.

Собственно, на ранних стадиях металлургического производства богатую руду плавил исключительно в тиглях. Задача тигля — удержать вместе руду, восстановительные газы и температуру. Руду при этом смешивали с углем. Часто медь восстанавливали в твердом состоянии. Восстанавливаемые частицы были изолированы углем, но по ходу плавки уголь переходил в золу и выдувался, а частицы объединялись и оседали, сплавляясь на дне (Tylecote, 1987, p. 107; Rehren, 2003, p. 208).

Дутье осуществлялось не в стенку тигля, а сверху (все ранние тигли ошлакованы изнутри, и не имеют следов воздействия снаружи). То есть, стремления изолировать руду от избыточного кислорода стенками тигля не было, и этот процесс принципиально не отличается от того, что происходит непосредственно в металлургической печи (Thornton et al., 2010, p. 305, 309). Причина этого достаточно проста — ранние тигли делались из обычной глины, и могли выдерживать температуру около 1100 °С, и дутье на них велось через шихту. Исключением является уникальный тигель середины IV тыс. до н. э. с Тепе Гиссар, у которого внешний слой был сделан из стеатитовой керамики (с добавками талька), что позволяло выдерживать температуру 1600—1700 °С при температурном пределе 1200 °С у внутреннего слоя. Но он служил, по-видимому, для металлообработки, хотя рядом и найден рудный шлак (Thornton, Rehren, 2009, p. 2701—2707).

Сомнительно, чтобы такой способ плавки передан в Поднепровье и Поволжье, но у нас просто нет строгих данных ни для утверждения, ни для отрицания этого.

В трипольской культуре доминирует, как уже говорилось, чистая медь, хотя для позднего Триполья выделяется III химическая группа с высоким содержанием мышьяка и повышенным никеля. Сюда входит, в частности, топор из Веремья, имеющий аналоги в Закавказье, но в нем есть и характерные для ближневосточных и кавказских мышьяко-

вых изделий примеси никеля, к тому же, он отлит в двустворчатую форму, что отличает его от трипольских изделий, но сближает с кавказскими (Черных, 1966, с. 53—58; 1978; Рындина, 1971, с. 129, 132, 133). Поэтому не исключено, что эта группа маркирует связи с Закавказьем, но главными связями для энеолита региона остаются балкано-карпатские. Кроме того, начиная с РБВ, в Юго-Восточной Европе распространяются известные ранее в Закавказье черешковые орудия с упором. Происходят изменения и в металлообработке. В энеолите Балкан доминировали различные кузнечные операции, имели местоковка и сварка, и металлурги могли достаточно точно определять необходимые температурные режимы обработки. Но уже в позднем Триполье на первый план начинает выходить литье (Рындина, 1961; 1971, с. 97—98). Все эти изменения в типах сырья и технологии связаны с кавказскими импульсами (Рындина, 1961, с. 208).

Те же процессы наблюдаются в Сербии, где большинство энеолитических изделий IV—III тыс. до н. э. сделаны из чистой меди, но плоский топор из Лескова имеет 2% мышьяка. Позднейшие энеолитические изделия и изделия РБВ имеют больше примесей, особенно мышьяка (до 3,9%). Поэтому исследователи полагают, что происходит явная смена рудного материала (Begemann et al., 1990, p. 143—146).

Эти процессы не ограничиваются разовым проникновением, они достаточно растянуты в пределах позднего энеолита и, так называемого, переходного периода (в рамках первой и, частично, второй половины IV тыс. до н. э., то есть, они совпадают по времени с формированием уральского энеолита). Сути культурных трансформаций на Балканах мы касались достаточно подробно (Grigoriev, 2002, p. 345—347). Они сводятся к закавказским импульсам на север, в степь, откуда они направляются на Балканы. Вместе с тем, на Балканах определенную роль (хотя и вторичную) играют и центральноевропейские импульсы. Для Урала из всего описанного мы можем видеть параллели в плавке окисленной руды в тиглях, преимущественное использование чистой меди и отсутствие оловянных лигатур. То есть, если мы видим хронологическую связь возникновения уральской металлургии с вышеописанными событиями, мы не видим достаточных типологических и технологических оснований для обсуждения такой связи. В крайнем случае, мы можем обсуждать раннюю фазу этого процесса, когда мышьяковые бронзы на Балканах были еще не столь широко распространены. Но интересно то, что во время формирования энеолита на Урале происходят какие-то крупные процессы в Анатолии и в Центральной Европе, которые привели к существенным миграционным процессам и трансформациям металлургических технологий.

Севернее, в лесной зоне, уже на ранней стадии энеолита Карелии, известно много изделий, выкованных из самородной меди методом холоднойковки. Встречены и дендриты самородной меди. На позднем этапе фиксируется переплавка самородной меди и ее горячая обработка (Журавлев, 1990, с. 27). Не исключено, что в данном случае мы действительно сталкиваемся с самозарождением металлургии, возможно стимулированным знакомством с металлом благодаря южным культурам, но плавка руды или переплавка здесь так и не возникли. Стадия обработки самородной меди может возникать везде независимо. Труднее прийти к идее ее переплавки, так как это требует высоких температур и необходимости изготавливать тигли, способные удержать расплавленный металл (Tylecote, 1987, p. 92).

В Поволжье металлообработка появляется лишь на позднем этапе волосовской культуры. Основная часть находок металла (это простые кованые изделия) обнаружена в восточном ареале культуры. На западе и севере металл не встречается (Крайнов, 1987, с. 20). Поэтому, с учетом сравнительно поздней хронологической позиции этих находок и их локализации, наиболее вероятен импульс с Урала, где производство, до недавнего времени тоже представлялось достаточно примитивным. Однако не исключено, что плавка руды в энеолите Волго-Камья присутствовала с достаточно раннего времени:

с поселения Арбашевский Лынозавод, относящемся к ильинской культуре, происходит шесть небольших кусочков шлака, с которых удалось сделать лишь спектральный анализ (таб. 2-1). Судя по составу микропримесей, они маркируют плавку медной руды, но что-то более определенное о них сказать трудно.

Е. Н. Черных, проанализировав единичные в то время находки медных изделий на памятниках уральского энеолита¹, выделил два металлургических очага: кысы-кульский в Зауралье и гаринско-борский в Волго-Камье. Для обоих регионов был сделан вывод о местном сырье и об использовании «чистой» нелегированной меди. Допускался вариант самозарождения здесь металлургического производства, хотя оговаривалось, что этот вывод не может рассматриваться как надежный. Дело в том, что уже в этой небольшой проанализированной серии были выявлены аномалии: в Зауралье был обнаружен стержень, отнесенный к мышьяковой меди ТК, а капля со стоянки Мурат относилась к достаточно поздней группе оловянной бронзы ВК. В Прикамье на стоянке Бор I в ноже тоже было выявлено повышенное содержание олова. В этом районе были известны на тот момент также тигли и капли, указывающие на относительно развитую стадию производства. Поэтому эти факты были обозначены в качестве аномалии, хотя осторожно и допускалось знакомство с оловянными бронзами (Черных, 1970, с. 28, 108).

К сожалению, впоследствии эти оговорки были оставлены без внимания, и авторы писали уже исключительно о плавке «чистой» меди (Матюшин, 1982, с. 292—293). Даже обсуждая примеси мышьяка и олова предпочитали рассматривать их как естественные² (Крижевская, 1977, с. 96—104).

Работы в районе Аргазинского водохранилища в Южном Зауралье привели к обнаружению серии небольших тиглей с ошлаковкой и каплями меди. Анализ меди показал, что искусственных примесей она не содержит. Поэтому было высказано предположение, что эти тигли маркируют архаичную стадию переплавки самородной меди (Нохрина, 1996, с. 52—58).

В энеолитических комплексах Среднего Зауралья присутствуют небольшие простые медные изделия, зафиксирована плавка сырья в тиглях, литье в закрытые формы,ковка изделий. Изредка встречены примеси мышьяка, но чаще изделия выполнены из «чистой» меди. Правда и здесь известен один тревожный звонок, указывающий на то, что ситуация понимается слишком упрощенно. В погребении культовой площадки Скворцовая Гора V в медной подвеске обнаружена примесь 1,6% свинца, что выходит за рамки естественных примесей. Однако этот факт был объяснен тем, что этот предмет не был, возможно, связан с погребением, он более поздний (Чаиркина, 2005, с. 209—212). Но погребение это, обычно, закрытый комплекс. Как и в случае с суртандинским металлом, решение о датировке металла было принято на основании представлений о том характере металла, который «должен быть». Обратим внимание и на то, что установлено литье в закрытые формы, а это тоже отнюдь не ранняя стадия металлургического производства.

Технологические исследования показывают разные приемы металлообработки изделий. Иногда в глиняной матрице литейной формы делался оттиск кремневого изделия. Но на том же памятнике (Разбойничий Остров) зафиксированы и более сложные технологии, когда изделие отливалось, а затем проковывалось со степенью обжа-

¹ Традиционно уральский неолит датируется от начала до конца III тыс. до н. э., но в системе калиброванных радиоуглеродных дат его период приходится на IV тыс. до н. э. Тем не менее, уверенно говорить о точной дате начала и конца энеолитического периода здесь нельзя. К тому же конкретные даты рассматриваемых комплексов не ясны. Поэтому для комплексов с остатками металлургии корректно говорить о IV тыс. до н. э., но более точная оценка пока невозможна.

² Л. Я. Крижевская в данной работе приводит два изделия с высоким содержанием олова, но в приводимой таблице в ноже со стоянки Кысы-Куль его содержание составляет 0,3%. Поэтому этот нож можно рассматривать в качестве третьего изделия с оловом. С учетом незначительности всей серии, можно говорить о достаточно хорошем присутствии оловянных бронз в зауральской энеолитической серии.

Таб. 2-1

Спектральный анализ шлака поселения Арбашевский Льнозавод (%)
Анализ выполнен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка».

Обр.	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
600	0,005	0,001	0,02	0,1	0,007	0,5	0,0005	<0,0003	0,3	nd	0,0015	0,0001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,1	0,03	<0,001	0,001	0,0001	0,015	0,001	0,0015	0,0001
601	0,005	0,001	0,015	0,05	0,007	0,5	0,001	<0,0003	0,7	nd	0,0007	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,1	0,05	<0,001	0,0003	0,00015	0,015	0,001	0,002	0,0001
602	0,015	0,001	0,02	0,05	0,007	0,7	0,001	<0,0003	0,2	nd	0,003	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	0,003	0,00015	0,15	0,03	<0,001	0,0007	0,00015	0,015	0,0015	0,0015	0,0001
603	0,005	0,001	0,01	0,1	0,005	0,5	0,001	<0,0003	0,1	nd	0,001	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,2	0,03	<0,001	0,001	0,00015	0,015	0,001	0,0015	0,0001
604	0,005	0,001	0,02	0,1	0,005	0,5	0,001	<0,0003	0,15	nd	0,0007	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,15	0,03	<0,001	0,0003	0,0001	0,015	0,001	0,0015	0,0001
605	0,005	0,0015	0,015	0,1	0,007	0,5	0,001	<0,0003	0,03	nd	0,003	<0,001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,1	0,05	<0,001	0,0003	0,00015	0,015	0,001	0,002	0,0001
Чувствительность анализа	0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,000003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,00003	0,001	0,0005	0,001	0,0001

тия 50—60%, причем ковка протекала в режиме предплавильных температур 900—1000 °С. Присутствие этой сравнительно развитой технологии объясняется контактами с ямными мастерами (Дегтярева, 2010, с. 63, 68), которые, кстати, археологически не документируются.

К востоку и югу от Урала определенно знакомство с металлом прослежено лишь на поселении Ботай, где на остатках костяных рукоятей выявлены следы меди, но следы производства и, соответственно, источники меди, не известны. В Южной Сибири и к югу от Северного Казахстана подобные факты отсутствуют. Самым близким местом фиксации производства является уже упомянутая анаусская культура.

Таким образом, во всем исследуемом ареале лишь на Урале мы наблюдаем странные признаки относительно развитого металлургического производства при доминирующем присутствии архаических черт. Причем, из соседних районов эти странные признаки появиться, как будто, не могли. Некоторые новые данные по уральской металлургии появились в результате полевых работ последнего времени.

Металлургический комплекс острова Веры

Археологические раскопки на острове Веры озера Тургояк в лесной части Южного Зауралья привели к обнаружению крупного культового центра с серией мегалитических объектов эпохи энеолита. По берегам острова выявлены поселения, на двух из которых обнаружены следы металлургического производства. Самой интересной находкой, связанной с этим производством, стала металлургическая печь поселения Остров Веры 4. В силу уникальности находки она будет описана подробнее.

Печь состояла из нескольких основных частей: плавильной полости, дымохода и воздуховодного канала (рис. 2-2; 2-3). Под плавильную полость сделано углубление в скальнике. Над ней расчищены две крупные горизонтальные плиты, служившие, вероятно, в качестве перекрытия.

В печной полости на севере скальная стенка имеет обратный наклон, возможно, она так обработана специально, что, в принципе, удобно для печи, так как облегчает создание куполообразного перекрытия и способствует отражению температуры к центру нижней части. На этой стенке видны следы уступчатой подрубки. Следы прокала на этой стенке фиксируются лишь на востоке, но это, вероятно, связано не с функционированием печи, а с прокаливанием гранита при подготовке площадки.

В южной стенке поверхность скальника опускается плавным уступом. Уступ и стенка здесь прокалены до красного цвета. Вероятно, под печи располагался именно на этом уровне. На этом уровне и выше в заполнении преобладает подверженный температурному воздействию грунт коричневого цвета.

К юго-востоку и югу от печной полости сохранилось два фрагмента рыхлого гранита прокаленного основания стенки, стоявшей на прокаленном материковом скальнике и песке. Поскольку в процессе функционирования печи прокаливанию под основанием стенки невозможно, этот проквал сформировался во время подготовки площадки. Необходимость наращивания стенки на юге гранитными блоками была обусловлена тем, что уровень материкового скальника здесь ниже на 10—15 см, чем на севере.

В северной части плавильной полости, вдоль края скальника ниже уровня пода, проходит канал, заполненный темно-серой гумусированной супесью, не подвергавшейся резкому температурному воздействию. Поскольку южная стенка на этом уровне имеет небольшие следы прокаленности, проквал этот тоже образовался, по-видимому, при строительстве печи.

Поскольку этот канал соединен с выступом на востоке, он мог служить для подачи воздуха с помощью воздуховодных мехов. Но в этом случае дутье осуществлялось из под пода печи вверх.



Рис. 2-2. Фото металлургической печи. На переднем плане плавильная полость, от которой на юг отходит воздуходувный канал. Справа плита дымохода с растрескавшейся на мелкие фрагменты поверхностью, завершающаяся на юге основанием вертикальной его части

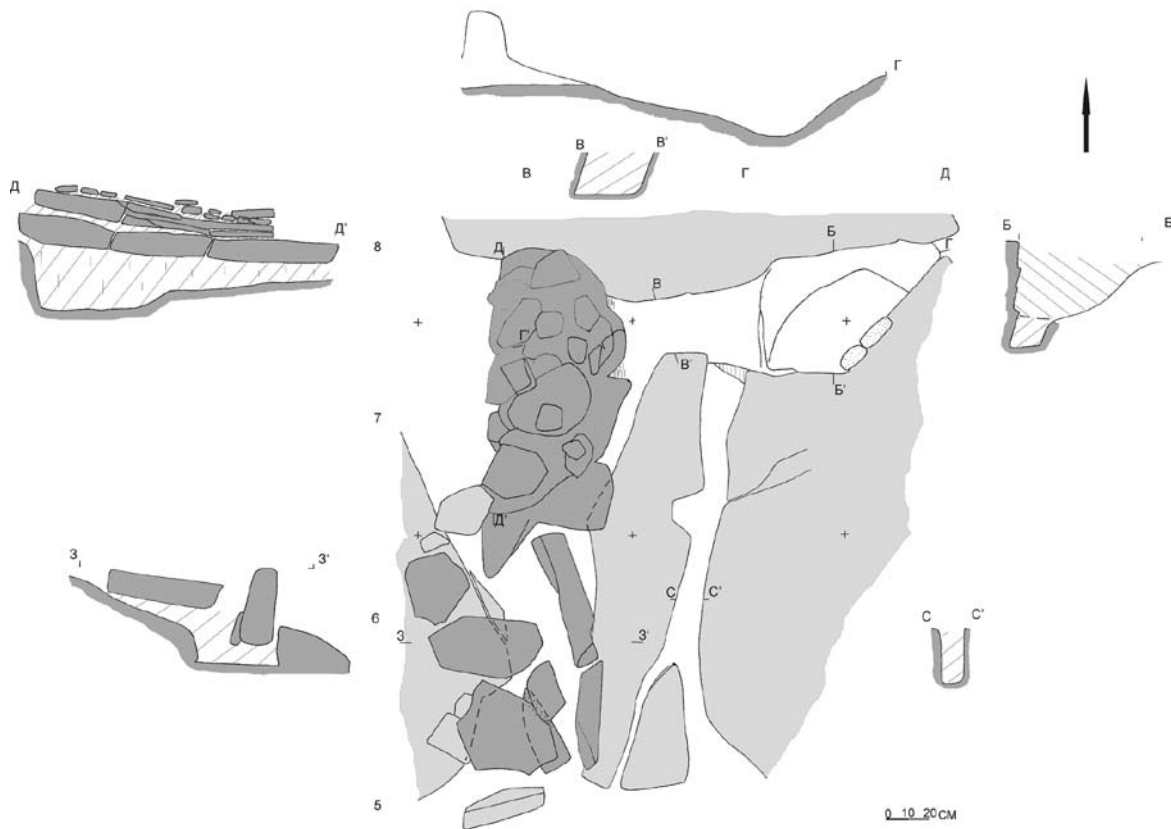


Рис. 2-3. План и разрезы металлургической печи. Темно-серым цветом показаны плиты дымохода, светло-серым — материковый скальник, белым справа от дымохода — углубление воздуходувного канала и плавильной полости

В целом, размер плавильной полости 58×80 см, но ее восточный вытянутый выступ, вероятно, предназначался для подачи воздуха и вставки воздуходувного сопла. Поэтому, с учетом обязательной футеровки и выступа для сопла, размеры внутренней полости были невелики — приблизительно 45×45 см. Высоту плавильной полости определить сложнее, вероятно, от 45 до 60 см.

Следует остановиться и на проблеме футеровки (обмазки стенок). В условиях гранитов она совершенно необходима, так как при воздействии высоких температур гранит распадается в мелкую крошку, а обмазка надежно защищает от этого (Григорьев, 2005, с. 176). Поэтому не исключено, что северная стенка оформлена уступами не случайно. Западнее в газоотводном канале подобных уступов нет. На этих уступах футеровка держалась бы лучше. Восточнее печи на материковом уровне расчищены куски темно-серой вязкой глины с зеленоватым оттенком, а севернее — слой прокаленной глины. Вероятно, здесь лежал материал для обмазки, и сюда же выбрасывалась отпавшая обмазка.

От печной полости на запад идет широкий (30—40 см) углубленный канал, заходящий под плиту горизонтального дымохода. Дно этого канала постепенно повышается от нижней части плиты до общего уровня материка. Легкий прокол присутствует и в основании канала на западе. Вероятно, этот канал служил для удаления отработанных газов, которые поступали далее в дымоход, примыкающий к каналу на западе.

Этот дымоход состоял из двух частей. Первая, горизонтальная, представлена массивной плитой длиной 1,35 м, ориентированной по линии С—Ю. Сразу к югу от дымоходного углубления на краю материковой плиты идет слой рыхлой гранитной крошки, подвергнувшейся температурному воздействию. Ниже на дне углубления, на его южном краю, расчищен красный прокол.

После уборки слоя при переходе от дымохода под плиту (на стыке участков Б, В/7,8) выяснилось, что под рыхлым слоем, стоявшим почти вертикально (гранитная крошка с песком) под восточной частью горизонтальной плиты идет нормальный скальный материк. Рыхлый слой, возможно, является завершением того колена дымохода, которое шло с востока на запад. Здесь была стенка, но на нее пришелся основной термический удар, и она при последующем разложении превратилась в крошку.

Под плитой на юге расчищена небольшая плита треугольной формы (рис. 2-4). Она вплотную лежит к располагающейся на востоке вытянутой скальной материковой плите, но сама не является частью материкового скальника, так как под ней обнаружен тонкий гумусный слой. Соответственно, эта плита положена. Она являлась, вероятно, основанием южной части горизонтального колена дымохода. Северный конец горизонтальной части дымохода покоился на материковом скальнике.

Поверхность плиты неоднородна. Южный ее конец имеет поверхность плотную, твердую и ровную. Северный — рыхлую, подвергнувшуюся температурному воздействию. Это воздействие было сильнее на северо-востоке, ближе к печи. Здесь поверхность переходит в крошку. Переход от рыхлой обожженной поверхности к твердой очень резкий, что нельзя объяснить постепенным остыванием газов. Вероятно, на южном краю этой плиты лежал уже грунт, закреплявший вертикальное колено дымохода, что и защитило эту

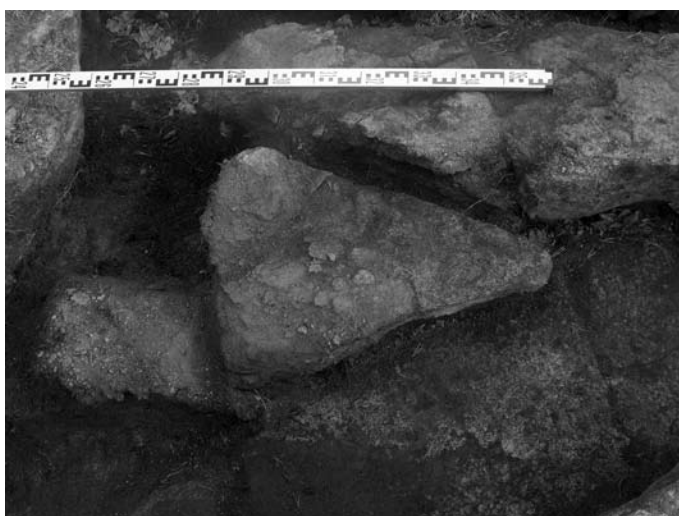


Рис. 2-4. Фото треугольной плиты на завершении горизонтальной части дымохода

часть плиты от температурного воздействия. Это указывает на то, что при подходе к этой части дымохода газы были еще достаточно горячими, поэтому вертикальная часть конструкции не могла быть сделана из легко воспламеняющегося материала, но у нас нет никаких оснований для более определенных суждений на эту тему.

Севернее СЗ угла этого камня расчищен блок гранитной крошки, лежащий на темно-коричневой гумусированной прокаленной супеси. Вероятно, это фрагмент стенки, замыкавший колесо дымохода. Между этим фрагментом и скальником на севере в основании материк прокален.

Таким образом, степень прокаленности постепенно уменьшается по мере отдаления от печи к вертикальной части дымохода на юге, что вполне естественно.

Горячие газы били в стенку на западе, сильно обжигая ее, далее поднимались вверх на 20 см и шли на юг по треугольной плите, под перекрывавшей ее массивной плитой.

На юге горизонтальная часть дымохода завершается группой поставленных на ребро плиток, часть которых на востоке завалилась на край массивной материковой плиты. Эти вертикальные плитки окружали небольшое полое пространство, размером 60×40 см. Видимо, в этом месте располагалась вертикальная часть дымохода, маркированная небольшим вертикально поставленным кольцом из плит.

Край массивной материковой плиты подработан, отслаивается, поэтому здесь тоже не исключена обработка огнем при строительстве. На то же указывает небольшое понижение на краю. На его поверхности заметны следы ударов, вероятно, каменным инструментом. Это понижение служило, вероятно, для установки западных плиток вертикальной части дымохода.

Для установки конструкций вертикальной части дымохода был частично разобран южный конец плиты его горизонтальной части, за счет чего сформирована выемка, а куски камня положены на поверхность этой плиты.

Такая тщательная подготовка основания позволяет допускать, что вертикальная конструкция дымохода могла быть высокой. Делалась она из какого-то легкого материала, но не слишком легко воспламеняющегося. Вокруг нее вплотную стояли камни, и для устойчивости был навален грунт. Использование легкого органического материала в этом случае вполне возможно, так как отработанные газы остывали уже в горизонтальной части дымохода.

Необходимость в подобной конструкции возникает лишь в том случае, когда в плавку поступают сульфидные руды. При использовании малахита ощутимые газы, практически, не выделяются.

Севернее, на стыке участков Г/6,7, над материковым скальником встречено несколько крупных плоских камней. Они располагались над каналом, расчищенным на этих участках, поэтому, вероятно, перекрывали его.

Данный канал проходит восточнее параллельно дымоходу и на севере примыкает к южной части плавильной полости. Длина его 1,8 м, глубина до 25 см. Ширина канала составляет 14—18 см, но на юге, со стороны озера, канал значительно расширяется.

Обращает на себя внимание присутствие небольшого красного прокала на стыке канала и юго-западного края плавильной полости. Такие прокалы формируются в месте поступления воздуха в печь. Граница прокала параллельна возможной стенке печи (СЗ—ЮВ). Следовательно, через этот канал подавался воздух. Он, как и в случае с дутьем из синташтинских колодцев эпохи бронзы (Григорьев, 2000а, с. 256, 258), из-за небольшого напора шел сразу вдоль стенки направо по кругу. Но для этого была необходима разогретая печь, а на входе был нужен воздухоуловитель, например, стена или натянутые шкуры. Это бы обеспечивало общий прогрев, но из-за узости и длины канала объем поступающего воздуха был незначительным. Как и на Синташте, это не столь принципиально, по сравнению с возможностью интенсификации дутья через

воздуходувные мехи. Возможный недостаток воздуха было бы легче компенсировать и установкой дополнительных мехов. Следовательно, были и иные причины необходимости подобного канала.

В металлургическом производстве основным восстановителем руды является газ монооксид углерода. Если он не формируется, руда окисляется и переходит в куприт. Как уже говорилось при обсуждении экспериментальных работ, в древних печах формирование монооксида углерода происходило на расстоянии 10—15 см от воздуходувного сопла. В случае интенсификации дутья воздух проходит через печь с большей скоростью, что затрудняет данный процесс.

При столь небольших объемах внутренней полости, как в печи на острове Веры, воздух из сопла, соединенного с мехами, быстро бы достигал центра печи, и восстановить руду было бы невозможно. А кислород, поступавший без сильного давления вдоль стенки печи, вступал в реакцию с углем, формируя сначала диоксид, а затем монооксид углерода. Этим целям здесь и служил данный канал. Его наличие свидетельствует о том, что плавка велась не в тигле, а непосредственно в печи, так как при тигельной плавке подобная конструкция менее осмысленна.

В плавильной полости найдены три небольших кусочка красного минерала, куприта. В верхней части заполнения плавильной полости обнаружена небольшая керамическая льячка (рис. 2-5.1), что указывает на то, что здесь производились и литейные операции. В другой части поселения обнаружены фрагменты двух литейных форм (рис. 2-5.2,3).

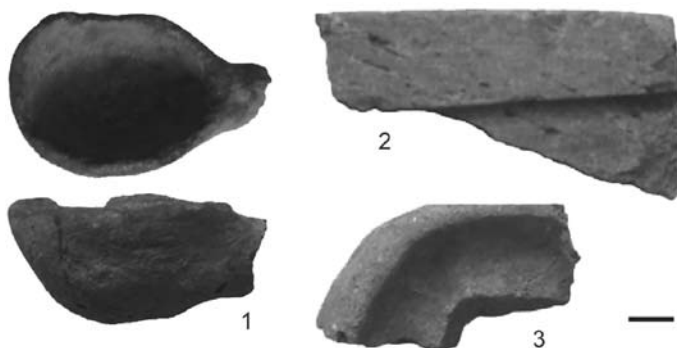


Рис. 2-5. Поселение Остров Веры 4: 1 — льячка; 2, 3 — литейные формы

Каменные орудия

Здесь же найдено несколько десятков каменных орудий. Их анализу посвящена специальная статья (Григорьев, 2010). Многие из этих орудий использовались при строительных работах и для различных бытовых нужд. Здесь мы кратко касаемся лишь тех из них, которые связаны с металлургическим производством. При этом, необходимо помнить, что многие орудия могли быть полифункциональны, и использоваться как при металлургическом производстве, так и для иных нужд.

Наиболее часто встречаемым орудием являются молоты. Молоты имеют различные размеры, вероятно, в зависимости от выполняемых функций. Самые крупные орудия (6 экземпляров, рис. 2-6.1, 2, 6), весом от 2,5 до 10 кг, служили для дробления твердой породы. Для изготовления этих орудий чаще использовались крупные кварцитовые гальки подходящей формы, у которых отдельными сколами сбивались лишние части. Одно орудие сделано из расколотой наковальни — две его плоскости ровные, заглаженные. Иногда сколами оформлялись боковые выемки для крепления орудия к рукояти. В одном случае (рис. 2-6.6) видно, что обработка выемок производилась металлическим инструментом с шириной лезвия около 1,5 см. Реже в качестве материала использовался гранит подходящей формы. Это было менее долговечное орудие, но оно не требовало и значительных усилий при изготовлении. Подобные молоты могли служить, как при раскалывании гранита, так и при измельчении рудовмещающей породы или дроблении твердых руд, например, халькопирита.

Гораздо больше (9 экземпляров) обнаружено молотов меньших размеров, весом 0,2—1 кг (рис. 2-6.3, 5). Для их изготовления использовался любой камень достаточно

твердой породы (кварцит, кварц или зеленокаменная порода) и вытянутой формы, который подвергался незначительной дополнительной обработке, сводившейся к оформлению сколами или пришлифовке выемок для привязывания. Часто (в случае, если галька имела вполне подходящую форму) дополнительная обработка не производилась.

Последняя группа молотков, наиболее легкая, изготовлена из более хрупкого кварцита (6 экземпляров, рис. 2-6.4). Вес этих изделий колеблется в промежутке 0,2—0,6 кг. Специальной обработке они, практически, не подвергались. Орудия эти использовались либо для дробления сравнительно мягких материалов, например, окисленных медных руд или мягкой рудовмещающей породы (гидроокислы железа), либо для нанесения ударов по мягкому материалу (дерево и т. д.). Некоторые из этих изделий могли использоваться и в качестве пестов.

Таким образом, на поселении обнаружены молоты, имеющие различные функции. Вероятно, их неправомерно было бы назвать исключительно горно-металлургическими орудиями. При наличии на острове ярко выраженной мегалитической традиции и высокой техники обработки камня, эти изделия могли использоваться и для этих целей. Так, даже в пределах раскопа на данном поселении видны многочисленные следы обработки и раскалывания каменных плит. Вместе с тем, с учетом наличия здесь металлургического комплекса и значительного количества подобных орудий (полностью отсутствовавших, например, на поселении Остров Веры 7), их металлургическая функция представляется тоже несомненной. При этом, судя по характеру этих орудий, на поселении производилось не только растирание руды перед плавкой, но и дробление рудовмещающей породы, то есть первичное обогащение руды и все последующие циклы ее обработки. Соответственно, на руднике эти работы не производились, что, в целом, характерно для ранних стадий развития горно-металлургического производства.

Важным индикатором наличия на поселении металлургического производства являются **каменные наковальни и абразивные плиты**. Как указывалось выше, молоты могли служить и просто для дробления камня, но обработка руды (дробление и растирание) могли происходить только на специальных плитах. Обнаруженные на поселении орудия этого типа различаются.

Наиболее массивными являются наковальни (рис. 2-6.10, 11), представленные двумя целыми орудиями и тремя обломками. Целые изделия достигают 10 и 28,5 см в длину. Толщина наковален колеблется от 5 до 12 см. Все они изготовлены из достаточно твердого кварцита, что позволяло раскалывать на них очень прочную породу. На подобное использование этих орудий указывают следы мелких выбоин на их поверхности. Вместе с тем, некоторые орудия имеют и следы заглаживания или растирания. Выделяется из этой серии одно изделие, достаточно тяжелое, но сравнительно небольшого размера (рис. 2-6.11). У него следы ударов присутствуют не только на плоских поверхностях, но и на угловых частях. Следовательно, на этом орудии могли что-либо дробить, но его же можно было использовать в качестве молота. Вероятно, эти изделия были, в целом, полифункциональны, но могли использоваться также для дробления и растирания твердой рудной породы. Для их изготовления использовались толстые плоские плитки кварцита, которым, при необходимости, обивкой краев придавалась необходимая форма.

Определенные отличия от вышеописанных наковален имеют две массивные плиты из прочного кварцита, на которых нельзя было производить дробление крупных твердых материалов. Первая из них рассечена кварцевой жилой и не могла выдержать сильного удара (рис. 2-6.7), а вторая была приспособлена для размещения на коленях. Обе они имеют мелкие забитости, но, вместе с тем, их верхние рабочие поверхности заглажены и заполированы. Поэтому на них могло производиться дробление и растирание сравнительно мягкого материала. В металлургическом производстве они могли служить для растирания руды до порошкообразного состояния,ковки и заточки медных изделий.

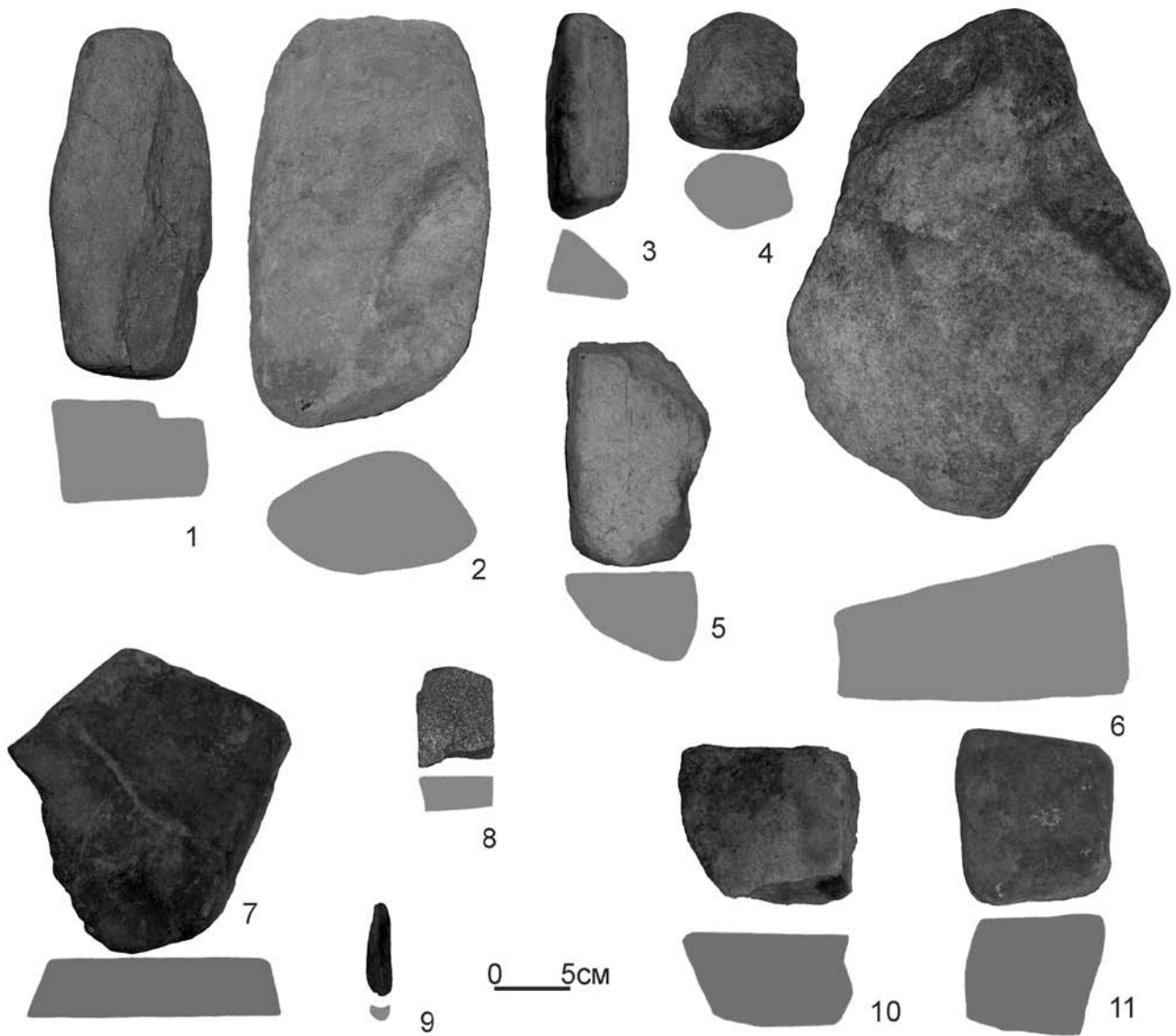


Рис. 2-6. Поселение Остров Веры 4, каменные горно-металлургические орудия: 1—6 — молоты; 7—9 — абразивы; 10, 11 — наковальни

Три изделия представлены **классическими абразивами**, выполненными на небольшой плитке либо кварцитового сланца, либо сравнительно мягкого кварцита с пришлифованной поверхностью (рис. 2-6.8). Одно изделие является точильным камнем из гальки, в котором заточкой мелких предметов, например, шильев, выработан желобок (рис. 2-6.9).

Таким образом, на памятнике выявлен весь набор горно-металлургических орудий, начиная от орудий для дробления и растирания окисленной и сульфидной руды (включая массивные изделия, пригодные для измельчения халькопирита) и заканчивая орудиями для металлообработки. Для сравнительно небольшого раскопа концентрация крупных каменных орудий на поселении Остров Веры 4 очень высока. Для энеолитических поселений подобная картина, в целом, не характерна.

Как мы видели, в арсенале древнего населения острова были разнообразные по назначению каменные орудия. Даже молоты имелись нескольких видов. Их могли применять и при обработке гранита, и в горно-металлургическом производстве. В последнем случае крупные молоты были необходимы для дробления рудонесущей породы, а

молоты меньших размеров — для измельчения руды. Однако руду было необходимо истирать до порошкообразного состояния, для чего могли служить песты, имеющие, как следы ударных действий, так и следы трения о твердый материал.

Наковальни имели, вероятно, весьма широкий спектр применения: на них производили дробление руды, ковку металла (эта операция была обязательной, поскольку непрокованным изделием из чистой меди было невозможно работать по камню).

Характер каменных горных орудий зависит от характера добываемой руды. В Альпийском регионе, где в эпоху бронзы добывали халькопирит, для его дробления использовали массивные орудия, а для растирания орудия меньших размеров. В Испании в энеолите, где шлака нет, так как использовалась чистая окисленная руда, найдены, в основном, небольшие орудия, а в районе Рудной Главы, энеолитического рудника в Сербии, орудия не известны (Gale, 1990, p. 51—52). Поэтому комплекс массивных орудий острова Веры указывает косвенно на возможное использование халькопирита или руды из прочных горных пород.

Существует еще один интересный аспект проблемы. Практически повсеместно от энеолита и до средней бронзы включительно, металлургическое производство, вплоть до обработки руды, осуществлялось непосредственно на поселениях. Это отмечено для энеолитических памятников Леванта, Анатолии, Иберии, Сербии (Hauptmann, 2003, p. 97; Hunt Ortiz, 2003, p. 382; Jovanovic, 1980, p. 37).

Перенос производства на рудники происходит, преимущественно, с начала эпохи поздней бронзы и более активно в раннем железном веке. Поселение Остров Веры 4 является ярким примером этого, и его материалы позволяют понять причины данного явления. Изготовление некоторых каменных орудий, необходимых для обработки руды, было достаточно трудоемким процессом, равно как и сама обработка руды или подготовка металлургических печей. Кроме того, тяжелые орудия, имевшие многофункциональные назначения, было бы довольно обременительно носить в места добычи руды и обратно. Производство на рудниках получало смысл при росте объемов добычи и переработки руды. Поэтому постепенно, в случае соответствующих социально-экономических условий, менялась структура производства и отдельные его стадии или звенья выносились за пределы поселений. Но в энеолитическую эпоху этот процесс еще не начался. Косвенным образом, присутствие производства на поселениях, поэтому, является признаком сравнительно небольших его объемов.

Шлаки

Однако наибольший интерес для нашего исследования представляют шлаки и ошлакованные стенки сосудов. Как говорилось выше, находки ошлакованных сосудов и ранее встречались на энеолитических памятниках Зауралья. В Южном Зауралье фрагмент гребенчатой керамики с сильно ошлакованным краем и ошлакованной внутренней поверхностью был найден на поселении Банное-1 (рис. 2-7.3, обр. 2205). Фрагмент венчика сильно ошлакованного тигля обнаружен на стоянке Путиловская Заимка. Размеры его 3,3×2,5 см, толщина 1,6 см; внешняя поверхность высушена температурным воздействием, внутренняя поверхность и верхний край сильно ошлакованы (рис. 2-7.4, обр. 2205). Фрагмент ошлакованного сосуда происходит и с поселения Остров Веры 2 (рис. 2-7.8). Однако находки собственно шлаков и ошлакованных сплесков единичны (рис. 2-7.1, 2, 5—7). В первую очередь, это плотный и тяжелый комочек шлака размером 2,3 см с поселения Банное-23 (обр. 2203). Несколько образцов происходит с поселения Остров Веры 7: капля ошлакованной меди размером 14×4 мм (обр. 2210), небольшой кусочек темно-коричневого мелкопористого шлака размером 13×9 мм (обр. 2211), кусочек коричневого мелкопористого шлака размером 17×8 мм (обр. 2208). Несколько совсем небольших фрагментов шлака и охристой породы обнаружено на поселении

Остров Веры 4. Необходимо отметить, что работа на острове велась с просевом, промывкой и переборкой слоя, что способствовало обнаружению этих образцов. Поэтому не исключено, что при подобной методике такие находки еще последуют.

Некоторые из этих образцов были исследованы с помощью микроскопа (рис. 2-8). В ошлаковке сосуда поселения Остров Веры 4 (обр. 2206) в керамзитовой основе были выявлены медные капли. Поэтому строгих оснований для суждений о том является ли это результатом переплавки металла или плавки в сосуде руды нет. Рентгенфлюоресцентный анализ этого включения (таб. 2-9) мало что дает, так как в анализ попала, преимущественно, керамическая масса. А анализы образца 2203 с поселения Банное-23 дали неожиданные результаты. В нем было выявлено металлическое железо в корке патины. Изучение корки показало, что это ильменит-магнетитовый агрегат со структурой распада магнетит, ильменит, металлическое железо с примесями Mn, Cu, Sn, Pb. Содер-

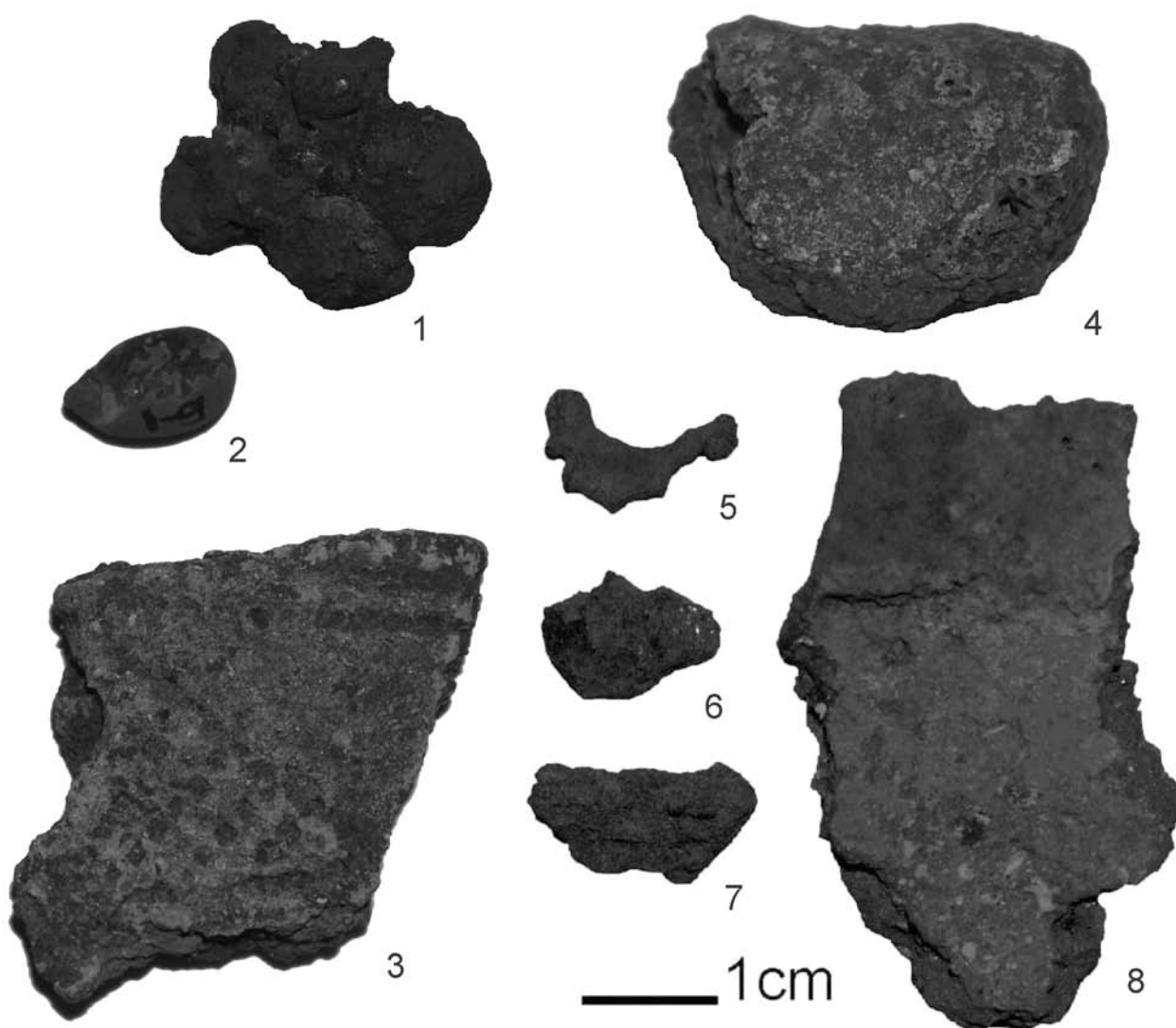
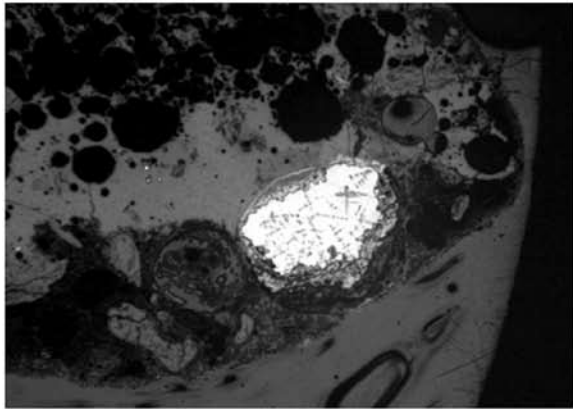
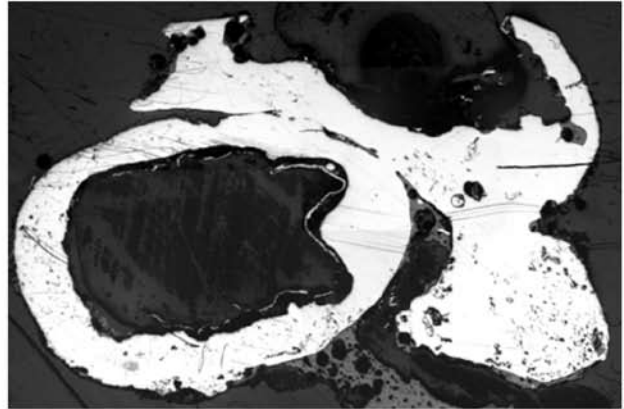


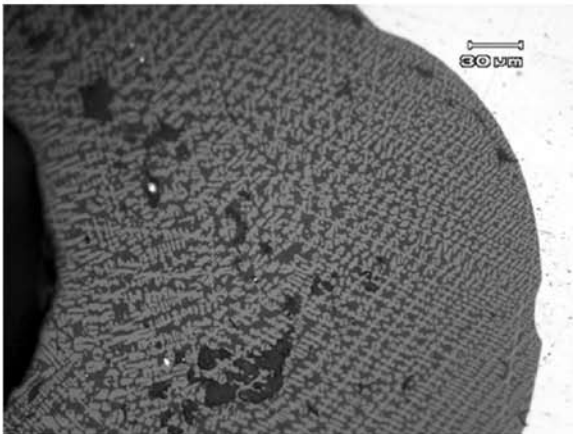
Рис. 2-7. Шлаки энеолитического времени на Урале: 1 — обр. 2203, Банное-23, шлак; 2 — обр. 2204, Банное-1, капля меди; 3 — обр. 2205, Банное-1, фрагмент ошлакованной керамики; 4 — обр. 2207, Путиловская Заимка, фрагмент ошлакованного тигля; 5 — обр. 2210, Остров Веры 7, сплеск меди; 6 — обр. 2211, Остров Веры 7, кусочек шлака; 7 — обр. 2208, Остров Веры 7, кусочек шлака; 8 — обр. 2206, Остров Веры 2, фрагмент ошлакованного сосуда



1



2



3

Рис. 2-8. 1 — Остров Веры 4, обр. 2206, медные капли в керамике; 2 — Банное-23, пузырчатая структура образца 2203, по поверхности корки патины (серое), металлическое железо (белое); 3 — Банное-23, срез корки образца 2203: ильменит-магнетитовый агрегат со структурой распада: магнетит (светло-серое), ильменит (темно-серое), металлическое железо (белое). Анализ выполнен в Институте минералогии УрО РАН Ю. М. Юминовым

жание меди составляет 0,4—0,7%, то есть, шлак явно был связан с медной плавкой. Но выявленные дендритно-решетчатые структуры магнетита в сочетании с железом обычно маркируют плавку первичного сульфида, халькопирита, что типично уже для некоторых комплексов поздней бронзы (подробней о характере процесса и образовании подобных структур будет изложено далее в главах, посвященных ПБВ). Обращает внимание и повышенное содержание олова (0,5%). В шлаках ПБВ олово в таких концентрациях, как правило, не содержится. Во всей проанализированной серии есть лишь 15 образцов, в которых содержание олова достигает или превышает эту цифру, поскольку легирование оловом производилось металлом в металл. Но эта цифра находится еще в пределах возможности естественных рудных примесей.

Однако анализ двух образцов шлака с поселения Остров Веры 7 выявил ту же примесь в одном из них (таб. 2-9, обр. 2210). А в слитке шлака с поселения Остров Веры 4 (обр. 2218) содержание олова составляет 7,1% при содержании меди 14,4%. Большинство же образцов этого поселения оказалось охристыми породами без примесей меди, поэтому неясно, попали ли они в заполнение печи случайно или были как-то связаны с металлургическим производством. Последнее вероятней, так как в породах острова такие минералы не наблюдались. Столь высокое содержание олова значительно превышает пределы естественных примесей, и на этом фоне два других анализа с повышенными концентрациями олова уже не выглядят случайностью. Вероятно, не случайным является и фиксация олова в металле энеолитического времени, которую мы обсуждали выше, а также присутствие повышенного содержания свинца в медной подвеске из погребения Скворцовой Горы V. Возможно, мы сталкиваемся с попытками легирования оловом на стадии плавки руды, технологией странной, не встречающейся в поздних металлургических технологиях. Выборка материала пока слишком незначительна, но эти парадоксальные анализы шлака совпадают с парадоксальной ситуацией,

Рентгенфлуоресцентный анализ энеолитических шлаков (%).
Анализ выполнен в Институте минералогии УрО РАН Ю. М. Юминовым

№	Наименование	Место находки	Fe	Ti	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Sn	As	Zn	Pb	Sb	Bi
2203	шлак	Банное-23	38,1	22,3	5,5				0,7	0,05			0,11		0,03
2203	шлак	Банное-23	20,2	22	10,5				0,4				0,03		0,01
2204	шлак	Банное-1 -2	0,02						2,9						
2206	королек меди в ошлакованной керамике	Остров Веры 4-2	1,6		0,02	0,05		0,03	2,1			0,01			0,001
2208	шлак	Остров Веры 7	>50						0,1			0,03			0,01
2210	сплеск меди	Остров Веры 7	0,04						2,3	0,05	0,004				
2212	кусочек охристой породы	Остров Веры 4 заполнение печи	>50	1,6		0,17	0,472					0,04	0,02		0,01
2213	кусочек охристой породы	Остров Веры 4 Слой дымохода	43	2,4									0,005		0,004
2214	кусочек охристой породы	Остров Веры 4 заполнение печи	>50	1,5									0,02		0,01
2215	кусочек охристой породы	Остров Веры 4 заполнение печи	>50	1,1								0,01	0,01		0,004
2216	кусочек охристой породы	Остров Веры 4	>50	2,9								0,04	0,06		0,02
2217	фрагмент слитка шлака коричневого цвета	Остров Веры 4	>50	1,3	0,8								0,04		0,01
2218	слиток шлака	Остров Веры 4	22,1		0,4				14,4	7,1	0,2	0,11			
2220	кусочек охристой породы темно-коричневого цвета	Остров Веры 4	>50	3,6								0,02	0,03		0,007
2221	кусочек охристой породы	Остров Веры 4	>50	3,1								0,03	0,02		0,01
2222	кусочек бурого железняка	Остров Веры 4	>50												0,01

зафиксированной анализами металла, поэтому о случайном совпадении говорить уже не приходится. Станным кажется и наличие образца, маркирующего плавку халькопирита, хотя основу производства составляли, конечно, окисленные руды, вероятно, относительно чистый малахит, при восстановлении которого шлака почти не образуется. Только этим можно объяснить незначительность находок шлака на поселениях этого времени. Собственно, и исследованная печь указывает, скорее, на плавку окисленной руды, так как канал для генерации монооксида углерода был принципиально важен именно при плавке окисленных руд; при плавке сульфидов восстановительная атмосфера создается проще — за счет реакции кислорода с серой и возгонки сернистого газа. Но наличие дымохода указывает и на использование печи для плавки сульфидных руд.

Таким образом, как и на примере металлообработки, мы вновь видим странное сочетание архаичных и более развитых признаков производства. К последним относится печь сложной конструкции, развитый набор металлообрабатывающих орудий, попытки плавки первичных сульфидов и легирования мышьяком, оловом и свинцом. Все это выходит за рамки представлений о начальных стадиях металлургии, когда использовались самородная медь или окисленная руда.

Проблема происхождения уральской энеолитической металлургии

Для описанного выше технологического скачка нужно время и накопление опыта, а это достаточно длительный процесс. Ярким примером этому является история металлургии Ближнего Востока, где развитие технологии происходило чрезвычайно медленно. Первые медные украшения происходят из пещеры Шанидар в Иракском Курдистане, где они датируются IX тыс. до н. э. (Moorey, 1975). Правда, эти подвески полностью минерализованы, и не исключено, что это был малахит, но на более поздних памятниках докерамического времени (Чайоню Тепеси), несмотря на сходную проблему, медь уже установлена надежно (Muhly, 1976, p. 83). Результаты анализов изделий (как правило, медные бусы) VIII—VII тыс. до н. э. анатолийских поселений (Чайоню Тепеси, Ашикли Хёйюк, Невали Чори, Чатал Хёйюк, Хаджиляр, Кан Хасан), показывают, что они изготовлены ковкой самородной меди с промежуточными отжигами. Даже булава из Кан Хасан II (около 6000 г. до н. э.) сделана этим способом. Первые литые изделия, причем, видимо из меди, выплавленной из руды, появляются только в слое Мерсин XVI (около 5000 г. до н. э.) (Yalcin, 2000). И лишь в IV тыс. до н. э. в Анатолии начинаются плавки халькопирита и появляются первые изделия с примесью олова (см. подробнее ниже). Причем, эта стадия перехода на сульфидные руды длилась, вероятно, не слишком долго, хотя считается, что существовал длительный этап плавки чистого малахита в тиглях. Смесь его с сульфидами облегчает плавку. Вскоре появляется и легирование мышьяком, сначала как случайная плавка медных руд с мышьяковой примесью, а потом и осознанный выбор такой руды (Roberts et al., 2009, p. 1017).

Из Анатолии или Северной Месопотамии знание металла проникает в Иранский Загрос в конце VIII—VII тыс. до н. э. (бусина из Али Кош), а затем на Иранское Плато в конце VI тыс. до н. э., но используется самородная медь. В V тыс. до н. э. начинается плавка руды (Thornton, 2009, p. 308; Oudbashi et al., 2012, p. 155—156, 158). Около 5000 г. до н. э. это отмечено в Тал-и Иблис на Иранском Плато и в V тыс. до н. э. в Али Коше (Thornton, 2009, p. 308; Pigott, 2004a, p. 28). То есть, эти процессы шли, практически, параллельно с Анатолией. А вскоре в Северо-Восточном Иране (Тепе Яхья, ок. 4300 г. до н. э.) появляются первые изделия из мышьяковой меди (Thornton, 2012).

Таким образом, общая динамика процесса такова: переход от использования самородной меди к плавке руды очень длителен и сложен, но дальнейшие инновации осуществляются уже быстрее. И то, что, как будто, не составило труда древним уральцам, заняло у жителей Ближнего Востока 5000 лет. Поэтому появление металлургического производства на Урале тоже было стимулировано, однако остается вопросом — из какого района?

Как мы видели, в прилегающих районах, в лучшем случае зафиксирована металлообработка. Можно допускать, что проблема в слабой изученности вопроса, не исключено, что где-то в Восточной Европе могли плавить руду, так как при плавке малахита шлак почти не формируется, но вряд ли следует ожидать выявления столь парадоксальных ситуаций, как в уральском энеолите, где эти парадоксы Е. Н. Черных обозначил уже много лет назад (см. выше).

При этом, данную проблему нельзя отрывать от проблемы формирования уральского энеолитического комплекса. В основе его, конечно, лежал местный неолит. Но, наряду с металлургией и новыми типами керамики, появляется мегалитическая традиция. Анализ новых культурных черт позволил сделать вывод о двух импульсах: из Северо-Западной Европы и из Анатолии, хотя определить хронологическое соотношение этих импульсов пока не представляется возможным (Григорьев, 2012). Однако, чтобы уточнить истоки металлургической традиции необходимо обратиться к более широкому кругу аналогий, который выходит за пределы Северной Евразии, где фиксируется лишь металлообработка.

В Закавказье следы плавки руды отсутствуют в раннем энеолите, под которым понимается шулавери-шомутепинская культура, но известны в позднем (Schachner, 2002, S. 118). Но надежные данные о плавках руды и технологии металлургического производства нам не известны. Начиная с позднего энеолита (комплексы типа Аликемектепеси, нижнего слоя Кюль-Тепе I и Техута), появляются, хотя и редкие, изделия из мышьяковых бронз. Примечательно, что шилья имеют упор, что затем станет характерно для всей Циркумпонтийской зоны (Тенейшвили, 1989; Селимханов, Торосян, 1969, с. 230—232). В данном случае речь, вероятно, не идет об импортах с юга. На местную добычу и плавку указывают следующие факты: у села Цителисопели на древних выработках были найдены куски шлака и каменные молоты со жгутовым перехватом, идентичные молотам поселений Арухло и Кюль-Тепе I (Кушнарева, Чубинишвили, 1970, с. 113). Вероятно, появление здесь металлургии было стимулировано южными импульсами, что подтверждается как мышьяковыми лигатурами, так и иными параллелями материальной культуры (Grigoriev, 2002, p. 334, 335).

Южнее данные о металлургии более многочисленны, хотя для этого периода употреблять такое выражение где бы то ни было достаточно проблематично.

Энеолитические печи в Вади Араба в Израиле имели внутренний диаметр около 45 см, глубину 45—50 см. Это были, таким образом, печи углубленные, как и единственная печь острова Веры. Шлак из этих печей не выпускался. Атмосфера плавки была, преимущественно, окисленной, в результате чего в печах этого типа формировался шлак типа шпинели (Rothenberg, 1990, p. 4—6, 9, 12, 19, 39, fig. 35, 40). В Леванте в энеолите, плавил, в основном, чистый малахит, предполагается, что плавка осуществлялась в тиглях, и такие плавки чаще шлака почти не дают. Находки шлака крайне редки, шлак мелкий, содержащий до 60% меди. (Hauptmann, 2003, p. 95, 98).

Анатолия в течение длительного времени, была технологически наиболее развитым регионом. Здесь уже в энеолите высока доля мышьяковых бронз, составляющая 31% от всего комплекса металла (Авилова, 2008, таб. 9). На поселении Дежирментепе мышьяк присутствует не только в металле, но и в шлаке (Yener, 2000, p. 40). Однако определить, насколько это связано с искусственными добавками мышьяковых минералов или отражает характер руды с примесями мышьяка, эти ограниченные данные не позволяют. Тем не менее, целенаправленное получение мышьяковых бронз в данном случае несомненно. В плавке использовалась, главным образом, окисленная руда, хотя иногда в шихту попадала и сульфидная. Для некоторых случаев нельзя полностью исключать возможность плавки руды непосредственно в печах, но надежных данных в пользу этого нет, хотя на ряде поселений (Арслантепе, Дежирментепе, Мерсин XVI, Тепечик, Норшунтепе и Тюлинтепе) хорошо документируется тигельная плавка и металлургический шлак (Palmieri et al., 1999, p. 143; Yener, 2000, p. 22, 34, 35, 39, 40, 61).

Печи тоже представлены. На поселении Начи Небе Тепе, в доурукском слое, выявлено четыре купольные печи, шлак и сопла, указывающие на искусственное дутье (Yener, 2000, p. 28). На энеолитическом поселении Хасинеби обнаружено четыре печи диаметром 60—65 см и глубиной 45 см (Yakar, 2002, p. 20, 21). Сложная печь, к которой пристроен горизонтальный дымоход, как и к печи на острове Веры, исследована на восточноанатолийском поселении Дежирментепе. В публикации (Müller-Karpe, 1994, S. 17—19, Abb. 5, 6) дымоход трактуется как воздуховодный канал или канал для выпуска металла, что не совсем правомерно, так как металл бы застывал уже в начале этой конструкции, а ее ширина не позволяла бы подавать воздух под давлением. Температуры, реконструированные для поселения Дежирментепе, составляли 1100 °С, но есть несколько образцов демонстрирующих температуру 1245 °С (Yener, 2000, p. 34, 35, 39, 40). Последнее вполне вероятно при попадании в шихту сульфидной руды.

В соседнем Иране в это время тоже распространены мышьяковые бронзы. Вместе с группой металла, содержащей никель, они оставляют 53%, но почти весь этот металл происходит из Суз (Авилова, 2008 таб. 32, 33). Из этого не следует, что технологически иранская металлургия была более развита, чем анатолийская. В Иране много мышьяковой меди встречается не только в энеолите, но и в ранней бронзе, и такая примесь типична для иранских месторождений (Pigott, 2009, p. 371; Oudbashi et al., 2012, p. 158). Но это, в любом случае, редкие месторождения, и анализ материалов показывает, что более вероятен специальный подбор руды. Часто используемые для доказательства обратного месторождения в районе Анарака, содержащие редкие медно-мышьяковые минералы, вовсе не обязательно активно использовались. Эта идея держится не на анализах, а на ее повторении (Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004, p. 267; Thornton, 2009, p. 317).

На иранских энеолитических поселениях Тал-и Иблис и Тепе Габристан с начала IV тыс. до н. э. руду плавил в тиглях на ножках-подставках, используя обычные очаги диаметром 25 см. Обнаружен даже сосуд с 20 кг руды, куски которой были размером с орех (Pigott, 1999, p. 110—111; Thornton, 2009, p. 312). Но это, вряд ли указывает на такие большие загрузки. Для плавки руду надо было перетирать в порошок. Эта руда, вероятно, была приготовлена для дальнейшей переработки. Но с конца IV тыс. до н. э. в Иране идет переход от плавок в тиглях к плавкам в печах, возможно, начинают использоваться флюсы, появляется жидкотекучий шлак (Thornton, 2009, p. 319).

Керамические льячки, обнаруженные на анатолийских энеолитических поселениях Бюйюк Гюлючек и Хейючек идентичны той, которая найдена на острове Веры 4 (Schoor, 2005, Taf. 11, 25). Эта аналогия, как будто, согласуется с анатолийской параллелью металлургической печи этого поселения, но форма этих льячек продиктована функцией, и она достаточно проста.

В анатолийских и месопотамских комплексах IV—III тыс. до н. э. известно легирование меди свинцом (Müller-Karpe, 1990, p. 109; Yener et al., 1994, p. 378; Schmitt-Strecker et al., 1991; Riederer, 1991, p. 88; Авилова, 2008, с. 61). Шлаки с примесью свинца обнаружены в слоях этого времени и в Северо-Восточном Иране (Тепе Гиссар), что маркирует смешивание медной руды со свинцовой с целью легирования (Thornton, 2009, p. 317). То есть, это было распространено в достаточно обширном ареале. Поэтому находка на Скворцовой Горе V на Урале, вероятно, тоже не является случайностью.

Таким образом, мы видим определенные параллели уральской металлургии в Анатолии. Но это касается, в большей степени, универсальных параметров этой эпохи (наличие углубленных небольших печей, тигельная плавка, доминирование окисленных руд, появление мышьяковой лигатуры, редкость обнаружения шлака, формы льячек). Безусловной точной параллелью являются печь с дымоходом, плавка сульфидов и попытки легировать оловом, но последние признаки, как мы увидим далее, распространены в эту эпоху гораздо шире, чем принято считать, а дымоходы могли возникнуть независимо, как реакция на необходимость удаления газов при плавке сульфидной руды.

Наиболее интересны нам европейские материалы, поскольку помимо металлургии в это время на Урале распространяются и мегалиты. В Европе наиболее ранним центром их возникновения является Иберия. Правда, в Иберии в мегалитах медь встречается редко, при этом контекст этих находок не всегда однозначен, тем более, что мегалиты могли переиспользовать в эпоху бронзы. Но в период культуры колоколовидных кубков (III тыс. до н. э.) медь в иберийских мегалитах есть совершенно определенно (Groeg, 2008, S. 52). Интересно наличие дольмена недалеко от шахт энеолитического времени в испанской провинции Уэльва, что позволило предположить, что строители мегалитов были первыми металлургами Западной Европы (Rothenberg, Freijeiro, 1980, p. 45). Но это, конечно, не прямые данные.

В Иберии, как и в Анатолии, использовалась чистая медь и мышьяковая (Rovira, 2005, p. 177). Возникновение металлургии здесь датируется достаточно ранним временем: на поселении Серо Виртуд в Альмерии, раскопки выявили металлургические остатки возрастом от середины V тыс. до н. э., на 1000 лет раньше, чем предполагалось раньше (Montero Ruiz, 2005, p. 187). В Иберии известно 37 мест со следами металлургической активности в энеолите. На знаменитом поселении Лос Милларес (а эта культура тоже демонстрирует мегалитическую традицию) получали медь с мышьяком из мышьякосодержащих карбонатов (Groer, 2008, S. 53). Найдены ошлаковки тиглей с примесью мышьяка и мышьяковые медные минералы (Hunt Ortiz, 2003, p. 295, 296). Иногда встречаются не только ошлаковки тиглей, но и шлаки (например, с поселения Амаргуилло), следовательно, не всегда в плавку поступал чистый малахит. Эти шлаки содержат от 0,11 до 35% меди и, порой, мышьяк, представленный и в руде, причем, в больших количествах, чем в шлаке. Последнее вполне объяснимо: в шлаке содержание мышьяка и должно снижаться. В металле содержание мышьяка варьирует от незначительного до высокого. Это вполне типичная картина использования мышьяковых медных минералов. Поэтому предполагается, что здесь мышьяк поступал с медной рудой (Hunt Ortiz, 2003, p. 300—302, 306, 321, 380).

Но существуют иные данные по поселению Лос-Милларес и некоторых других, датируемых III тыс. до н. э., в соответствии с которыми количество мышьяка в руде весьма незначительно. Очень высоко оно уже в ошлаковке тиглей, что указывает на легирование мышьяком в руду или металл. Более вероятно, все же, легирование в руду, поскольку в тигельной ошлаковке выявлен делафоссит — оксид меди и железа, характерный для шлаков архаичных стадий плавки руды. Кроме того, тигли подвергались гораздо более длительному термическому воздействию, чем того требовала переплавка металла (Hook et al., 1990, p. 67, 69, 70). Поэтому не исключено, что здесь существовало легирование мышьяком, но широко употреблялись и медные руды с примесью мышьяка.

В плавку поступали оксиды и карбонаты меди (Groer, 2008, S. 53; Hunt Ortiz, 2003, p. 294). Это подтверждается и вышеупомянутыми энеолитическими шахтами в провинции Уэльва, где добывали малахит (Rothenberg, Freijeiro, 1980, p. 45). Поскольку шлака мало и он чрезвычайно редок, плавил, преимущественно, чистый малахит (Hunt Ortiz, 2003, p. 304).

Плавка велась в тиглях с невысокими бортиками и печах. Предполагаются открытые очаги, но следует учитывать, что для древних памятников не всегда удастся восстановить высоту стенок и наличие перекрытия. Анализ тиглей из Лос Милларес показал, что плавка велась два часа при температуре 1100 °С, после чего содержание тиглей разбиралось, медь извлекалась и переплавлялась (Hunt Ortiz, 2003, p. 294—296, 298—302; Rovira, 2005, p. 177, 178). Поскольку бортики тиглей не высоки (например, большинство тиглей Португалии всего 10 см диаметром и 3 см высотой), принципиально это не слишком отличается от плавки в печи, и тигли, вероятно, служили, в большей степени, для сохранения обмазки печи, чем для создания специфических химических условий. Почти всегда это наземные конструкции. Известно и одно исключение: на поселении Чинфлон печь представляет собой простое углубление в грунте (Rothenberg, Freijeiro, 1980, p. 52).

Иногда в шихте были примеси и рудной породы: на поселении Чинфлон в Уэльве шлак этого времени негомогенный, пористый, с включениями фаялита, что указывает на наличие восстановительной атмосферы в печи (Rothenberg, Freijeiro, 1980, p. 52). Но чаще шлак демонстрирует относительно большие потери металла и окислительные условия формирования: в нем присутствуют магнетит, маггемит и шпинель (Rovira, 2005, p. 177, 178).

Таким образом, все вышеописанное отражает очень раннюю стадию металлургического производства. Предпочтение относительно чистой окисленной руды и плавка

в тиглях являются для этого времени универсальными. Но использование руд с повышенным содержанием мышьяка может указывать на то, что импульс к своему развитию иберийская металлургия получает из Восточного Средиземноморья. Балканы, при этом, можно исключать, поскольку там, как мы видели, мышьяковые бронзы появляются гораздо позже, в конце энеолита. Поэтому наиболее вероятным претендентом оказывается Анатолия. Безусловно и то, что в Иберии использовали руду с мышьяком, но выбирали эту руду, вероятно, целенаправленно, то есть, существовала традиция использования и последующей обработки такого металла. Это пока нельзя рассматривать в качестве надежного положения. Но оно дублируется иными гипотезами, с металлургией не связанными. Появление бастионных укреплений типа Лос Милларес Мюллер-Карпе связывал с импульсами с Ближнего Востока (Müller-Karpe, 1974, S. 404, 405). С этим связана и проблема появления европейских мегалитов. На эту проблему есть две противоположные точки зрения: диффузионистов и изоляционистов. Первые предполагали распространение этой традиции из Восточного Средиземноморья. Первоначально имели место довольно упрощенные формулировки, с указанием на связи с Микенами, но потом появились и более осторожные (O’Riordan, Daniel, 1964, p. 131—134). Однако и изоляционисты предполагают первоначальный приход населения с востока, которое лишь потом вылилось в параллельное строительство мегалитов в разных частях Европы в силу социальных причин (Renfrew, 1973, p. 143—145; 1976, p. 213—218). Применительно к Иберии, где мегалиты появляются раньше, чем в иных районах, эта разница уже не так принципиальна, тем более, что вместе с мегалитами здесь возникает металлургия. Поэтому восточный импульс наиболее вероятен.

Из Средиземноморья уже в энеолите медная металлургия проникает в Северную Африку. В Нубии первые медные изделия появляются около 3100 г. до н. э., в Алжире и Марокко тоже с IV тыс. до н. э., причем, вероятно из Иберии, судя по типам изделий (Grébénart D., 1988, p. 40, 51—53, 60). Следует напомнить, что сюда проникает и мегалитическая традиция.

В другой район распространения мегалитов, во Францию, металлургия проникает из Северной Италии в начале III тыс. до н. э., отсюда распространяется на север и запад Франции, и она не связана с иберийской (Strahm, 2005, p. 26). Здесь металлические изделия встречаются в дольменах. Причем, основные производящие центры находились на юге, в Лангедоке в массиве Кабриер, где на поселениях в районах шахт обнаружены кусочки шлака, капли меди и руда (Mille, Carozza, 2009, p. 144—151).

На основе анализа большого массива артефактов были выделены химические группы металла, что позволило утверждать, что в этом районе использовались блеклые руды, что очень похоже на культуру Ринальдоне в Италии. Поэтому металлургия, видимо, распространялась отсюда, а не из Иберии, где известны лишь варианты мышьяковой меди (Sangmeister, 2005, p. 19).

По последним данным месторождения массива Кабриер эксплуатировались раньше, с середины IV тыс. до н. э. Руда здесь представлена тетраэдритом, халькопиритом и малахитом. Благодаря тетраэдриту в качестве примесей присутствуют сурьма, серебро и мышьяк, и это оказывало воздействие на состав меди (Ambert et al., 2009, p. 289). Учитывая приведенную выше точку зрения о том, что сюда металлургическое производство проникает из Северной Италии, можно привести одну параллель. В изделиях медного века Северо-Восточной Италии, в Лигурии, встречаются странные композиции меди: никель (от 4,5% до 1,5%) и сурьма (1,6%) в трех шильях, серебро (5,2%) в шиле, и в пластине мышьяк (2,1%), серебро (3%) и свинец (1,7%) (Delfino, 2008, p. 233). Это свидетельствует, скорее всего, тоже в пользу плавки блеклых руд.

Присутствие в Южной Франции сульфидных руд привело к их эксплуатации и, вероятно, именно это было причиной того, что здесь, в отличие от Иберии, шлак встречается

чаще. Так, раскопки в местечке Сен-Веран, в приальпийском горном районе Кабан де Клаусис, выявили несколько сот килограмм шлака, представленного лепешками диаметром 10—20 см, что указывает на значительные объемы производства. Судя по тому, что 66% меди содержит более 0,1% сурьмы и серебра, а в 7% меди присутствует до 0,3% этих элементов, в плавку поступала окисленная руда с примесью блеклых руд. Это не было результатом легирования. Что-то детальное по технологии производства сказать сложно, но, судя по всему, плавка велась непосредственно в печи, что при использовании сульфидных руд более оправданно. Поскольку верхняя часть шлака остывала очень быстро, предполагается, что шлак остужали водой, чтобы быстрее начать новую плавку (Mille, Carozza, 2009, p. 159, 163). Но это предположение сомнительно.

На поселении Ла Капитель дю Брюм выявлен металлургический комплекс первой половины III тыс. до н. э. Металлургические сооружения здесь представлены, обмазанными глиной очагами диаметром 50 см и глубиной 15 см. Рядом обнаружены фрагменты руды, шлака и капли меди. Кусочки шлака невелики, не более нескольких грамм, но его довольно много (1 кг). Шлак был вязкий и, вероятно, сформирован дроблением от более крупных кусков для извлечения из него меди. Анализ шлака выявил отчасти окислительную атмосферу, фаялит в шлаке редок, довольно много различных силикатов, королек меди, невосстановленной руды. Иногда в плавку попадали сульфиды, появлялся штейн, но, в целом, это прямое производство меди. Флюсы, видимо, не использовались. Предполагается, что температуры составляли 1000—1200 °С. Данных о плавке в тиглях нет, они появляются позднее, в период культуры колоколовидных кубков. Впоследствии металл обрабатывался литьем и холодной ковкой с промежуточными отжигами (Rovira, 2005, p. 177, 178; Ambert et al., 2009, p. 289, 290, 293). В данном случае можно сомневаться лишь в выводах об открытых очагах, так как перекрытия печей сохраняются крайне редко, в открытых очагах трудно удерживать высокую температуру, атмосфера была бы настолько окисленной, что шлак был бы крайне купритизирован, а остывание, напротив, происходило бы довольно быстро.

В этом районе плавка малахита в тигле фиксируется с III тыс. до н. э., а в Лигурии и на Корсике с IV тыс. до н. э. (Groer, 2008, S. 56—63). Плавка в тиглях, в частности, отмечена на поселении Эль Клаус. Причем, в качестве тиглей использовались обычные бытовые сосуды. Плавка велась при температуре выше 1100 °С, судя по присутствию в ошлаковке фаялита (Mille, Carozza, 2009, p. 155). Это же свидетельствует в пользу восстановительной атмосферы.

То есть, мы, кажется, имеем дело с довольно парадоксальной ситуацией, когда сначала проникает более развитая технология. Нет данных и о том, сосуществовали ли далее эти технологии. Иными словами, мы можем предполагать сочетание плавки в тиглях и печах, но нельзя сказать окончательно — связано ли это с разными периодами или с использованием разного типа руды.

Сходный уровень металлургического производства наблюдается еще в одном районе Европы с мегалитическими памятниками, в Ирландии. Здесь изучено древнее производство периода культуры колоколовидных кубков (2400—2200 гг. до н. э.) в районе месторождения Росс Айлэнд. В плавку, как и в Лангедоке, поступали блеклые руды, поэтому основная масса металла региона содержит повышенные концентрации мышьяка, сурьмы и серебра. Поэтому распространена естественная низкомышьяковая медь из арсеносульфатов. Возможно, такую руду брали целенаправленно, потом это и привело к переходу на блеклые руды, что вообще характерно для культуры колоколовидных кубков. Плавка осуществлялась в очагах и тиглях, без шлака, что рассматривается как традиция, восходящая к плавке окисленных руд (O'Brien, 2005, p. 37; Groer, 2008, S. 48).

В Британии металлургия появляется еще позже, в конце III или в начале II тыс. до н. э. Не исключается ее самозарождение на Британских островах в целом, так как здесь не

появляются иные сопутствующие меди на Ближнем Востоке металлы, например, свинец. Но изделий из самородной меди нет, поэтому переход должен был быть стремительный. Шлака здесь тоже нет, а шлак у выработок может датироваться и поздним временем. К тому же, судя по набору примесей, на юго-запад Британии медь поступает из Ирландии (Craddock, Craddock, 1996, p. 52, 53, 61). Но сюда и не должен был поступать импульс с Ближнего Востока. Впрочем, из-за скудости материала обсуждать вопросы генезиса металлургии здесь не представляется возможным.

В Среднюю Европу, где тоже известна мегалитическая традиция, металлургия проникает в начале IV тыс. до н. э. через Балканы (в Словакии наиболее ранние металлургические объекты датируются периодом 5400—4000 гг. до н. э. (Novotna, 1990, p. 70), но, скорее всего, они относятся к концу периода), и с юго-запада (куда она попадает из Средиземноморья) в III тыс. до н. э. В IV тыс. до н. э. на севере этого региона металлургическое производство присутствует уже в дольменах и ронделах, однако, на север региона, вероятно, осуществлялся импорт металла (в том числе мышьяковой меди) из Рудных Гор и Предальпийской зоны (группы Мондзее и Пфин), где эксплуатируются уже блеклые руды, что характерно и для Лангедока. Рост этого импорта наблюдается в период 3500—3300 гг. до н. э., и появляется добыча руды на севере (Krause, 2003, S. 225, 226, 229, 233). Судя по раскопкам на поселении Брикслегг в Австрии, плавка руды осуществлялась в тиглях (Bartelheim et al., 2002, S. 42). При дальнейшей обработке металла доминировали, как и повсеместно кузнечные технологии. Металлографические исследования материалов группы Мондзее показали, что использовались высокие температуры, но нельзя определить — были ли это холоднаяковка с отжигами или горячаяковка. Температурное воздействие зависело от содержания примесей. Так, топор с низким содержанием мышьяка нагревался при низких температурах 400—600 °С, различаются степени обжата. Складывается ощущение, что металлурги прекрасно понимали свойства того или иного металла (Budd, Ottaway, 1990, p. 100—101).

Особой проблемой является легирование оловом и использование в плавку халькопирита. Как мы увидим, эти вопросы могут быть взаимосвязаны. Олово в Юго-восточной Анатолии встречается с РБВ (Yakar, 2002, p. 18). В целом по РБВ региона доля оловянных бронз составляет 8% (Авилова, 2008, с. 61). Но для ранних периодов РБВ это редкие находки. Устойчиво олово на Ближнем Востоке идет с периодов РБВ III, Троя IIg, Ур III (2600—2400 гг. до н. э.) (Gülçür, 2002, p. 35). Находки энеолитического времени тоже единичны. Энеолит Анатолии датируется 5500—3300 гг. до н. э., а переходный период к РБВ 3300—3000 гг. до н. э. Олово встречается с позднего энеолита (Efe, 2002, p. 50, 51). Иногда эти находки тоже оспариваются. Так, для Анатолии приводится лишь один случай сплава меди с мышьяком и оловом в Мерсине и предполагается, что этот сплав естественного происхождения (Авилова, 2008, с. 61). В действительности, в Мерсине в контексте позднего энеолита известно три случая таких сплавов, содержащих более 1% олова: булавка (1,3%), шило (2,1%) и печать (2,6%) (Muhly, 1985, p. 284). Поэтому вывод о том, что в позднем энеолите Анатолии (конец IV тыс. до н. э.) уже есть оловянные бронзы (Yalcin, 2000, p. 27), вероятно, правомерен. Встречаются и более ранние находки. Это булавка из Тюлинтепе, с содержанием олова 5%; предполагается, что это древнейший случай такой лигатуры на Ближнем Востоке. Но с IV тыс. до н. э. встречается и лужение, то есть покрытие изделий оловом. Аналогом этому считается покрытие серебром, зафиксированное на копьях из Арслантепе. Делалось это в престижных или культовых целях, а оловянное покрытие давало тот же визуальный эффект (Yalcin, Yalcin, 2009, p. 128, 129). Еще более ранним случаем является сплав с содержанием олова 2,9% из Юмуктепе, датируемый около 4300 г. до н. э. (Kaptan, 1990, p. 75). Самой неожиданной находкой является медная проволока из Суберде (середина VII тыс. до н. э.), содержавшая 8,4% олова (Muhly, 1985, p. 284). Но последнюю можно не рассматривать,

так как это, если не результат аналитической ошибки, является случайностью, не получившей дальнейшего развития технологической традиции, в отличие от использования олова в энеолите. Как мы увидим, обсуждая эпоху ПБВ, в Анатолии в начале РБВ имеет место довольно сложная добыча и обогащение оловянной руды, и использование олова в качестве лигатуры. Естественно, первые попытки использования олова должны были иметь место раньше. Специалисты по древней металлургии Анатолии поэтому полагают, что уже в V тыс. до н. э. здесь практиковались экспериментальные многокомпонентные лигатуры с мышьяком, оловом и свинцом. В целом, оно начинает входить в оборот с конца IV тыс. до н. э. Предположения об импорте олова не логичны, так как в это время оловянные бронзы мало распространены, а импортировать могли лишь оттуда, где эта технология развита. К тому же, в юго-восточной Анатолии известна серия небольших месторождений олова (Yener, 2000, p. 32, 47, 71).

Не исключено, что легирование производилось на стадии плавки руды, так как на поселении Телль аль-Джудайда в долине Амука (конец IV—III тыс. до н. э.) в медном шлаке из тигля в каплях меди обнаружено от 2 до 37% олова (Yener, 2000, p. 74).

Восточнее, в Луристане, в могильнике Калех Ниссар того же времени обнаружены изделия с оловом, что позволило предположить плавку медной руды вместе с оловянной (Thornton, 2009, p. 317).

Но подобные ранние находки есть и за пределами Ближнего Востока. На поселении Окукали баденской культуры в Словении в шлаке выявлено от 5 до 20% олова (Lozok, 1990, p. 56). Сверло из Злоцка Печина в Сербии содержит 2,1% олова. В северной Эгеиде есть отдельные изделия первой половины III тыс. до н. э., поэтому это самая ранняя оловянная бронза в данном регионе. Допускается, что эта вещь относится к поздней фазе Баден-Костолач (Begemann et al., 1990, p. 145, 146). Но в любом случае она датируется в рамках IV тыс. до н. э.

Плавки халькопирита и иногда присутствие в металле олова отмечены в Лангедоке в контексте Финального неолита (III тыс. до н. э.) на поселении Эль Клаус (Mille, Carozza, 2009, p. 155).

В Центральной Европе есть серия находок оловянных бронз в шнуровых культурах, культурах единичных погребений и колоколовидных кубков (III тыс. до н. э.). Известно и два изделия IV тыс. до н. э. Во всех этих изделиях присутствует 2—6% олова, что явно больше того, что может содержаться в медных рудах, но часто это низколегированные изделия, а не истинные оловянные бронзы. Однако даже первые опыты с легированием или смешивание руд не допускаются, и эта ситуация объясняется контактами с культурами РБВ Анатолии (Krause, 2003, S. 210—213, 241). Но в течение всего периода энеолита Балкан (то есть V—IV тыс. до н. э.) контакты Юго-восточной Европы с Анатолией отсутствуют, что не позволяет даже прорабатывать общие периодизационные схемы (Parzinger, 1993, S. 253—263). Они появляются в следующем тысячелетии, но для Центральной Европы слишком опосредованные. К тому же, в IV тыс. до н. э. оловянные бронзы были еще редкостью и в Анатолии. Примечательно и то, что эти находки располагаются неподалеку от оловянных источников Рудных Гор. Предполагается, что начало легирования оловом в Европе связано с поселением Велика Груда в Черногории, 2800—2700 гг. до н. э., и в Средней Европе это легирование распространяется уже во второй половине III тыс. до н. э. в результате влияний из Балкано-Карпатского региона (Krause, 2003, S. 242). Но как объяснить более ранние находки?

При раскопках в районе Эль Альгаробилло в южной Иберии обнаружен шлак энеолитического времени, в котором анализ выявил медь, железо и 3,6% олова. Изучение его под микроскопом показало, что это, скорее, смесь частично восстановленной руды. Присутствие олова примечательно. Его в руде не может быть более 3%. Поэтому речь идет, скорее всего, о смеси медной и оловянной руды, с целью получения оловянной

бронзы, хотя иногда медные руды с оловом все же встречаются. Но и месторождения олова в этом районе тоже выявлены. На поселении Эль Лос Ланете де лос Морос тоже найдены частично обожженные руды и ошлаковка тиглей. Анализ ошлаковки выявил медь, олово (0,6—5,8%) и железо, а в одном случае 1,2% мышьяка. Предполагается, что использована первичная сульфидная руда, возможно, с естественным включением олова (Hunt Ortiz, 2003, p. 305, 306, 376).

Таким образом, мы видим, что в энеолитическом контексте в Анатолии, в Центральной Европе, в Южной Иберии и Лангедоке встречаются редкие оловянные бронзы. Судя по двум находкам в Анатолии и Европе, можно предполагать легирование оловянной рудой на стадии плавки медной руды, то есть, то же самое, что мы наблюдаем в Зауралье. Согласно экспериментальным данным, оловянную бронзу легко получить при совместной плавке медной и оловянной руды (Rovira et al., 2009, p. 413).

На первый взгляд, переход к оловянным лигатурам объясняется просто. Мы видим, что в ряде случаев по времени это совпадает с переходом на плавку халькопирита. С точки зрения технологической, это вполне объяснимо: при плавке халькопирита резко растут температуры, и увеличивается продолжительность плавки. В этих условиях легирование мышьяком в руду становится невозможно, так как мышьяк возгоняется. В ПБВ это было, вероятно, ведущей причиной, но для этого времени вряд ли. И каким образом возникла идея подобного легирования? Чарльз предполагал, что первоначально начали использовать оловянный колчедан, станин ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$), путая его с медной рудой с примесями мышьяка (Charles, 1980, p. 172). И с тем, что первые оловянные бронзы произведены из станина, согласны другие авторы (Roberts et al., 2009, p. 1017). Но этот минерал образуется путем замещения одного атома железа атомом олова в халькопирите. Поэтому, скорее всего, он и попадал в плавку вместе с халькопиритом, и было замечено его благотворное воздействие на свойства металла. Поскольку при распаде станина образуется касситерит, это привело к использованию и данного минерала. Этим, вероятно, объясняется совпадение по времени начала эксплуатации халькопирита с первыми оловянными бронзами.

В Анатолии плавки базировались, прежде всего, на окисленных рудах. На большинстве поселений халькопирит не плавил. В шлаках таких поселений как Тюлинтепе и Тепечик железа нет, но на Дежирментепе плавка сульфидов зафиксирована уже в энеолите, что позволило сделать вывод о том, что, хотя широкое использование халькопирита начинается в Анатолии с РБВ, начало этому было положено в энеолите (Yakar, 2002, p. 18—21; Yener, 2000, p. 40). Кстати, возможно, этим объясняется использование печей с дымоходами на Дежирментепе. Но на Дежирментепе на использование сульфидов указывают лишь единичные образцы.

Это сочетание использования окисленной руды и халькопирита отмечено и для позднего энеолита (3400—2900 гг. до н. э.), в частности, на таком поселении, как Арслантепе VI, а на поселении Норшунтепе в энеолитическом слое есть окисленные руды с примесью халькопирита (Yener, 2000, p. 45—47, 58). Исследование двух небольших кусков шлака с Тепе Гиссар в Северо-Восточном Иране (слой времени ок. 3600 г. до н. э.) показало, что плавка была низкотемпературной и непродолжительной. Но в шлаке крайне мало куприта, много оксидов железа, и найдены фрагменты оплавленной первичной руды борнита с примесями свинца и мышьяка (Thornton, 2009, p. 314).

Плавку халькопирита мы упоминали выше вместе с упоминанием олова на поселении Эль Клаус в Лангедоке. Существуют и косвенные данные эпизодических плавок халькопирита в Европе. Как мы увидим при обсуждении металлургии ПБВ, побочным продуктом таких плавок было получение небольшого количества железа. Еще в конце XIX в. появились публикации об обнаружении небольших кусочков железа или железных предметов в мегалитических гробницах Германии, Нидерландов и Скандинавии.

Часть изделий, судя по описанию, вероятно, поздние, указывающие на переиспользование гробниц. Но иногда данные выглядят вполне достоверно, так как речь идет о закрытых комплексах, несмотря на явно низкий уровень методики раскопок. При этом, автором делается предположение, что при переходе от неолита к эпохе бронзы могло использоваться как метеоритное железо, так и случайный продукт, полученный при плавке медной руды (Olshausen, 1893, S. 92, 89—121). Железо встречено и в энеолитическом контексте в Иберии. Чаще это небольшие шилья. Анализ на присутствие никеля не производилось, но предполагается его метеоритное происхождение (Hunt Ortiz, 2003, p. 328).

Таким образом, на Урале, как в Анатолии и Европе, мы видим в энеолите некоторые непривычные черты: первые опыты плавки халькопирита и борнита, легирование оловянными минералами на стадии плавки руды, возможно, первые опыты с железом (последние для Урала не установлены).

Все это мало помогает в решении вопроса о том, из какого района пришла на Урал металлургическая технология. Ее уровень ниже, но, в целом, соответствует тому, что мы наблюдаем для этого периода в Анатолии и Европе. Для этого раннего периода вопрос происхождения производства надежно решить невозможно: во всех районах слишком мало данных, уровень производства сопоставим, нет еще специфических изысканных региональных приемов, мало металлических изделий, причем последние имеют невыраженные формы, изготовлены чаще ковкой, поэтому быстрые региональные трансформации того или иного типа более, чем вероятны. Можно, наверное, совершенно уверенно утверждать, что с металлургией северо-восточной части Балканского полуострова зарождение уральской металлургии не было связано: нет развитых технологий литья, для Болгарии не характерно использование сульфидов. Более предпочтительно выглядит Анатолия и Европа. К сожалению, даже такие специфические для этого периода черты, как плавка халькопирита и попытки легирования мышьяком и оловом на стадии плавки руды, мало помогают в определении исходного ареала. Раньше мне казалось, что это позволяет достаточно уверенно говорить об анатолийском импульсе (Григорьев, 2012), но, как мы видели, эпизодически эти черты встречаются и в энеолитическом контексте разных регионов Европы. Отмеченная на Урале плавка в тиглях имела место во всех регионах в этот период. Существуют некоторые специфические анатолийские черты: легирование свинцом, печи с дымоходом. Но все это представлено единичными экземплярами, поэтому, с одной стороны, случайность здесь вполне возможна, с другой стороны, на фоне малого количества находок, связанных с металлургическим производством этого периода в любом районе Старого Света, неожиданные единичные открытия возможны везде, а отдельные схожие признаки могли появиться и самостоятельно. К сожалению, мы не видим комплекса сопоставимых черт.

Поэтому мы вправе констатировать лишь несколько положений. Характер уральской металлургии на этапе ее возникновения таков, что не предполагает местного поэтапного развития. Производство в регион было привнесено из отдаленного региона с развитым уровнем технологий. Однако сами по себе данные по энеолитической металлургии Урала пока не позволяют четко определить этот регион. Вряд ли мы вправе говорить о Болгарии. На Британских островах производство появляется несколько позже, чем на Урале. Поэтому наиболее вероятным кандидатом является Средняя Европа, тем более, что это дублируется рядом параллелей в керамике и особенностях мегалитических сооружений. Но небольшая группа параллелей для уральских мегалитов отмечена и на Ближнем Востоке, поэтому не исключалась возможность двух импульсов: первого и основного, европейского, и вторичного анатолийского (Григорьев, 2012). Кстати, металлургическая печь на острове Веры в стратиграфическом отношении позже раннего энеолитического слоя этого памятника. Но данных по этому второму импульсу пока, все же, недостаточно.

Металлургия и социальные отношения в энеолите

Очень важной проблемой ранних этапов истории металлургии являются причины, по которым осуществлялось становление и развитие этого производства. В энеолите в большинстве регионов металл не играл существенной роли в экономике, он не вытеснил камень, использовался, в основном, в ареалах его производства и редко вывозился за пределы этих ареалов. Поэтому считается, что металл имел, скорее, символический смысл (Mille, Carozza, 2009, p. 161, 167). Более того, на ранних стадиях все новации в области металлургии были, вероятно, не изобретениями, вызванными необходимостью. Это изобретения в чистом виде, пробы старых технологий (обжиг посуды) на новом материале (Pigott, 2004a, p. 28).

Все это так. Однако мы должны помнить, что степень утилизации металла резко отличается от степени утилизации камня. Поэтому соотношение числа находок не отражает истинного соотношения использования изделий. Но даже учитывая это обстоятельство, так как плавка чистого малахита или самородной меди могут не давать шлака и не требовать специализированных печей, выявленные остатки производства во всех регионах ничтожны. Активное использование камня повсеместно маркируется множеством отщепов и сколов, но сосуды, даже с незначительной ошлаковкой, везде единичны. К сожалению, и это не может быть надежным признаком малых объемов производства, поскольку в той же Болгарии, с ее обилием массивных медных орудий труда и оружия, остатков производства выявлено мало. Таким образом, мы эти объемы не в состоянии реально оценить. Они были явно выше, чем нам представляется на основе раскопок археологических памятников, но все равно весьма скромными, по сравнению с каменной индустрией. И если не рассматривать Болгарию, то уместно спросить: что вело к постепенному совершенствованию металлургического производства и расширению использования металла?

В первую очередь, коснемся свойств металла. Его металлический блеск наверняка привлекал людей, когда они впервые познакомились с самородной медью, и это было главным стимулом изготовления медных украшений. Не случайно наиболее распространенными ранними изделиями являются именно украшения. Но важными факторами являются также пластичность и твердость меди. При работе с самородной медью ранней стадией была холодная ковка, а затем появляются ковка с отжигами и плавка. Послековки твердость меди достигает 140 HV, что (как и появление трещин) затрудняет ее дальнейшую ковку, отжиг снижает твердость до 60 HV (по Виккерсу) (Tylecote, 1987, p. 90). Все зависит, в конечном счете, от режимовковки. Прокованная в различных условиях чистая медь демонстрирует твердость от 55 до 130 HV (см. Равич, Рындина, 1989). Максимальной твердость чистой меди становится после холоднойковки. Она даже выше, чем у более поздних сплавов. Это позволяло именно на ранних стадиях производства получать достаточно прочные изделия. Поэтому такие орудия, как тесла, проколки, пробойники могли превосходить по своим качествам те, что изготавливались из камня или кости.

В разных районах мира использование меди зависело от разных факторов: доступности, наличия традиции производства, востребованности для каких-то конкретных целей. В Анатолии 58% медных изделий представлено украшениями и 39% орудиями. Однако в Иране украшений гораздо меньше (22%), зато доля орудий и оружия достигает 71%, причем они представлены не только иглами, шильями и ножами, но и достаточно массивными формами — теслами, мотыгами и топорами. (Авилова, 2008, с. 41, 113). Очевидно, что в развитых регионах мира металл используется и в утилитарных целях. Однако количество его невелико. Те же топоры, использовавшиеся в боевых целях, явно имелись не у всех, а лишь у вождей или небольших групп элитных воинов. Поэтому они не могли решить исход военных столкновений, а были, в какой-то степени, тоже

престижными объектами. Но шилья и тесла были уже явно утилитарными орудиями.

В менее развитых районах, например, на Урале, в силу редкости медных изделий они наверняка имели престижное значение, и выступали определенным элитным маркером. Но есть признаки и их чисто утилитарного использования. На острове Веры, где располагался крупный мегалитический культовый центр, обнаружена каменоломня, где добывались плиты и блоки для строительства мегалитов. На ряде блоков есть следы раскалывания и выемки для вставки деревянных клиньев. Изучение этих выемок показало, что для их пробивания в граните использовалось продолговатое острие длиной более 5—6 см, а потом широкое плоское долото. Поскольку ширина углублений не более 3 см, ширина этих орудий не могла превышать 2 см, то есть, это могли быть только металлические инструменты. И работа шла по граниту, твердость которого по шкале Мооса 7 единиц, в то время, как у меди только 3 единицы. Но, как мы обсуждали ранее, у прокованных в холодную медных изделий твердость резко возрастает, что делало эту работу, хотя и медленной, но возможной. Интересно и то, что подобные следы я наблюдал на блоке в мегалитическом комплексе в Альмендресе в Португалии, хотя там использован не гранит, а известняк. Та же техника зафиксирована на другом португальском мегалитическом комплексе — дольменах и каменоломнях в Орко да Лапа. Идентичные углубления от долота присутствуют на плите дольмена у ст. Даховской (Марковин, 1997, с. 201, рис. 98.1). Отмечена такая техника в Карнаке во Франции, где подобным образом раскалывали гранит, и в Каслрэдери в Ирландии (мегалитический комплекс середины III тыс. до н. э.). В Гипогеуме на Мальте на ступенях пола видны клиновидные следы, маркирующие ту же технику (Trump, 2002). То есть, для возведения многих мегалитических сооружений требовались медные орудия. Они не нужны для довольно примитивных валунных дольменов, но там, где надо было сделать ровные блоки, они часто требовались. Поэтому мегалитическая традиция отчасти связана с металлургическим производством, и порой они распространялись одновременно.

В этом случае мы видим чисто утилитарное использование меди. Но до конца ли оно утилитарно? Обсуждая трудозатраты на возведение и поддержание культового комплекса на острове Веры, мы сделали вывод о том, что общество было устроено намного сложнее, чем это представлялось ранее для уральского энеолита, что существовала определенная социальная дифференциация (Григорьев, 2011), и это сейчас является достаточно общим положением в мегалитических исследованиях. Строительство мегалитов было одним из маркеров более высокой социальной группы, хотя главной их функцией была, конечно, культовая. Поэтому на это строительство тратились такие значительные силы. В этой связи использование медных изделий в ходе этого строительства не может рассматриваться как чисто утилитарное действие. Странно и то, что в пределах этого культового центра располагалось и металлургическое производство. В данном случае вариаций может быть достаточно много: можно говорить о сакральности металлургии, но можно вспомнить и обычные склады и мастерские, функционировавшие в рамках ближневосточных храмов (речь не идет, конечно, о внутренних частях храмовых комплексов). Если допускать наиболее вероятный вариант, когда культовым комплексом занимается какая-то элитная группа, то наличие здесь производства указывает, в определенной степени, на его связь с этой группой. Но металлургия и доступ к месторождениям не вели к изменениям социальных структур (Krause, 2003, S. 260). Здесь зависимость обратная: элитная часть общества могла использовать достижения металлургии и способствовать, тем самым ее сохранению и развитию на ранних этапах.

Но в энеолитической экономике на Урале существенной роли металлургия не играла. Даже в большинстве земледельческих и скотоводческих районов ситуация была той же. Хотя иногда можно встретить обратное мнение о том, например, что металлургия способствовала быстрому прогрессу энеолитических групп Карпат и Альп (Jovanović,

1971, p. 115). Но это голословные утверждения. Основа экономики в энеолите Иберии, например, была не металлургия, а земледелие. Даже в районах рудников, где много металлургических остатков (Hunt Ortiz, 2003, p. 382). То же предполагается и для энеолита Франции, где, судя по территориальному распределению металла, он не играл никакой роли в трансформации общества (Mille, Carozza, 2009, p. 165). Вообще, в настоящее время никто из археометаллургов не считает, что для развития и распространения металлургии на ее ранних стадиях была нужна элита, или что металлургия обеспечивала элиту (Thornton, Roberts, 2009, p. 182). Металлургия становится фактором экономическим лишь тогда, когда появляется рынок сбыта для ее продуктов, что приводит к росту специализации и обмена. В РБВ это явление возникает в Анатолии, а в большинстве иных регионов только в ПБВ.

Таким образом, для этого раннего периода можно говорить о том, что в большинстве регионов производство имело неутилитарный характер, хотя местами (возможно, в Болгарии) ситуация начинает постепенно меняться.

Выводы

Для энеолита Северной Евразии, в силу скудости материала, сложно построить четкую схему распространения металлургического производства. Наиболее вероятно, что первые импульсы, которые несли с собой знакомство с металлом и металлообработку, поступали с запада. Иногда они приводили к местному использованию самородной меди, как это имело место в Карелии. С территории БКМП шло распространение металлообработки по южной зоне, вплоть до Поволжья, а из Средней Европы на Урал. На сегодняшний день с неопределенной долей вероятности можно предполагать и наличие вторичного, анатолийского импульса, который достиг Урала. Закавказские импульсы ощутимы и в Северном Причерноморье, где в энеолитических комплексах появляются иногда мышьяковые бронзы. Однако это производство не получило в энеолите бурного развития. Даже на Урале, где имелась сырьевая база, и где появляется достаточно развитое производство, оно со временем затухает и упрощается. Появление развитой металлургии в каком-то районе вовсе не означает, что здесь будет иметь место ее дальнейшее поэтапное развитие. Новые изобретения могут временами исчезать и даже не появляться опять. Так произошло в Иране, где в энеолите были изобретены тигли с огнеупорным покрытием (Thornton, Rehren, 2009, p. 2710). Причина этого довольно проста: даже привнесенное производство не может получить развитие, если для этого отсутствуют необходимые социально-экономические предпосылки. Металлургия развивается, как правило, в условиях производящего хозяйства. В условиях экономики, построенной на охоте и рыболовстве, необходимость в ней не столь велика.

Производство в эпоху ранней и средней бронзы

В эпоху ранней и средней бронзы западная часть Северной Евразии входит в систему Циркумпонтийской металлургической провинции¹. Металлургическое производство этой крупной системы хорошо изучено и описано (напр. Черных, 2007), и здесь мы следуем этой наиболее новой обобщающей работе. На юге региона в эпоху ранней бронзы к ЦМП относится металлообработка ямной культурно-исторической общности, а в эпоху средней бронзы — катакомбных культур и полтавкинской культуры. В лесной зоне к ней могут быть отнесены материалы фатьяновской и балановской культур. Изделия этой зоны включают в себя тысячи предметов, отражающих в морфологическом и химическом смыслах определенный циркумпонтийский стандарт. Формирование этого стандарта было обусловлено миграционными процессами. Примером их может быть ситуация с майкопской

¹ Радиоуглеродные даты ЦМП ложатся в промежуток между 3300 и 1900 гг. до н. э., но граница между РБВ и СБВ не отчетлива. Она приходится на период между 2700 и 2500 гг. до н. э. (Черных, 2007, с. 37).

металлургией, для которой плавка руды не установлена, и для которой тоже предполагался привозной характер металла из Закавказья, поскольку в металле отмечены примеси никеля, характерные для Ближнего Востока. Но, как показало исследование майкопского металла (Рындина и др., 2008; Рындина, Равич, 2012), речь должна идти о плавке местной руды и о легировании мышьяково-никелевым минералом никелином, причем, вопрос этот, на мой взгляд, с учетом качества аналитической работы, недискуссионный, несмотря на то, что майкопские рудники или остатки металлургического производства пока не обнаружены. Дело в том, что майкопские изделия сделаны из мышьяковых и мышьяково-никелевых бронз (53% мышьяковых бронз, из них 38% с никелем). Есть низкомышьяковые бронзы (9%), но предполагается, что это вызвано неоднократной переплавкой. Наблюдается положительная корреляция между содержанием мышьяка и типом изделия. Следовательно, металлурги понимали разницу этого металла, причем эта разница хорошо объясняется с технологических позиций. Сопоставление набора примесей с металлом Ирана, Закавказья и Анатолии показало их разницу, при наличии безусловного морфологического, химического и технологического сходства закавказского и ближневосточного металла майкопскому. Поэтому это собственное производство, а не импорт. Наиболее отчетливо это доказывается наличием примесей урана в майкопском металле и близлежащих рудопроявлениях. Причем, в металле отсутствуют сульфидные примеси, следовательно, в плавку поступала окисленная руда (Рындина и др., 2008; Рындина, Равич, 2012, с. 5—18). Поскольку примеси никеля технологически обусловлены и известны в мышьяковых бронзах Анатолии и Леванта, где есть и морфологические параллели, можно предполагать привнесение металлургии на Северный Кавказ из этого региона. Примечательно и то, что генезис майкопской культуры связан с этими районами (Андреева, 1977; 1979, с. 33, 34; 1991, с. 46; 1996, с. 87, 93—99; Трифионов, 1987, с. 20).

Для ямной металлообработки существуют безусловные и всеми признаваемые параллели с Северным Кавказом. Но здесь мы еще можем обсуждать диффузию традиции. Однако в катакомбное время на севере появляются изделия, имеющие параллели в юго-восточной части этой провинции, на Ближнем Востоке. Часть этих типов (втульчатые крюки и долота) упоминалась при обсуждении ближневосточных параллелей металла синташтинской культуры (Grigoriev, 2002, p. 70). Известные на катакомбных памятниках долота с кованой втулкой типичны для Анатолии и Северо-западной Сирии, где они датируются с конца III тыс. до н. э. — начала II тыс. до н. э. (Müller-Karpe A, 1994, S. 170—173, Taf. 74, 75). Тем не менее, у меня было впечатление, что ножи катакомбных форм все же эволюционировали из восточноевропейских типов периода РБВ. Это впечатление было, по-видимому, ложным, так как в Сузах известны типичные катакомбные ножи, включая нож с пятиугольным клинком. Дата этих изделий не совсем определенная, лишь нож № 651 датируется XXIII в. до н. э. Примечательно и присутствие в проанализированном ноже с пятиугольным клинком 4,5% мышьяка, что отражает сходные приемы металлообработки (Talion, 1987, p. 65, 256, 257). Поэтому существовал импульс, оказавший влияние на металлообработку. Но обилие металла этого времени вызывает удивление на фоне полного отсутствия информации о плавке руды. Во всей этой зоне на сегодняшний день не известно ни одного образца шлака.

Производство этого времени характеризуется использованием чистой меди и мышьяковой бронзы. При этом, во всех зонах ЦМП отмечается рост доли мышьяковых бронз от ранней к средней бронзе, хотя в РБВ они тоже играют заметную роль, особенно на Северном Кавказе. Картография распределения этих двух групп металла показывает, что «чистая медь» тяготеет к Южному Приуралью, а мышьяковые бронзы к Кавказу и Предкавказью, из чего сделан вывод о том, что источником чистой меди были приуральские месторождения в медистых песчаниках (в первую очередь, Каргалинские рудники), а мышьяковой меди — месторождения Закавказья.

Но исключить возможность плавки руды в катакомбное время на Северном Кавказе нельзя. Доказательств этого, на сегодняшний день, нет. Но не существует, в принципе, и доказательств того, что катакомбные мышьяковые бронзы были импортными. Спектральный анализ металла не позволяет делать подобных выводов, что мы обсуждали во введении. Кроме того, представим эту ситуацию: огромные поставки металла осуществлялись в течение 700 лет на огромные расстояния. Это длительное время существовавшие торговые пути, множество торговых караванов. В ходе этих торговых операций должны были поступать и какие-то иные импорты, а не только мышьяковый металл и единичные египетские скарабеи позднекатакомбного времени. И что-то должно поставляться взамен, поскольку я не могу себе представить в этой области альтруистов. Словом, проблема пока не разработана.

В СБВ Кавказа и Восточной Европы примеси никеля в мышьяковых бронзах не установлены, и такой разрыв с прежней технологической традицией в Предкавказье заставляет задуматься. Речь идет об определенных технологических изменениях, что на фоне появления типов изделий, известных на Ближнем Востоке, позволяет говорить о новом импульсе, но определенно только в области металлообработки.

Таким образом, в отличие от предшествующего времени, в этот период происходит изменение связей региона с балкано-карпатских на закавказские и (на мой взгляд) ближневосточные. Эти связи почти не касаются районов энеолитических культур лесной зоны, Зауралья и Казахстана, где производство, как говорилось выше, не получает развития. Но и о плавке руды в пределах северо-восточной зоны ЦМП что-то определенное сказать трудно из-за отсутствия шлакового материала. Последнее, впрочем, позволяет предполагать, что в плавку поступал чистый малахит, а при его использовании остается очень незначительное количество шлака. Возможно, плавка велась на поселениях и стоянках, а таковые для ямной, полтавкинской и катакомбной культур в районах с медными месторождениями исследованы слабо. Тем не менее, даже несмотря на слабую исследованность, отсутствие шлака можно констатировать. И правомерны, вероятно, оба фактора. Возможно, и производство было не слишком интенсивным, и часть металла действительно является результатом импорта. На эти вопросы пока невозможно ответить.

Надежная опора для суждений о характере металлургического производства появляется лишь в конце СБВ, с формированием синташтинской и абашевской металлургии.

Металлургическое производство СБВ II и перехода к ПБВ

В Северной Евразии металлургическое производство конца эпохи средней бронзы документируется, в первую очередь, материалами синташтинской и абашевской культур Южного Урала, которые датируются от конца III тыс. до н. э. (хронология их в дальнейшем будет разбираться более подробно). Особенностью синташтинской металлургии является то, что ее остатки обнаружены на всех памятниках этой культуры. В Северной Евразии это самая ранняя культура с обилием следов металлургического производства. К наиболее распространенным находкам относятся шлаки и руды, но известно и множество металлургических печей. Однако на ряде поселений (Синташта, Устье) металлургические остатки этого времени сопровождаются остатками последующей петровской культуры. Разделить их возможно лишь с помощью сравнительного анализа. Кроме того, частично эти технологии базируются на синташтинских, и этот анализ отражает динамику развития производства. Поэтому материалы синташтинского и петровского времени Зауралья здесь рассматриваются вместе. Некоторые сопоставления сделаны с отдельными абашевскими памятниками (см. карту, рис. 3-1).

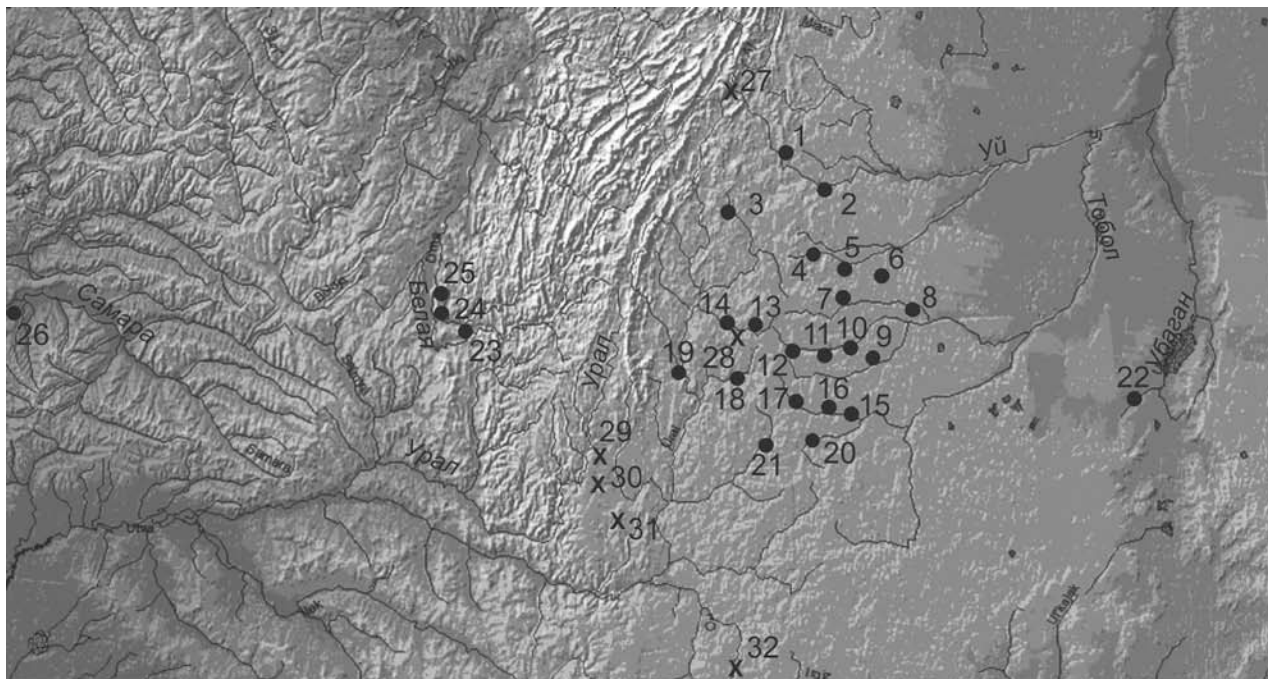


Рис. 3-1. Карта памятников синташтинского времени (● — синташтинские памятники, х — рудники): 1 — Степное, 2 — Черноречье III, 3 — Бахта, 4 — Париж, 5 — Устье, 6 — Чекагай, 7 — Родники, 8 — Исней, 9 — Камысты, 10 — Каменный Амбар, 11 — Журумбай, 12 — Коноплянка, 13 — Сарым-Саклы, 14 — Куйсак, 15 — Андреевское, 16 — Синташта II, 17 — Синташта, 18 — Аркаим, 19 — Кизильское, 20 — Берсуат, 21 — Аландское, 22 — Семиозерки, 23 — Тюбьяк, 24 — Береговское I, 25 — Береговское II, 26 — Утевка, 27 — Таш-Казган, 28 — Воровская Яма, 29 — Ивановское, 30 — Дергамышское, 31 — Ишкининское, 32 — Еленовское

Глава 3. Metallургические печи синташтинской культуры

Основными критериями для соотносимости той или иной конструкции с металлургическим производством служили типологические признаки и обнаружение поблизости шлаков. При этом учитывалось, что в ряде случаев под печи может быть не выражен, а верхняя ее часть может быть полностью разрушена. В ходе экспериментальных проверок было установлено, что печь может складываться из глины или песка с глинистым цементом, которые при разрушении полностью сливаются с культурным слоем поселения. На материке остается лишь прокол небольшой мощности, но характерной формы. Вероятно, далеко не все печи использовались исключительно в металлургических целях. Большинство типов было, по-видимому, полифункционально и служило также для приготовления пищи, обогрева и прочих домашних нужд. Подобные конструкции выявлены практически во всех исследованных жилищах синташтинского времени, где условия фиксации позволяли это сделать.

Все обнаруженные печи были распределены по двум категориям: однокамерные и двухкамерные. Однокамерные печи могут быть углубленными и наземными. Углубленных однокамерных печей было обнаружено в исследованной выборке всего 4. Две из них исследованы на поселении Синташта. Датируются они синташтинским временем, поскольку сопровождалась аналогичным керамическим материалом, но относятся, по-видимому, к поздней фазе существования этого поселения, так как были сооружены в засыпанных колодцах первого строительного горизонта. Вследствие последнего обстоятельства очертания этих печей читались чрезвычайно плохо. Это заставляет относиться к данному типу печей на Синташте с большой осторожностью. Тем не менее, есть основания полагать, что речь идет все же о печах, поскольку на уровне пода одного из этих сооружений выявлен 5-сантиметровый слой прокаленной глиняной обмазки, а в заполнении встречены обгорелые рыбы кости и небольшой кусочек шлака.

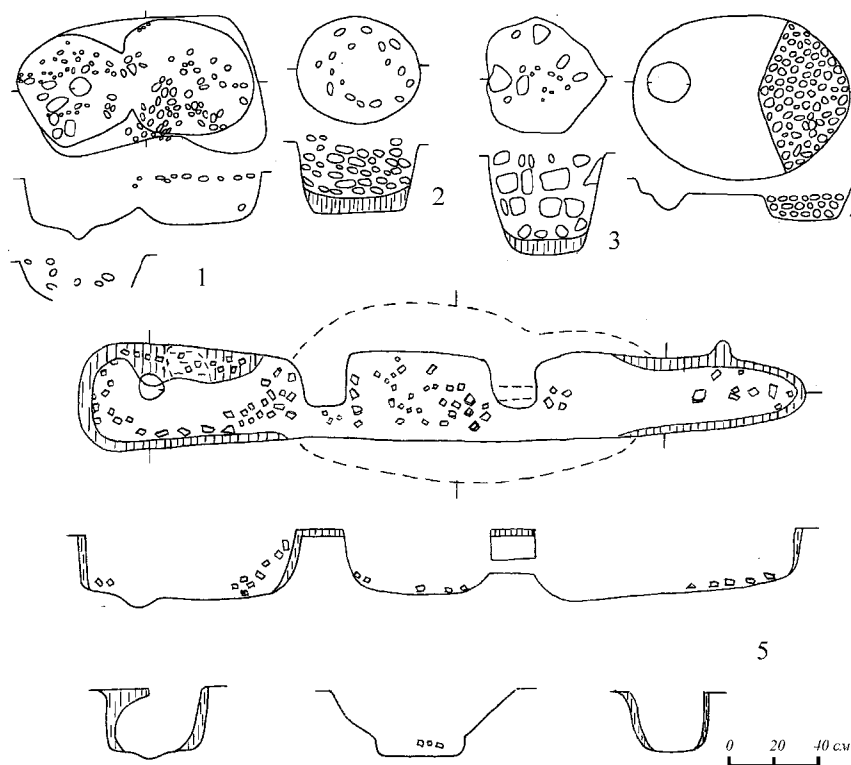


Рис. 3-2. Углубленные (2, 3) и двухкамерные (1, 4, 5) печи поселения Семиозерки

Аналогичные печи зафиксированы на петровском поселении Семиозерки II (Евдокимов, Григорьев, 1996). Это округлые в плане ямы диаметром 0,5 м и глубиной 0,3—0,4 м, с прямыми, слегка сужающимися ко дну стенками (рис. 3-2.2, 3). В заполнении этих печей встречаются небольшие прокаленные глиняные кирпичики прямоугольной формы, а в придонной части — слой прокала. По всей вероятности, из этих кирпичиков был выложен свод печи.

Однокамерные наземные печи были разделены на круглые, траншееобразные и прямоугольные. Под этих печей, как правило, слегка углублен; углубление производилось иногда при строительстве, иногда при подчистках в период функционирования. Однако поскольку большая часть плавильной полости находилась выше уровня пола, эти печи отнесены к наземным.

Самым простым их типом являются круглые купольные печи без дымохода (рис. 3-3.2, 4, 7, 10). Купольная часть этих печей не сохранилась, но на подобный вариант реконструкции указывает ряд обстоятельств. Во-первых, поскольку рядом с этими печами был выявлен металлургический шлак, они не могут быть открытыми очагами.

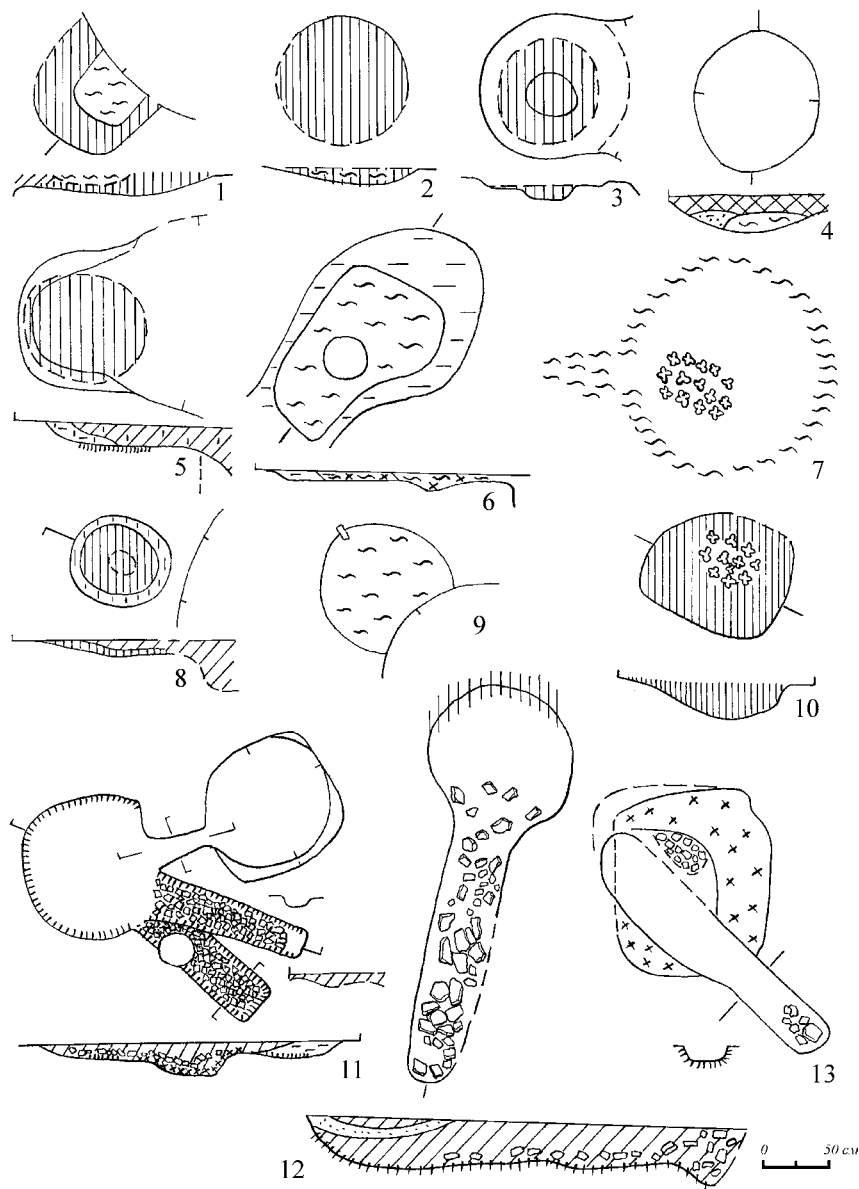


Рис. 3-3. Простые наземные (2, 4, 7, 10) и пристроенные к колодцам (1, 3, 5, 6, 8, 9) и печи с дымоходами (11—13) поселений Аркаим и Синташта

В этом случае, как показали наши экспериментальные исследования, не удается получить высокую температуру и регулировать атмосферу в печи. Плоское же перекрытие возможно соорудить только с помощью каменных плит; последние же ни в одном случае зафиксированы не были. Изредка зачистки оснований печей позволяли выявить горизонтальные концентрические прослойки, образующиеся обычно при разрушении купольных конструкций.

Основания печей на поселениях Аркаим и Синташта имели обычно диаметр 0,7—1 м. Они сохранились хорошо тоже далеко не везде. Как правило, основание фиксируется в виде небольшой выемки в материке или незначительного прокала на полу жилища. Заполнено оно в печах поселения Синташта суглинком различной прокаленности, а на Аркаиме — супесью. В заполнении по периметру печей Аркаима в ряде случаев наблюдаются включения суглинка, но явно недостаточные для того, чтобы говорить о глиняных куполах печных сооружений. Как показала серия экспериментальных работ, печи могли быть сооружены из супеси, образующей материк поселения, с незначительными добавками глины. Всего для синташтинского времени таких печей было выявлено восемь: 5 — на поселении Аркаим и 3 — на поселении Синташта. Одна подобная печь поселения Устье относится к петровскому времени (таб. 3-4).

Таб. 3-4

Распределение металлургических печей по памятникам

печи памятники	однокамерные						углублен- ные	двухка- мерные
	наземные							
	прямо- угольные	круглые				канаво- образные		
		без дымохода		с дымоходом				
	отдельные	у колодца	отдельные	у колодца				
Аркаим	1	5	10	3	9	5		1
Синташта		3	2			1	2	2
Устье		1	10			1		
Семиозерки							2	5
<i>синташтинские памятники</i>								
Аркаим	1	5	10	3	9	5		1
Синташта		3	2				2	
Устье			5					
в %	2,17	17,36	36,89	6,51	19,53	10,85	4,34	2,17
<i>петровские памятники</i>								
Синташта						1		2
Устье		1	5			1		
Семиозерки							2	5
в %	0	5,88	29,4	0	0	11,76	11,76	41,16

Более сложной модификацией печей этого типа являются печи, пристроенные к колодцам. Их было обнаружено двадцать две: 10 — на поселении Аркаим, 2 — на поселении Синташта и 10 — на поселении Устье (рис. 3-3.1, 3, 5, 6, 8, 9). Основное отличие этих печей сводится к тому, что строились они около колодцев и были соединены с последними небольшим перекрытым каналом шириной около 15 см. Некоторые особенности имеют те печи поселения Устье, которые датируются петровским временем. В целом, здесь они продолжают синташтинскую традицию. Отличительной чертой петровских печей является использование при их сооружении мелкого камня, хотя, это может быть локальная особенность данного поселения, не указывающая на общую тенденцию.

На печах этого типа была прослежена еще одна конструктивная особенность, свойственная, вероятно, всем печным сооружениям этого времени. На краю основания одной из печей поселения Аркаим на уровне материка было вмазано глиняное воздуходувное сопло (рис. 3-3.9). Печи на поселении Синташта имеют небольшие канавообразные выступы, служившие, по-видимому, для той же цели (Григорьев, 1996, рис. 2). Эти факты примечательны тем, что они доказывают существование однокамерных мехов. В двух-

камерных мехов сопло монтируется к верхней камере. Поэтому его нельзя разместить так низко без специального углубления под мехи. Неравномерность дутья из однокамерных мехов компенсировалась подачей воздуха из колодца. Последняя была довольно интенсивной. Естественная тяга здесь создавалась за счет перепада температур в печи и колодце. Это предположение получило надежную экспериментальную проверку.

Таким образом, обнаружение воздуходувного сопла, вмонтированного в под одной из печей поселения Аркаим, свидетельствует об использовании синташтинскими металлургами воздуходувных мехов, хотя это и не прямое свидетельство. Но археологически зафиксировать мехи почти невозможно. Так, в Европе данных о меховых мехов нет, но есть на Ближнем Востоке (Tylecote, 1987, p. 115). Но из этого не следует, что в Европе их не было вовсе. На более ранних стадиях металлургического производства нагнетание воздуха осуществлялось иным способом. Прекрасно иллюстрирует этот процесс рельеф гробницы Анк-Ма-Хор в Саккаре, относящейся к периоду пятой династии (2450—2359 гг. до н. э.). На рельефе изображены три металлурга, которые дуют в трубки на тигель в небольшой куче угля. Мехи в Египте появляются только в первой четверти II тыс. до н. э., и были привнесены в страну гиксосами (Zwicker et al., 1992, p. 103, 104). Но отсутствие сопел не свидетельствует о наличии или отсутствии принудительного дутья. Например, в Фейнана, в Палестине, в РБВ, в отличие от РЖВ, нет находок сопел (Hauptmann, 2003, p. 93). Но дутье наверняка было, просто сопла могли не сохраниться.

Другой модификацией купольных синташтинских печей можно считать тип сооружений с горизонтальными дымоходами. Они также могут располагаться как у колодцев, так и автономно. Выявлены были подобные печи лишь на поселении Аркаим (рис. 3-3.11, 12; 3-5.2,3, 9; 3—6). Они состоят из купольной печи и дымохода. Купольная часть мало чем отличается от сооружений, описанных выше. Дымоходы же представляют собой канавки глубиной 10 см, шириной 35 см и длиной 120—180 см. В заполнении фиксируются небольшие обожженные камни. Вероятно, во многих случаях использовались дымоходы наземные, без канавок. Они легче подвергаются разрушению и обнаруживаются лишь по вытянутым скоплениям камней или углистым полоскам на материке. Часто разрушению подвергались сами печи, оплывшие в колодец. Учет этих обстоятельств позволил выявить еще серию печей этого типа.

Ориентированы дымоходы обычно по касательной к колодцам. В одном из хорошо сохранившихся комплексов дымоходное отверстие вплотную примыкало к канавке, соединявшей колодец с печью (рис. 3-3.11). Практическая рациональность такой конструкции была выяснена экспериментальным путем. Если бы дымоход и колодец располагались напротив друг друга, потоки воздуха достаточно быстро проходили бы через центр печи непосредственно в дымоход. При имевшем же месте размещения воздух идет по кругу, способствуя равномерному прогреванию всей полости печи, поддержанию более высокой температуры и образованию монооксида углерода.

Наряду с камнями в дымоходах фиксировался и суглинок. Обычно он располагался выше камней. Это обстоятельство, а также сравнительно незначительное количество камней свидетельствуют о том, что камни служили, скорее, в качестве внутренней облицовки дымохода. Для сооружения глиняного дымохода использовался каркас из сгорающих в процессе работы прутьев, идущих через 20 см. Об этом свидетельствовали отчетливые углистые следы, фиксировавшиеся по стенкам дымоходов.

На конце дымоходы могли иметь кольцо из камней или скопление камней (рис. 3-3.13; 3-5.3). Служили они, вероятно, для поддержания вертикальной части дымохода, изготовленного из более легкого материала, возможно дерева.

Этой металлургической конструкции близки канавообразные или прямоугольные вытянутые печи. На поселении Аркаим они представляли собой канавки длиной 2,2—2,5 м, шириной 0,3—0,5 м, глубиной 0,1—0,2 м. Дно их слегка прокалено, а в заполне-

нии были обнаружены небольшие обожженные камни. В кв. 1В/12 поселения Аркаим углубления под такой конструкцией не было, и она фиксировалась в виде выемки из камней таких же размеров. Аналогичные сооружения были выявлены на поселениях Синташта и Устье (рис. 3-5.5—8, 11). Однако здесь они относятся, возможно, уже к петровско-алакульскому горизонту. Примечательно, что на поселении Синташта такая печь примыкает к колодцу.

По всей вероятности, вышеописанные сооружения — одна из модификаций печей с дымоходами, но печная полость здесь не имела специально оформленной выемки, а купол не сохранился почти нигде. Сооружался он над одним из концов дымохода. В кв. В/18 поселения Аркаим были обнаружены остатки купола в виде скопления глинисто-песчаных блоков (рис. 3-3.13). На наличие купола указывает и более широкое распространение камней в южной части дымохода в кв. 1В/12 поселения Аркаим. У двух перекрывающих одна другую печей в кв. Е/17 (поселение Аркаим) купол надстраивался, вероятно, над более широким концом траншей (рис. 3-5.5).

Особняком среди однокамерных печей стоит одна группа печей поселений Синташта и Аркаим. Это слегка углубленные квадратные сооружения размером 2,1×2,1 м. Под их прокален, заполнение углистое. Металлургических остатков внутри не обнаружено. Вероятно, эти печи служили лишь для обогрева жилищ. Иногда они располагались около входа. В некоторых случаях на поселении Аркаим у входа фиксировалась прокаленность материковой супеси, но каких-то конструктивных деталей проследить не удалось.

Следующая категория — двухкамерные печи. Для исследуемой эпохи их выявлено чрезвычайно мало. Это обстоятельство не позволяет пока провести типологическое чле-

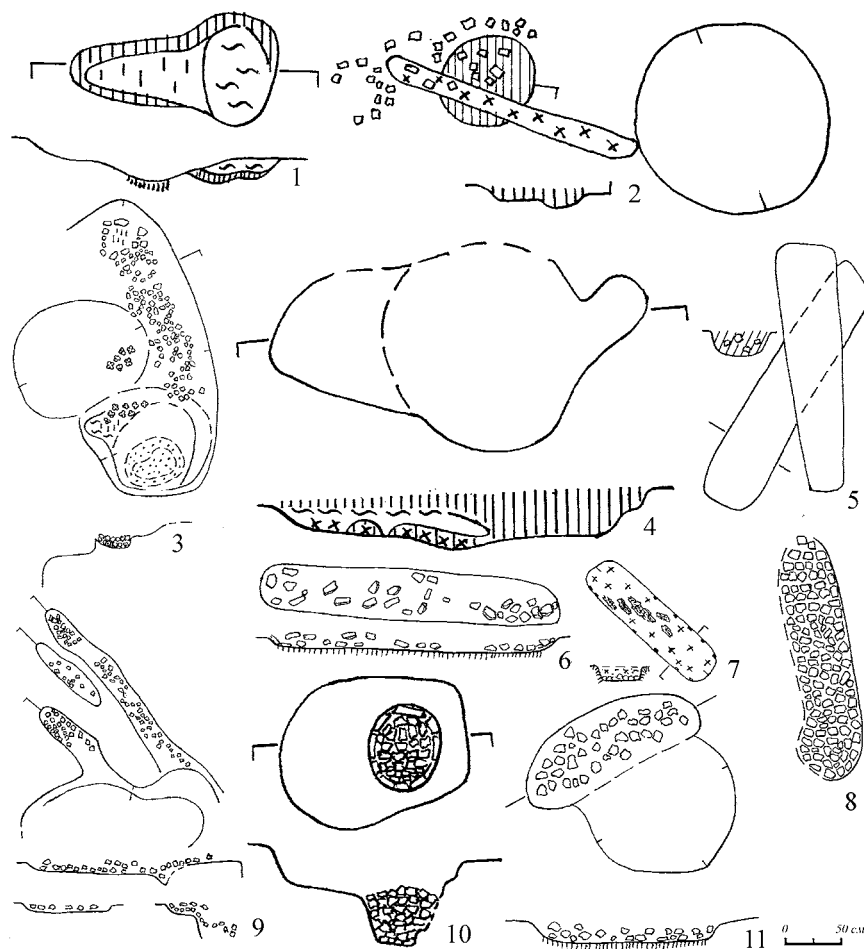


Рис. 3-5. Печи поселений синташтинской культуры

нение внутри категории. Основной характеристикой этих печей является наличие двух камер — плавильной полости и углубления. Наличие последних, возможно, маркирует изобретение двухкамерных мехов, где воздух с помощью нижней камеры нагнетался в верхнюю, а оттуда, благодаря утяжеленной крышке, через выходное отверстие поступал в плавильную полость. Но надежным это предположение не является.

Наиболее ранней подобной печью является печь поселения Аркаим. Она представляла собой близкое к овалу углубление размером $1,6 \times 1,2$ м. Западная его часть была углублена в материк на 35 см. В восточной фиксировалась овальная полость размером 75×55 см и глубиной 38 см, заполненная обожженными камнями. Мехи, таким образом, вероятно, располагались в западной части. В восточной же осуществлялась плавка металла (рис. 3-5.10).

На поселении Синташта было обнаружено две печи подобного типа. Датируются они петровско-алакульским временем. Более точное определение их хронологической позиции затруднительно, поскольку керамика, их сопровождающая, не несет столь ярких черт, которые позволили бы безошибочно отчленить петровский материал от раннеалакульского. Этот материал на поселении, в отличие от синташтинского, никак не расчленяется и стратиграфически. Более же поздняя хронологическая позиция этих сооружений относительно синташтинских комплексов иллюстрируется хотя бы тем обстоятельством, что они перекрывают синташтинские колодцы.

Одна из печей этого типа прослеживалась плохо, поскольку располагалась в верхней части синташтинского колодца (рис. 3-5.4). Конструкцию же другой удалось проследить очень хорошо, хотя она и была расположена выше уровня материка, в слое развала синташтинского жилища (рис. 3-5.1). Плавильная полость печи имела овальную форму и размеры 100×60 см и была углублена на 15 см. Заполнение ее было представлено прокаленным суглинком с включениями золы, мелко дробленых кальцинированных костей, мелких кусочков шлака и медных капель. По дну шел слой прокаленной обмазки мощностью 5 см. К плавильной полости примыкало углубление размером 120×60 см.

Печи этого типа характерны для петровского поселения Семиозерки II (Евдокимов, Григорьев, 1996). Они располагались в углублениях размером $1 \times 0,6$ —1 м, разделенных материковыми выступами на две части — углубление и плавильную полость (рис. 3-2.1, 4). Размеры плавильной полости составляли $0,4 \times 0,5$ м. Одна из печей имела более сложную конструкцию (рис. 3-2.5). В центре ее располагалось углубление, к которому было пристроено две печные полости, имевшие длину 1 м, ширину $0,3$ — $0,4$ м и глубину $0,4$ м. По их стенкам фиксировалась обмазка мощностью $2,5$ — 3 см. В заполнении зафиксированы пережженные косточки.

В заключение этой главы мне хотелось бы остановиться на процессе развития печных сооружений. К сожалению, случаи, когда мы имеем ясную стратиграфическую ситуацию в виде перекрытия конструкции одного типа конструкцией другого, чрезвычайно редки. К тому же они не могут служить доказательством «генетической» преемственности. Следует учитывать также и то, что печи различных типов вполне могли сосуществовать. Поэтому, наряду со стратиграфическими ситуациями, учитывалась связь тех или иных типов с определенным культурным слоем и логика развития теплотехнических сооружений (табл. 3-4; рис. 3-6).

Поскольку прообразом металлургической печи являлся обычный домашний очаг, то логично предположить, что наиболее ранними являются простые купольные наземные печи. Впоследствии их начинают пристраивать к колодцам. Следующий этап — это появление дымоходов и углубление пода печи. Последнее приводит к появлению углубленных печей. В дальнейшем печи с дымоходами преобразуются в канавообразные, а печи без дымохода с изобретением мехов постоянного дутья — в двухкамерные. Однако это

общая тенденция развития, и не факт, что она имела место на Урале, так как возможно привнесение металлургических технологий со стороны, о чем ниже пойдет речь.

Это подкрепляется тем, что уже в синташтинское время известны все типы печей. Однако двухкамерные и углубленные печи встречаются, скорее, как исключение. Основную же массу составляли круглые наземные печи различных типов. В петровское время печи с дымоходами известны в виде более поздней модификации — так называемых канавообразных печей. Зато резко возрастает процент углубленных и двухкамерных печей.

Этим фактам не противоречат и стратиграфические наблюдения. На поселении Аркаим было отмечено перекрытие простой купольной печи дымоходом. На поселении Синташта углубленные печи, хотя и сопровождалась синташтинским материалом, были сделаны в разрушенных синташтинских колодцах, к которым примыкали более ранние наземные печи. В синташтинских же колодцах были сделаны и петровские двухкамерные печи.

Сказанное позволяет выявить динамику развития теплотехнических сооружений исследуемого времени. При этом надо четко отдавать себе отчет в том, что пока, вследствие отсутствия дробного хронологического членения исследуемой эпохи, нижеприводимые выводы могут рассматриваться лишь в качестве гипотезы.

Синташтинское население практически не имеет специализированных металлургических печей. Оно использует полифункциональные печи. Эти сопровождаемые металлургическими остатками сооружения, как правило, являются единственными в жилище. Первоначально это были наземные купольные печи диаметром 0,7—1 м. Воздух в них нагнетался с помощью простых однокамерных мехов. Это мешало равномерности дутья. Важным шагом вперед явилось использование подачи воздуха из колодцев. Печи начали пристраивать к ним, что сделало дутье равномерней и интенсивней. При использовании же печи в бытовых целях обеспечивалась хорошая тяга без разборки части печи. Но в металлургическом производстве эта конструкция выполняла еще одну важную функцию. Как мы уже обсуждали ранее, серьезной проблемой ранних этапов металлургии было создание в печи восстановительной атмосферы. Для того, чтобы этого добиться, воздух должен был проходить через слой угля. Воздух из колодца поступал без давления и шел по кругу вдоль стенок печи, что способствовало генерации восстанавливающего газа, монооксида углерода.

Своеобразным сооружением являются синташтинские дымоходы. При плавке окисленных руд необходимости в дымоходах нет. Горение древесного угля, который использовался в металлургическом производстве, дыма и огня практически не дает, а нагревание руды не приводит к выделению вредных газов. Однако стоит в печь поместить хотя бы незначительное количество сульфидной руды, как вокруг нее начинает распространяться характерный тяжелый запах сернистого газа. Необходимость его удаления и привела к появлению дымоходов.

Специфика конструкции дымоходов была обусловлена, вероятно, тем, что в синташтинское время отсутствовала хорошая техника вертикальной кладки. Поэтому сначала сооружалась горизонтальная часть, проходя по которой газы остывали и параллельно обогревали помещение. Далее же сооружалась вертикальная часть из термически нестойкого материала.

Специализация в металлургическом производстве наметилась, вероятно, к концу существования синташтинской культуры. Первые симптомы этого проявились в появлении канавообразных печей. Основное отличие их от печей с дымоходами сводилось к уменьшению плавильной полости, что позволяло достигать более высоких температур, но ограничивало возможности использовать печь в бытовых целях. Та же задача повышения температуры реализовывалась и при сооружении углубленных печей. Од-

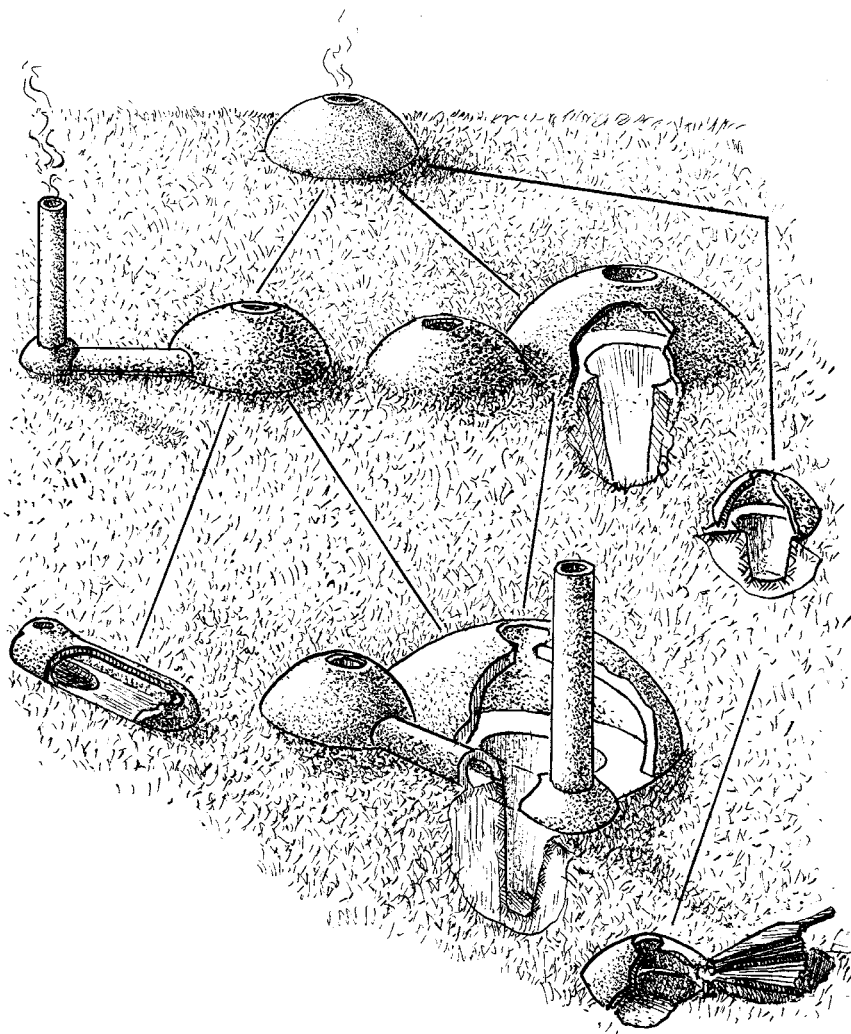


Рис. 3-6. Эволюция металлургических печей

нако оптимальная конструкция была создана, когда возникли двухкамерные мехи, обеспечившие равномерное дутье и достаточно высокие температуры. На синташтинских памятниках подобные конструкции единичны, но уже на петровских они составляют большую часть металлургических сооружений.

Необходимо заметить, что в других регионах в большинстве случаев изученные металлургические печи имеют меньшие размеры. В Индии печи энеолитического времени (II тыс. до н. э.) сравнительно невелики: 35 см в высоту и 18 см в основании, 14 см в средней части (Hegde, Ericson, 1992, p. 64). В Синае и Негеве печи XIV—XI вв. до н. э. обычно имели диаметр около 20 см. Известны, впрочем, и печи диаметром 40—60 см, но для получения необходимой для плавки температуры воздух в них нагнетался с помощью нескольких сопел (Vachmann, 1980, p. 110, 111). В Израиле печи, датируемые XIV—XII вв. до н. э. имели меньший диаметр (30—40 см) и яму для выпуска шлака. Под печи располагался выше углубления для стока шлака. Между подом и углублением оставлялась грунтовая перегородка. Шлак, получаемый в печах этого типа, относится к фаялитовым шлакам (Rothenberg, 1990, p. 4—6, 9, 12, 19, 39, fig. 35, 40; он же, 1992, p. 124, 125, 127). Не исключено, что конструкции этого типа могут быть сопоставимы с некоторыми печами петровского времени, но у нас нет шлака, который выпускался. Большие размеры синташтинских печей можно объяснить, главным образом, их полифункциональностью, в то время как все вышеописанные конструкции относятся к специализированным металлургическим печам.

Простые купольные печи были исследованы в раннебронзовом слое поселения Норшунтепе в Анатолии. Печи периода позднего Урука в Тюллинтепе были тоже куполообразными. Кроме того, печи II тыс. до н. э. поселения Тепечик имели размеры 1,5×0,8 м, что близко наиболее крупным печам синташтинского времени (Müller-Karpe A., 1994, p. 23, 25, 90, 91). Небольшие купольные печи найдены в Гиссаре, в Северо-Восточном Иране (Thornton, Rehren, 2007, p. 315).

Существует довольно много экспериментальных исследований, моделирующих процессы получения меди в древности. В частности, на основании этих исследований предполагается, что условием успешной плавки должен быть сравнительно небольшой диаметр печи (20—40 см) и использование до 6 воздуходувных сопел одновременно. При большем диаметре не удастся добиться проникновения воздуха в центральную часть печи и горения угля (Bamberger, 1992, p. 152, 157). Однако наши эксперименты с конструкциями печей синташтинского типа показали, что даже при большем диаметре печей и с использованием всего одного сопла удается добиться прогрева всей полости печи, с температурным максимумом в центральной его части. В синташтинских печах этому способствовал поддув воздуха из колодца. Печи, не пристроенные к колодцам, обычно несколько меньше, но все же более 40 см. Вероятно, успешным плавкам способствовал правильный подбор размеров угля, что облегчало проникновение воздуха в центр печи.

В большинстве случаев этнографические печи для плавки окисленной медной руды Африканского континента невелики. У племен Венда к югу от Замбези диаметр печей был 45 см, а стенки делали высотой 45 см. Это позволяло получать медь, но, вероятно, потери были достаточно велики. В Ботсване печи XIX в. были овальные, 50—60 см длиной и 40 см шириной при глубине 25 см. Плавил в них тоже малахит при температурах 1200 °С. На обоих концах посещались сопла (Bisson, 2000, p. 101, 102). Вероятно, когда газы проделывали более длительный путь через печь, восстановительная атмосфера формировалась лучше. Не исключено, что и в конце синташтинского времени появление вытянутых печей было вызвано этими причинами.

А. Д. Дегтярева высказывала сомнения в том, что синташтинские печи являлись металлургическими, поскольку прямые факты этого (вмонтированные сопла или шлак в печи) встречаются редко. Но подобные находки редки везде, особенно крупные куски шлака, которые из печи извлекались. Кроме того, почти все синташтинские печи раскапывались без промывки и просева слоя, поэтому мелкий шлак не мог быть обнаружен. Единственная попытка промывать слой на поселении Аркаим привела к обнаружению мелких частиц шлака и меди.

Дегтярева также полагает, что плавка руды и металла с мышьяком во всех жилищах крайне сомнительна, «учитывая высокую степень возгонки окислов мышьяка при плавлении, отжигах и даже по мере остывания сплавов. Летучие окислы мышьяка имеют высокую степень токсичности и весьма ощутимый чесночный запах» (Дегтярева, 2010, с. 79). Однако присутствие шлака во всех жилищах является археологическим фактом, причем, обычно на полах жилищ. Особенность формирования слоя на синташтинских городищах, где в самих жилищах слой не накапливался, и на пол падали уже части стен при разрушении, не позволяет допускать свободную миграцию материала внутри слоя. Случайные попадания для единичных случаев не исключены, но речь идет о закономерностях. И приносить шлак в каждое жилище извне тоже не могли. Следовательно, плавка велась в жилищах. Не следует забывать, что на синташтинских городищах межжилищные пространства отсутствовали.

Как будет показано далее, в плавке принимал участие не просто мышьяк или его минералы, а соединения мышьяка с никелем. Никель в этом сплаве предотвращает улетучивание мышьяка (Рындина и др., 2008, с. 210). Часть мышьяка, безусловно, не была

связана с никелем. Она удалялась через дымоход, но часть, вероятно, попадала и в помещения. Поскольку эти помещения не были производственными, плавки в них велись не постоянно. В случае появления неприятного запаха люди, не вовлеченные в производственный процесс, могли его и покинуть. И ориентировались они именно на запах, а отнюдь не на опасность угрозы здоровью, как современный человек. Вспомним, что Земмельвейс настаивал на необходимости мыть руки перед хирургическими операциями всего лишь 150 лет назад, и поначалу коллеги его осмеивали. Можно представить себе экологическую и гигиеническую грамотность людей бронзового века! И это незнание, конечно, сказывалось на здоровье. Любопытным фактом является то, что антропологические сопоставления синташтинско-потаповских комплексов с иными комплексами Волго-Уралья показывают очень высокий уровень детской смертности и более короткую продолжительность жизни синташтинской популяции. Этому ищутся разные причины: эпидемиологические, социальные (Хохлов, 2010, с. 141—146). Одной из причин могли быть и эпизодические пары мышьяка в помещениях. Так, Нидхэм отмечает, что пары мышьяка вызывают расширение сосудов, это ведет к тошноте, мускульной атрофии, потливости, отекам, утрате аппетита, полиневриту (цит. по Charles, 1980, p. 177). Кардинальное отличие синташтинской популяции от иных популяций эпохи бронзы в том и заключалось, что они проживали в теплых, но плохо проветриваемых помещениях, в которых, к тому же, осуществлялся металлургический цикл. Естественно, это скверно сказывалось на здоровье, особенно там, где легирование производилось мышьяком. Поэтому иногда даже допускается, что замена мышьяка оловом, возможно, произошла не по технологическим, а по медицинским причинам (Muhly, 1976, p. 90). Но отсюда не следует, что плавку меди с мышьяком в жилищах вести не могли, тем более, что подобные плавки установлены не только в Зауралье, но и повсеместно, в Анатолии, например.

Глава 4. Медные руды синташтинских и петровских памятников Зауралья

Одним из наиболее сложных вопросов историко-металлургических исследований является выявление источников, формировавших рудную базу той или иной археологической культуры или поселения. Значительную помощь оказали минералогические определения больших серий руды. Однако работа была чрезвычайно затруднена отсутствием информации по геохимии большинства уральских медных рудников. Поэтому пришлось ограничиться выделением химических групп руды, обнаруженной на памятниках, не пытаясь увязать ее с конкретными месторождениями. Впрочем, следует иметь в виду то обстоятельство, что выделенные группы далеко не всегда будут привязываться впоследствии к различным месторождениям. Их различие может быть обусловлено не только геохимическим фоном региона, где располагался рудник или геологическим типом месторождения, но и глубиной разработки. Так, геохимическая картина одного месторождения может существенно меняться в зависимости от того, с какой глубины получен данный образец. Поэтому я ограничивался констатацией наличия тех или иных групп, не пытаясь определенно говорить об их характере. Кроме того, руда — неоднородный материал, и это может вызвать ситуацию, когда образцы из одного месторождения попадают в различные группы. Поэтому определение для каждого конкретного образца может быть сомнительным, но некоторую дополнительную информацию по общим закономерностям, вычлняемую на статистическом уровне, таким образом можно получить.

Основным методом была обработка результатов спектрального анализа образцов. В выборку было включено 113 образцов (таб. 4-1). Помимо синташтинских и синташтинско-петровских поселений (Синташта, Аркаим, Устье, Ягодный Дол), в выборку были включены образцы с петровских поселений Родники, Петровка, а также с памятников, которые синхронны предшествующей эпохе ранней бронзы: с постэнеолитического поселения Сергеевка в Северном Казахстане, и энеолитического поселения Бурли, ямного памятника Тамар-Уткуль. Кроме того, были проанализированы образцы с некоторых рудников: Таш-Казган, Майлы-Юрт, Усть-Кабанский.

Чтобы избежать ошибок, вызванных неоднородностью материала, были отобраны и измельчены большие пробы руды (приблизительно 3—5 г). На первом этапе были выстроены диаграммы распределения концентраций примесей различных элементов в рудах зауральских памятников (рис. 4-2). Обращает внимание ассиметричная диаграмма серебра, двухвершинные диаграммы никеля, цинка и свинца, трехвершинная — кобальта. Дальнейшая обработка результатов анализа была сделана с помощью Brookhaven Date Handling Programs. Это позволило разделить всю выборку на восемь кластеров (таб. 4-1). Кластеры 1, 2 и 3 очень близки друг к другу и отличаются от иных. Кроме того, кластер 3, имея более низкие концентрации цинка, отличается от кластеров 1 и 2 (рис. 4-3, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7). Но в целом эти кластеры принадлежат одному геохимическому и минералогическому типу. Два последних кластера очень близки, и образцы, включенные в них, возможно, происходят из различных зон одного месторождения. Различие между ними наиболее очевидно на графике Pb—Cr из-за более низких концентраций хрома и более высоких концентраций свинца в образцах кластера 3 (рис. 4-4, 4-6, 4-8). Все образцы этих кластеров были получены на синташтинских поселениях. Исключением является один образец рудника Майлы-Юрт (кластер 1) и один Аркаима (кластер 2), что может быть объяснено аналитической ошибкой. Кластер 3 состоит из образцов рудника Майлы-Юрт и поселения Синташта (таб. 4-10). Поэтому, не исключено, что металлурги поселения Синташта использовали руду этого рудника, хотя этот вывод требует дополнительных исследований другими аналитическими методами.

Таб. 4-1
Спектральный анализ руды зауральских поселений и рудников эпохи средней бронзы и перехода к поздней бронзе (%)

Памятник	Номер	Классификация	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Сингапта	6	8	0.005	0.005	0.15	0.15	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.07	nd	0.0003	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.05	0.01	<0.001	<0.0005	0.002	0.007	0.0005	0.005	0.0005	
Сингапта	45	8	0.0015	0.015	0.002	0.01	0.007	0.1	<0.0005	<0.0003	1	0.2	0.015	0.00003	0.005	0.0015	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.002	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Ровняна	323	8	0.0015	0.0003	<0.001	0.02	<0.001	0.02	<0.0005	0.00015	0.01	0.015	0.0015	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.002	<0.0005	<0.001	0.0001	
Петровка	596	7	0.05	0.002	0.007	0.02	0.0015	0.07	<0.0005	<0.0003	1	0.015	0.03	0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.03	0.0001	0.02	<0.01	<0.001	<0.0005	0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Бурди	597	6	0.0015	0.0005	0.001	0.015	0.001	0.3	0.0005	<0.0003	1	1	0.03	0.0005	0.07	0.015	0.005	0.0015	0.0001	0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.0002	nd	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Тавар-Ултуль	598	7	0.0015	0.0005	0.005	0.02	0.05	0.01	0.5	0.001	0.00015	1	0.01	0.003	0.0015	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.02	<0.001	<0.0005	0.00015	nd	0.001	<0.0001	<0.0001	
Арсыам	713	7	0.01	0.003	0.02	0.05	0.01	0.3	0.002	<0.0003	0.05	0.007	0.003	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.3	0.2	<0.001	<0.0005	0.0003	0.003	0.001	0.002	0.00015	
Арсыам	714	4	0.015	<0.0003	0.005	0.15	<0.001	0.1	0.0005	<0.0003	1	0.3	0.2	0.00005	0.01	<0.003	<0.001	0.001	0.0001	0.07	0.015	<0.001	<0.0005	0.0003	nd	<0.0005	0.005	0.00015	
Арсыам	715	8	0.001	<0.0003	0.005	0.02	0.01	0.3	0.0015	<0.0003	1	0.05	0.002	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.015	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	0.0015	0.005	0.00015	
Арсыам	716	8	0.0015	<0.0003	0.0015	0.15	0.003	0.1	0.0005	<0.0003	1	0.05	0.003	0.0015	0.015	<0.003	<0.001	0.005	0.0001	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	nd	<0.0005	<0.001	0.0001	
Арсыам	717	7	0.1	<0.0003	0.02	0.03	<0.001	0.1	<0.0005	0.0007	1	0.05	0.005	0.01	<0.003	<0.001	0.001	0.001	0.0001	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	0.001	<0.001	<0.0001	
Арсыам	718	5	0.005	0.0007	0.001	0.05	0.005	0.15	<0.0005	0.001	1	1	1	0.01	0.15	0.005	0.007	0.005	0.005	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.0007	nd	0.001	0.007	0.0007	
Арсыам	719	5	0.005	0.0007	0.0015	0.02	0.01	0.03	<0.0005	0.001	1	1	1	0.0015	0.15	0.0015	0.001	0.0015	0.0015	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.0007	nd	0.001	0.001	0.00015	
Арсыам	720	8	0.005	<0.0003	0.005	0.03	0.01	0.07	0.001	0.00015	1	0.02	0.02	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	<0.01	<0.01	<0.001	0.0005	0.00007	nd	0.001	0.001	<0.0001	
Арсыам	721	8	0.001	<0.0003	0.007	0.03	0.003	0.2	0.001	<0.0003	1	0.5	0.02	0.002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.2	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00007	nd	0.001	0.003	<0.0001	
Арсыам	722	2	0.1	0.02	0.0015	0.05	<0.001	0.05	0.0005	0.00015	1	0.15	0.002	0.00015	0	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.03	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.0015	<0.0005	<0.001	0.0001	
Арсыам	723	8	0.005	0.003	0.003	0.2	0.01	0.2	0.0005	0.00015	1	0.15	0.007	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.0001	0.003	0.0015	<0.001	0.00015	
Арсыам	724	5	0.015	0.002	0.002	0.5	0.007	0.07	0.0005	0.001	1	1	1	0.003	0.2	0.005	<0.001	<0.001	0.003	0.02	0.015	<0.001	0.0003	nd	0.001	0.002	0.00015	0.00015	
Арсыам	827	7	0.02	0.005	0.015	0.05	0.015	0.2	0.002	<0.0003	1	0.005	0.0015	<0.0003	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	<0.01	<0.001	0.0005	0.00007	0.007	0.0005	0.003	0.00015	
Сингапта	834	8	0.005	0.007	0.007	0.07	0.015	0.3	0.001	<0.0003	1	0.15	0.0015	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	0.0003	0.007	0.0005	<0.001	<0.0001	
Устье	880	4	0.005	0.0007	0.007	0.3	0.007	0.3	0.001	<0.0003	1	0.15	0.2	0.0005	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	0.0003	0.007	0.0005	0.003	0.003	
Устье	881	4	0.005	0.0007	0.007	0.07	0.015	0.3	0.001	<0.0003	1	0.15	0.2	0.0005	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.001	0.015	0.02	<0.001	<0.0005	0.0003	0.007	0.0005	0.003	0.003
Устье	882	8	0.015	0.03	0.007	0.05	0.015	0.3	0.0015	<0.0003	1	0.03	0.003	0.0001	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.015	0.01	<0.001	<0.0005	0.0002	0.007	0.0005	0.007	0.0003	
Устье	884	6	0.002	<0.0003	0.002	0.015	0.003	0.1	<0.0005	<0.0003	1	0.007	0.015	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	0.0015	nd	0.0005	0.0015	0.00015
Устье	885	8	0.003	<0.0003	0.002	0.02	0.01	0.15	<0.0005	<0.0003	1	0.015	0.02	0.001	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.01	0.015	<0.001	<0.0005	0.0015	nd	0.0005	0.003	0.0015	
Устье	886	8	0.005	0.0003	0.015	0.15	0.015	0.7	0.001	<0.0003	1	0.03	0.005	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	0.0005	0.015	0.001	0.003	0.0001	
Устье	887	6	0.0015	<0.0003	0.002	0.015	<0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	1	0.005	0.03	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	<0.0001	0.01	<0.001	<0.0005	0.00007	nd	0.0005	0.002	0.002	
Сереевка	1108	8	0.01	0.003	0.015	0.3	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.07	0.2	0.0015	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.07	0.01	<0.001	0.0007	0.005	0.001	0.0015	<0.001	0.0015	0.00015
Сереевка	1112	6	0.0015	<0.0003	0.0015	0.05	0.007	0.15	<0.0005	0.0005	1	0.15	0.03	0.0007	0.3	<0.003	<0.001	0.02	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.007	0.0003	<0.001	0.0005	<0.001	<0.0001	<0.0001
Сереевка	1113	6	0.001	<0.0003	0.001	0.015	0.007	0.15	<0.0005	0.0005	1	0.1	0.02	0.003	0.2	<0.003	<0.001	0.05	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.005	0.00007	<0.001	0.0005	<0.001	<0.0001	<0.0001
Сингапта	1127	2	0.02	0.07	0.015	0.1	0.003	0.15	0.0005	0.0005	1	0.3	0.003	0.0003	0.005	<0.003	0.001	<0.001	0.0001	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	<0.001	0.0005	<0.001	<0.0001	<0.0001
Сингапта	1128	2	0.1	0.05	0.02	0.15	0.007	0.07	0.005	0.0003	1	0.15	0.0015	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	<0.001	0.0005	<0.001	<0.0001	0.0001
Сингапта	1129	2	0.1	0.03	0.01	0.02	0.0015	0.01	<0.0005	0.00015	0.5	0.1	0.0015	0.0002	0.0005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	<0.01	0.01	<0.001	0.0003	<0.0003	<0.001	0.0005	<0.001	0.0001	0.0001
Сингапта	1130	7	0.007	0.015	0.07	0.07	0.01	0.2	<0.0005	0.01	1	0.15	0.03	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.3	0.01	<0.001	0.0005	0.00005	0.007	0.0015	<0.001	<0.0001	<0.0001
Сингапта	1131	6	0.001	0.0003	0.007	0.03	<0.001	0.07	0.0005	<0.0003	1	0.02	0.003	0.003	0.003	<0.003	<0.001	0.015	0.00015	<0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	nd	0.0005	<0.001	<0.0001	<0.0001
Таш-Казган	1136	8	0.0015	0.0003	0.003	0.005	0.005	0.3	0.0005	<0.0003	1	0.007	0.002	0.00015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	<0.01	0.03	0.001	<0.0005	0.00003	0.01	0.0015	<0.001	<0.0001	<0.0001
Таш-Казган	1138	6	0.003	0.0003	0.005	0.015	0.007	0.15	<0.0005	<0.0003	1	0.02	0.005	0.003	1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.01	0.01	<0.001	0.0003	0.00007	0.007	0.0005	0.001	<0.0001	<0.0001
Таш-Казган	1139	6	0.0015	<0.0003	0.007	0.03	0.0015	0.15	0.0005	0.0003	1	0.01	0.005	0.003	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	3	0.15	<0.001	<0.0005	0.00015	0.007	0.001	<0.001	<0.0001	<0.0001
Майлы-Юрт	1170	3	0.05	0.015	0.003	0.03	<0.001	0.03	<0.0005	<0.0003	1	0.01	0.003	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.0001	<0.0001
Майлы-Юрт	1171	3	0.15	0.02	0.015	0.03	0.0015	0.03	<0.0005	<0.0003	1	0.01	0.0003	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001										

Окончание Таб. 4-1

Памятник	Номер	Клас-тер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Сингашта	1208	1	0,07	0,01	0,07	0,03	0,003	0,03	0,0005	<0,0003	1	0,1	0,001	0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1209	1	0,2	0,015	0,05	0,007	0,015	0,001	0,0005	0,00015	1	0,2	0,0007	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1210	1	0,2	0,02	0,03	0,07	0,003	0,02	0,0005	0,00015	1	0,2	0,0007	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1211	2	0,05	0,015	0,01	0,02	0,003	0,1	0,0005	0,00015	1	0,3	0,005	0,0001	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	<0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1212	1	0,15	0,02	0,03	0,1	0,0015	0,05	<0,0005	0,00015	1	0,1	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1213	1	0,15	0,02	0,03	0,1	0,003	0,03	0,0005	0,00015	1	0,15	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1214	1	0,15	0,015	0,03	0,3	0,003	0,03	0,0005	0,00015	1	0,15	0,0007	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,001	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1215	8	0,02	0,01	0,005	0,15	0,015	0,15	0,0005	0,00015	1	0,3	0,02	0,0002	<0,003	<0,001	0,003	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,001	0,0015	0,00007	0,003	0,001	0,0015	0,0001	
Сингашта	1216	7	0,01	0,0015	0,02	0,1	0,05	0,15	0,0015	<0,0003	1	0,007	0,005	0,0015	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,002	0,07	<0,001	0,0003	0,0002	0,003	0,0005	0,003	0,0002	
Сингашта	1217	8	0,005	0,0015	0,002	0,1	0,01	0,05	<0,0005	<0,0003	1	0,1	0,0015	0,00005	0,00005	0,001	<0,003	<0,001	0,0003	0,002	0,015	0,01	<0,001	0,0003	0,0003	0,0005	0,0015	0,0001	
Сингашта	1218	8	0,005	0,003	0,005	0,07	0,005	0,07	<0,0005	0,00015	1	0,3	0,002	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	<0,01	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1219	0,1	0,015	0,05	0,1	0,0015	0,03	<0,0005	<0,0003	1	0,3	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1220	1	0,1	0,015	0,05	0,2	0,003	0,05	0,0005	0,00015	1	0,3	0,0007	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	nd	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1221	8	0,015	0,007	0,015	0,2	0,007	0,1	0,001	0,00015	1	0,3	0,0015	0,0002	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1222	1	0,2	0,02	0,05	0,3	0,003	0,05	<0,0005	0,00015	1	0,3	0,0007	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	<0,01	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1223	1	0,15	0,015	0,05	0,07	0,0015	0,03	0,0005	0,00015	1	0,15	0,0007	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1224	1	0,15	0,02	0,07	0,15	0,003	0,03	<0,0005	0,00015	1	0,3	0,0015	0,00007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1225	1	0,07	0,02	0,07	0,07	0,007	0,1	0,0005	0,00015	1	0,2	0,001	0,00007	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1226	1	0,1	0,02	0,1	0,05	0,0015	0,03	<0,0005	0,00015	1	0,5	0,0007	0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1227	1	0,15	0,01	0,05	0,07	0,0015	0,05	0,0005	0,00015	1	0,2	0,0005	0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1228	1	0,2	0,02	0,03	0,07	0,0015	0,05	<0,0005	0,00015	1	0,2	0,0007	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1229	1	0,1	0,015	0,03	0,15	0,005	0,03	0,0005	0,00015	1	0,1	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1230	1	0,15	0,02	0,02	0,07	0,003	0,02	0,0005	0,00015	1	0,3	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1231	1	0,1	0,015	0,02	0,15	0,005	0,05	0,0005	0,00015	1	0,2	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,015	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001
Сингашта	1232	1	0,1	0,015	0,02	0,03	0,005	0,015	<0,0005	0,00015	1	0,2	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	0,003	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1233	1	0,3	0,03	0,1	0,05	0,005	0,015	<0,0005	0,0003	1	0,2	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	0,003	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1234	3	0,15	0,03	0,015	0,07	0,003	0,05	<0,0005	0,00015	1	0,02	0,0015	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1235	3	0,07	0,007	0,015	0,1	0,003	0,015	0,0005	0,0003	1	0,02	0,0015	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1236	1	0,1	0,007	0,1	0,03	0,005	0,015	<0,0005	0,00015	1	0,1	0,0005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1237	1	0,3	0,1	0,15	0,3	0,005	0,015	<0,0005	0,00015	1	0,1	0,001	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1238	3	0,15	0,02	0,02	0,1	0,0015	0,07	<0,0005	0,0003	1	0,02	0,0015	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Сингашта	1239	7	0,07	0,02	0,015	0,07	0,003	0,1	<0,0005	0,0003	1	0,02	0,0015	0,0015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	<0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	
Усть-Кабанский	1357	8	0,003	0,001	0,002	0,03	0,015	0,3	0,0005	<0,0003	0,7	nd	0,0015	0,001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	0,1	0,015	<0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,0015	0,0015	0,00015	
Устье	1358	8	0,002	0,002	0,007	1	0,01	0,3	0,0005	<0,0003	1	0,07	0,003	0,00003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,001	0,015	<0,001	<0,0005	0,0005	nd	<0,0005	0,0015	0,0001	
Устье	1359	4	0,007	0,005	0,015	1	0,02	0,7	0,001	<0,0003	1	0,15	0,5	0,002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,15	0,015	<0,001	<0,0005	0,001	nd	0,001	0,01	0,001	
Устье	1360	4	0,003	0,0015	0,01	0,2	0,01	0,3	0,001	<0,0003	1	0,2	0,05	0,0005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,02	0,01	<0,001	<0,0005	0,0005	nd	<0,0005	0,01	0,0007	
Устье	1361	4	0,005	0,002	0,01	1	0,015	0,5	0,001	<0,0003	1	0,05	0,05	0,00007	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,15	0,01	<0,001	<0,0005	0,0005	nd	0,0005	0,005	0,0002	
Устье	1362	4	0,005	0,001	0,01	0,07	0,015	0,5	0,001	<0,0003	1	0,05	0,07	0,0001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	1	0,03	<0,001	<0,0005	0,0007	0,01	0,001	0,01	0,00015	
Устье	1363	4	0,005	0,001	0,01	0,3	0,01	0,5	0,001	<0,0003	1	0,15	0,05	0,0002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,1	0,01	<0,001	<0,0005	0,0007	0,007	0,001	0,01	0,00015	
Устье	1364	4	0,005	0,001	0,007	0,07	0,007	0,15	0,0005	<0,0003	1	0,15	0,15	0,0015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,02	0,01	<0,001	<0,0005	0,0015	nd	<0,0005	0,015	0,002	
Устье	1365																												

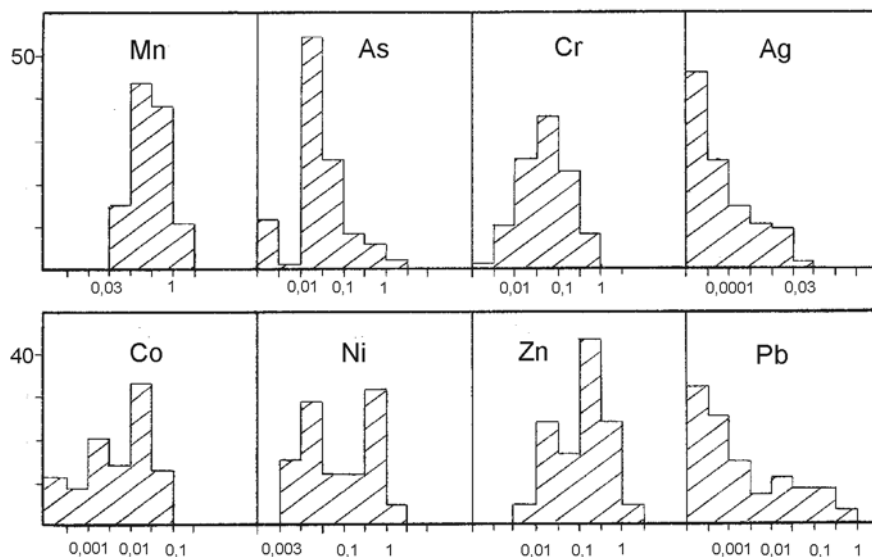


Рис. 4-2. Диаграммы распределения концентраций элементов-примесей в руде (%)

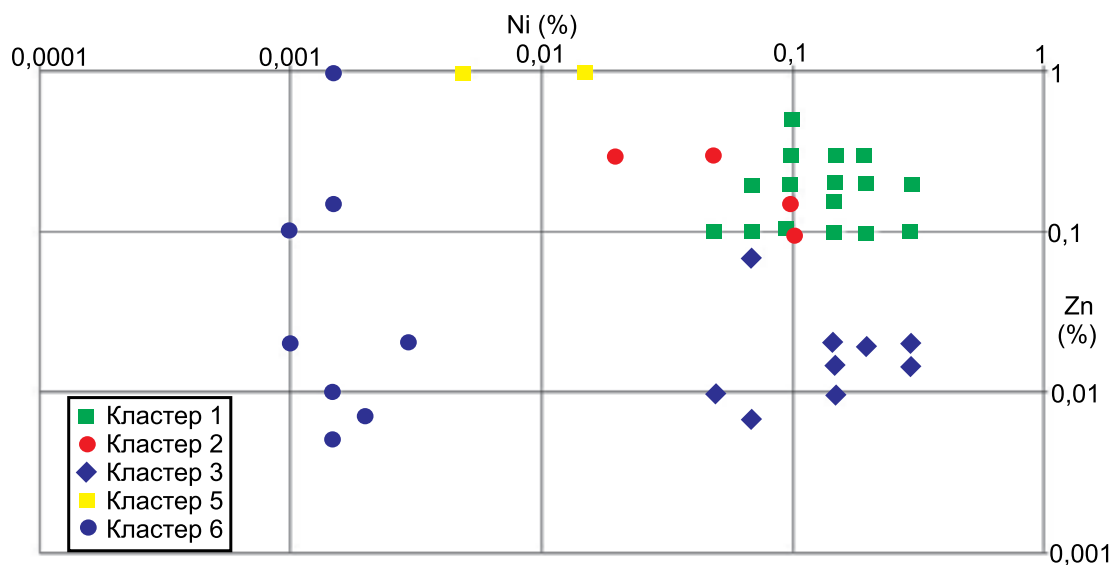


Рис. 4-3. Корреляция концентраций Ni—Zn в руде

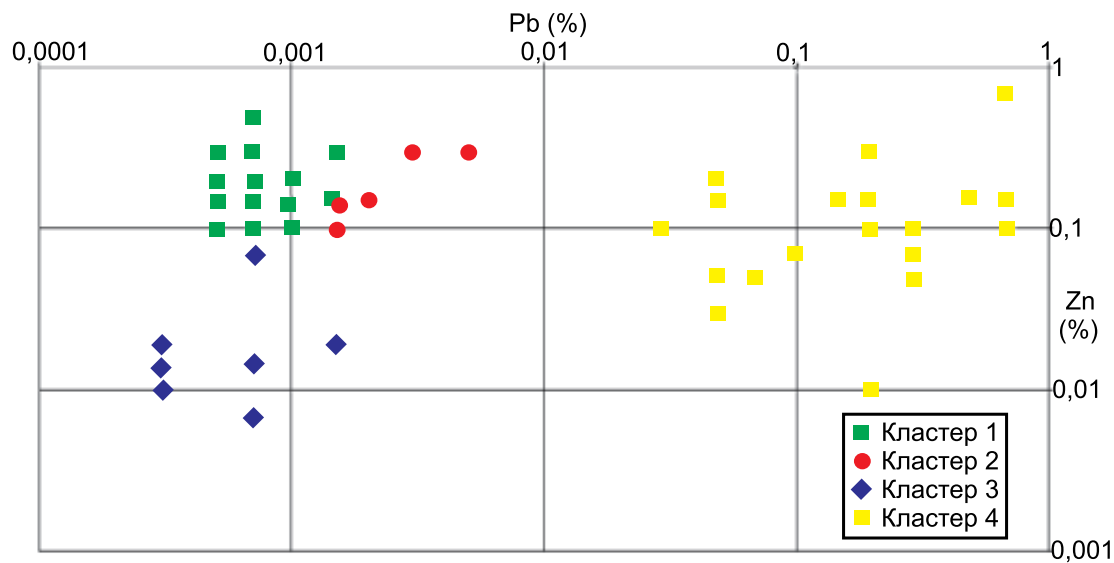


Рис. 4-4. Корреляция концентраций Pb—Zn в руде кластеров 1—4

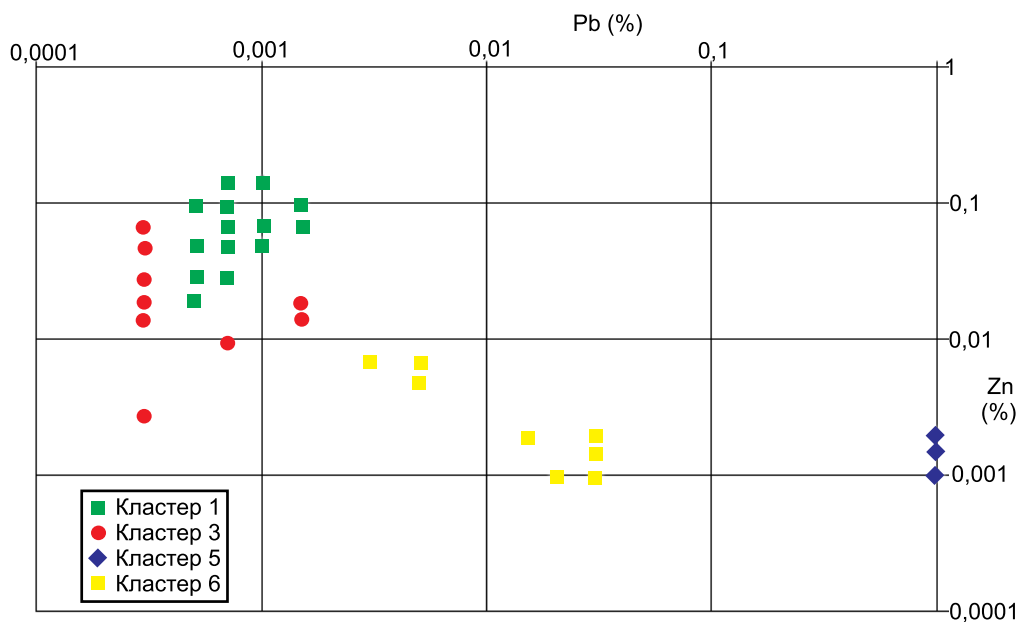


Рис. 4-5. Корреляция концентраций Pb—Zn в руде кластеров 1, 3, 5, 6

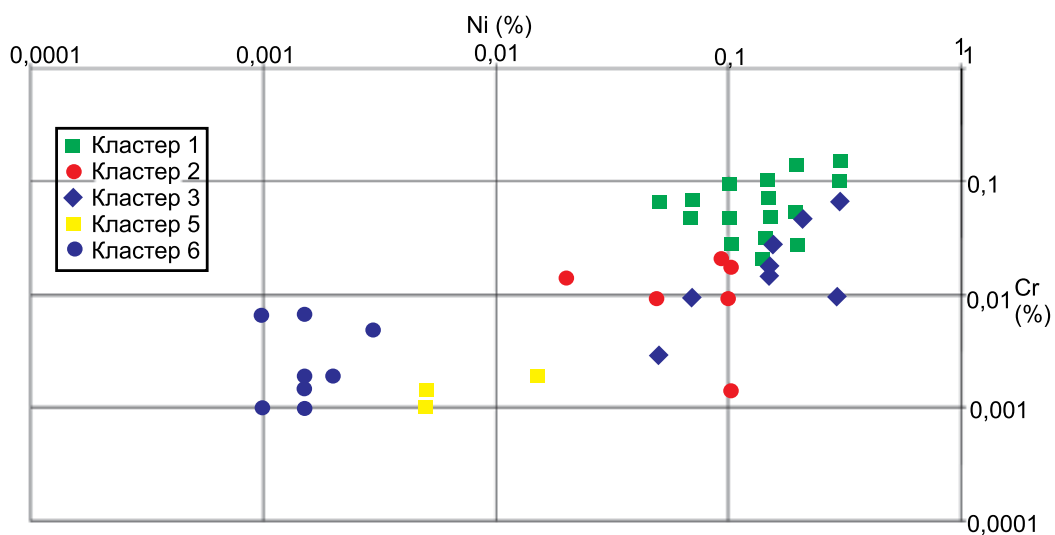


Рис. 4-6. Корреляция концентраций Ni — Cr в руде

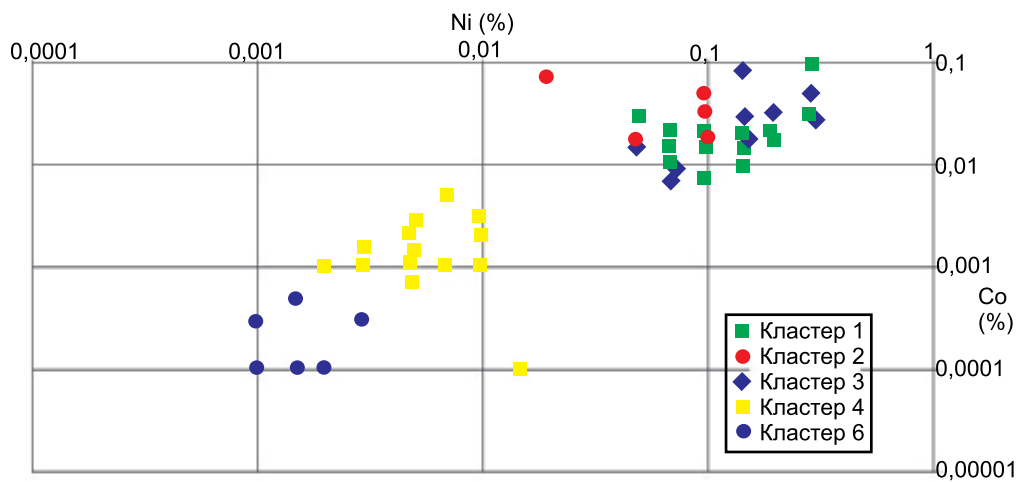


Рис. 4-7. Корреляция концентраций Ni—Co в руде

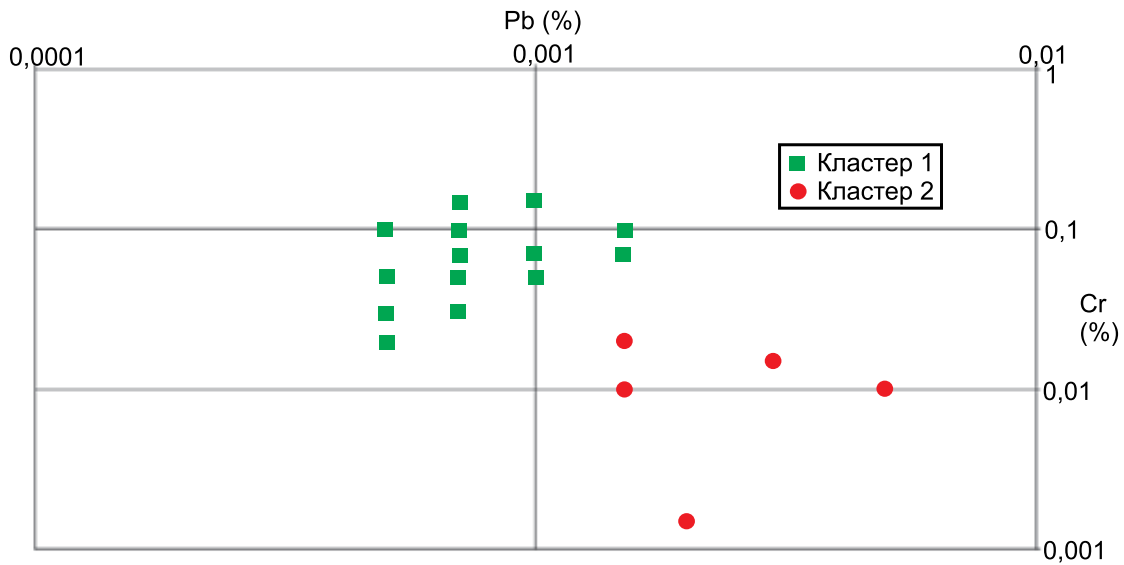


Рис. 4-8. Корреляция концентраций Pb—Cr в руде кластеров 1, 2

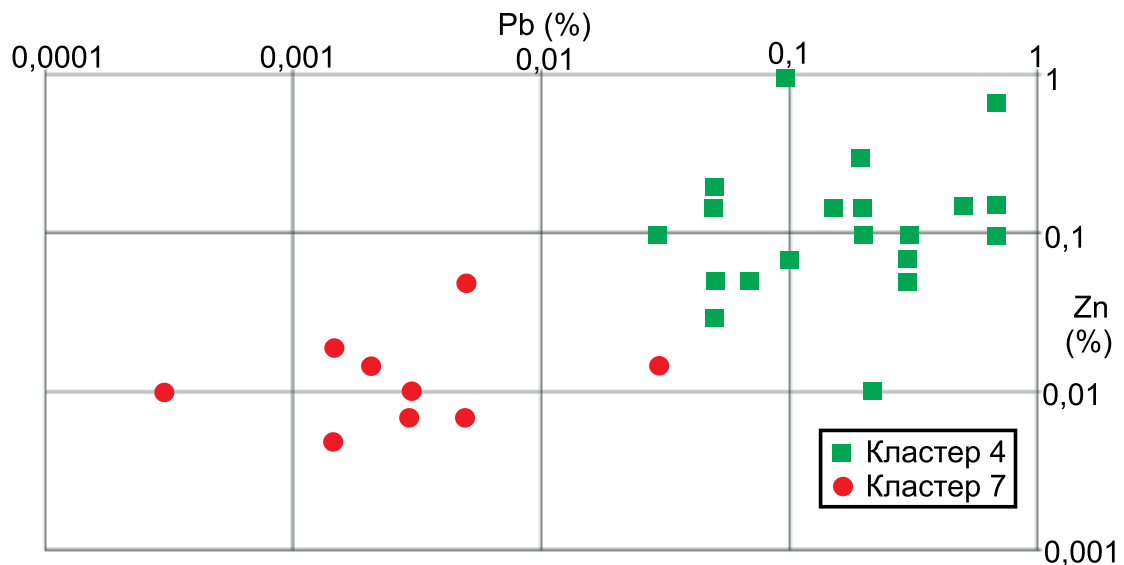


Рис. 4-9. Корреляция концентраций Pb—Zn в руде кластеров 4, 7

Помимо спектрального анализа, были проведены минералогические исследования этих руд. Из них 40 образцов оказались малахитом в серпентините, 3 — в окремнелом серпентините, 1 — в серпентините с малахитовыми прожилками, 3 — в углисто-кремнистых сланцах, 13 — в лимоните, 2 — в лимоните и гидроокислах железа, 1 — в окремнелом лимоните, 1 — азурином в гидроокислах железа. Кроме того, 27 образцов представлены малахитом и 2 — азурином без включений рудовмещающей породы. Поскольку углисто-кремнистые сланцы часто связаны с серпентинизированными ультраосновными породами, к месторождениям в этих породах можно отнести 47 образцов. Другая группа из 20 образцов связана с гидроокислами железа, но они могут развиваться как на месторождении в ультраосновных породах, так и на месторождении любого иного типа. 29 образцов без примесей породы могут тоже относиться к любому месторождению. Тем не менее, даже несмотря на эти оговорки достаточно очевидно, что производство базировалось, прежде всего, на окисленных рудах, и происходили они, преимущественно, из ультраосновных пород.

Таб. 4-10

Распределение кластеров руды по памятникам

Кластеры \ Памятники	1	2	3	4	5	6	7	8
Синташта	25	4	4				5	9
Устье				20		2		8
Аркаим		1		1	3		2	5
Сергеевка						2		1
Бурли						1		
Родники								1
Ягодный Дол								1
Тамар-Уткуль							1	
Петровка							1	
Майлы-Юрт	1		7				1	
Таш-Казган						3		1
Усть-Кобанский								1
Всего	26	5	11	21	3	8	9	27

Корреляция данных спектрального анализа с минералогическими определениями руд показала следующее. Кластер 1 состоит из 23 образцов, представленных малахитом в серпентините и трех образцов малахита в окремнелом серпентините (таб. 4-11). Кластер 2 состоит из образцов, представленных малахитом в серпентините (два образца), малахитом в серпентините с лимонитовыми прожилками (один образец), малахитом с лимонитом и гидроокислами (один образец) и малахитом в лимоните (один образец). Поэтому, как сказано выше, образцы обоих этих кластеров, возможно, происходят из одного месторождения, но образцы, включенные в кластер 2, могли быть добыты из верхнего уровня рудника, что привело к более низкому содержанию хрома и более высоким концентрациям свинца. Все образцы кластера 3 представлены малахитом в серпентините.

Кластер 4, за исключением одного образца из Аркаима, происходит с поселения Устье (таб. 4-10). Кластер отличается высокими концентрациями марганца, свинца, титана и бария (рис. 4-4, 4-7, 4-9). Очень трудно сказать что-нибудь определенное о минералогической природе этого кластера, потому что все образцы представлены маленькими кусочками малахита (17 образцов) и азурита (два образца), малахита в лимоните (один образец) и малахита и азурита в кислом эффузиве (один образец) (таб. 4-11).

Таб. 4-11

Корреляция между химическими кластерами и минералогией руды

Кластеры \ Минералогия	1	2	3	4	5	6	7	8
малахит в серпентините	23	2	11				2	2
малахит в окремнелом серпентините	3							
малахит в серпентините, лимонитовых прожилках		1						
малахит, хлорид, гидроокислы железа							1	2
малахит в углисто-кремнистых сланцах							3	
малахит, лимонит, гидроокислы		1						1
малахит в лимоните		1		1	3	2		6
малахит в окремнелом лимоните								1
азурит, гидроокислы железа								1
малахит				17		1	1	8
азурит				2				

Наиболее интересными для нашей проблемы являются кластеры 5 и 6. Химически они очень близки. Их отличают высокие концентрации мышьяка, и они могли быть связаны с производством мышьяковых бронз. Доля этих образцов во всей выборке незначительна (таб. 4-10). Имеется только 11 таких образцов, или 10% от общего количества. Кроме того, три из них взяты на руднике Таш-Казган, который, по мнению Е. Н. Черных, разрабатывался в этот период и был главным источником для металлического производства синташтинской и абашевской культур.

Образцы кластера 5 представлены малахитом в лимоните и могли быть добыты на месторождении любого типа (таб. 4-11). Образцы содержат очень высокие концентрации цинка, германия, свинца, мышьяка и серебра и низкие концентрации никеля, кобальта и хрома (рис. 4-3, 4-5, 4-6). Все они происходят с поселения Аркаим (таб. 4-10).

Кластер 6 состоит из образцов с рудника Таш-Казган (три образца), поселений Устье (два образца), Бурли (один образец) и Сергеевка (два образца) (таб. 4-10). Этот кластер характеризуется очень низкими концентрациями хрома, никеля и кобальта и относительно высокими концентрациями свинца (за исключением образцов Таш-Казгана¹), мышьяка и серебра (рис. 4-3, 4-5, 4-6, 4-7). Но нет никакой гарантии, что все эти руды были действительно добыты на Таш-Казгане, потому что концентрации мышьяка в образцах Устья низки, а образцы с Бурлей и Сергеевки насыщены цинком, который не типичен для руды Таш-Казгана. Кроме того, рудовмещающей породой на Таш-Казгане является кварц². Образцы с Сергеевки и Бурлей представлены малахитом и малахитом в лимоните, что не позволяет нам судить о характере рудовмещающей породы месторождения. Образцы Устья представлены малахитом в кварце и малахитом в эффузиве (таб. 4-11). Таким образом, вопрос эксплуатации рудника Таш-Казган остается пока открытым, хотя мы можем обсуждать использование руд, обогащенных мышьяком в этом регионе.

Кластер 7 представлен образцами Синташты (малахит в серпентините или углисто-кремнистом сланце, сопровождающем серпентинит) и Аркаима (эпидотплагиоклазовый агрегат и малахит с хлоритом и гидроокисью железа) (таб. 4-10, 4-11). Три образца Майлы-Юрта, Тамар-Уткуля и Петровки попали в этот кластер из-за характерной для руды негомогенности, неравномерного распределения примесей на месторождениях, аналитической или статистической ошибки. Таким образом, мы можем сказать, что эта группа принадлежит серпентинитам или связанным с ними породам.

Кластер 8 объединяет образцы из различных памятников, и с совершенно иной минеральной основой. Это объясняется особенностью использованной статистической программы, которая включает в последний кластер те образцы, которые с трудом могут быть включены в другие кластеры. Поэтому, некоторые из этих образцов могут относиться к другим кластерам, обсуждаемым выше, некоторые к новым кластерам, которые не были выделены программой.

Промежуточные выводы

Таким образом, исследованные рудные материалы были разделены на восемь кластеров. Кластеры 1, 2, 3 и 7 могут быть связаны с месторождениями в серпентините и углисто-кремнистом сланце, сопровождающем его. Эти кластеры характеризуются более высокими концентрациями хрома, никеля и кобальта. Другие кластеры могут быть связаны с любым типом месторождения, хотя некоторые образцы этих кластеров, представленные малахитом в лимоните, могут быть связаны с ультраосновной породой.

¹ Тем не менее, исследование руды сканирующим электронным микроскопом показало присутствие металла, содержащего железо и свинец, в руде Таш-Казгана (таб. 5-4, 5-5, обр. 2179, ан. 1).

² Это может быть подтверждено и анализами руды месторождений Таш-Казган и Никольское на сканирующем электронном микроскопе (таб. 5-4, 5-5, обр. 1980, 2175, 2179).

Содержание мышьяка в руде поселений, как правило, незначительно. Только кластеры 5 и 6 демонстрируют высокие концентрации этого элемента. Кроме того, из них мы можем несомненно связывать с синташтинской металлургией только три образца Аркаима. Основная масса руды является низкомышьяковистой¹.

Большинство руд поселения Синташта было добыто на месторождении в серпентините. Какая-то часть могла быть добыта на руднике Майлы-Юрт. Эти кластеры (1—3), практически, не включают образцы с других памятников. Равным образом, население Устья (кластер 4) и Араима (кластер 5) разрабатывали какое-то месторождение, которое не разрабатывалось населением Синташты. В действительности, некоторые месторождения, вероятно, эксплуатировались горняками различных поселений и, возможно, в различное время: кластер 6 (Устье, Сергеевка, Бурли), кластер 7 (Синташта, Аркаим). Но количество анализов слишком мало, что не позволяет нам говорить об этом с уверенностью. Изучение материалов новых поселений может изменить эту картину. Однако, сегодня мы можем говорить об определенной корреляции между рудами рудников и поселений и о наличии кластеров, характерных для отдельных поселений, что позволяет обсуждать принадлежность рудников определенному населению (таб. 4-10). Кроме того, при всех проблемах спектрального анализа мы видим определенную корреляцию выделенных кластеров с минералогическими характеристиками руд. Поэтому этот метод применим для значительных выборок, хотя его результаты нельзя абсолютизировать. То есть, попадание в один кластер руды с какого-либо поселения и рудника означают близость химического и минералогического типа, но вовсе не значат, что руда привезена на поселение именно с этого рудника.

В целом, обращает на себя внимание одно обстоятельство — предпочтение руд из ультраосновных пород. Дело в том, что это не слишком богатый тип месторождений. В предшествующее время для Волго-Уральского региона известна лишь эксплуатация руд в песчаниках. Это достаточно надежно документируется исследованиями на Каргалинских рудниках или обнаружением руды из медистых песчаников в погребениях (Черных и др., 1999; Черных 2002), менее надежны выводы о принадлежности группы МП исключительно месторождениям в медистых песчаниках, так как спектральный анализ металла не позволяет утверждать это с высокой степенью достоверности. Но, общая химическая картина металла периодов РБВ и СБВ этому не противоречит, поэтому в рамках этой химико-металлургической группы доля металла, полученного при плавке руды этих песчаников, наверняка была достаточно велика. При расширении пределов распространения металлургического производства на восток, где подобные месторождения отсутствовали, переход на новые типы сырья вполне очевиден. Но почему именно на месторождения в ультраосновных породах, имеющих совершенно иной баланс кислотных и основных окислов, что требовало трансформации технологических схем? И почему на такой бедный тип руд при наличии более богатых месторождений?

Следует отметить, что эксплуатация этих руд встречается сравнительно редко. В Северной Евразии она известна, за редким исключением, только на синташтинских памятниках. Достаточно типичным явлением эксплуатация этих руд была в Восточной Анатолии, поскольку такие руды в этом регионе широко распространены (Tylecote, 1981, p. 41; Seeliger et al., 1985, p. 629—631; Palmieri et al., 1993, p. 586). Тот же офиолитовый комплекс имеет продолжение на Кипре, где много серпентинизированных пород, с которыми связаны медные руды (Constantinou, 1982, p. 13).

¹ Этот вывод может быть подтвержден и анализами руды с помощью сканирующего электронного микроскопа, которые не выявили мышьяка в образцах поселений и рудников (таб. 4-5, 5-5). Окисленные руды, использовавшиеся в это время, вообще содержат крайне мало мышьяка.

Глава 5. Минералогический и химический состав шлаков синташтинской культуры

Визуальное описание

Самыми распространенными находками, связанными с металлургическим производством, на поселениях Южного Зауралья синташтинского времени являются шлаки. Они присутствуют на всех участках культурного слоя, однако большая их часть концентрируется в хозяйственной части жилищ, где располагаются печи и колодцы. Отдельные образцы встречаются в могильных ямах.

Количество шлака, обнаруженного в синташтинских жилищах, не слишком велико. Обычно оно колеблется от нескольких фрагментов до 300—1000 г. Однако следует заметить, что количество прочих находок в жилищах тоже не велико и резко отличается от той картины, которую можно наблюдать на поселениях поздней бронзы лесостепной Евразии. Вследствие большой плотности построек мусор с территории поселений выбрасывался. Кроме того, хотя плавки руды и велись во всех жилищах, это были все же жилища, а не специализированные мастерские.

Визуально шлак можно разбить на две группы. К первой относятся округлые, реже подпрямоугольные шлаковые лепешки диаметром 10—17 см (рис. 5-1.7—11). Все образцы представлены фрагментами, так как лепешки разбивались после остывания печи, чтобы освободить заключенный в них металл. Края лепешек имеют обычно валиковое утолщение, закругляющееся внутрь. Шлак этот плотен и тяжел. Цвет варьирует от темно-бурого до темно-серого, причем последний встречается значительно чаще. Верхняя поверхность шлака гладкая, неровная, стекловидная. Иногда на ней видны отпечатки, оставленные древесным углем. Нижняя поверхность ровная и насыщена мелкими порами. Как правило, она покрыта металлическим блеском. Иногда в ней просматриваются мелкие, выкристаллизовавшиеся из расплава продолговатые кристаллы. Эта поверхность непосредственно соприкасалась с металлом и остывание ее, следовательно, шло более медленно. Отклоняются от этого стандарта лишь несколько образцов, представленных тяжелыми, очень тонкими, плотными шлаковыми пластинами черного цвета (рис. 5-1.4, 5).

Иногда эта стекловидность верхней поверхности синташтинских шлаковых лепешек ввергает в заблуждение. Предполагается, что такая текстура поверхности обусловлена очень быстрым остыванием, и вызвано это тем, что шлак остужали водой (Hanks, Doonan, 2009, p. 347). Такое же мнение высказывалось относительно некоторых энеолитических шлаков Франции, на этот раз, по причине слабой кристаллизации (Mille, Carozza, 2009, p. 159, 163). Но это не подтверждается нашим анализом шлака. Кроме того, если вылить воду в нагретую печь, за счет мгновенного испарения произойдет разрушение обмазки и, возможно, частично печи. Поэтому это не ускорит процесс, а существенно затормозит его.

Во вторую группу входят бесформенные комочки шлака (рис. 5-1.1—3,6). Покрыты они всегда тонкой оплавленной коркой. Внутренняя же их часть очень различается по весу и пористости. Встречаются образцы, которые пор почти не содержат, но есть и перенасыщенные ими.

Образование шлаковых лепешек связано, в первую очередь, с тем, что шлак этот был более жидкотекучим. Среди всего просмотренного материала он составляет 62,5% (таб. 5-2; 5-3). На чисто синташтинских памятниках процент его несколько выше (73%). На памятниках петровских подобного шлака содержится лишь 38%. Эта закономерность проявляется и на памятниках, содержащих как синташтинские, так и петровские слои. На них лепешкообразные шлаки составляют 70%, что несколько меньше, чем на однослойных синташтинских поселениях. Причины этого явления были выяснены с помощью минералогического анализа образцов.

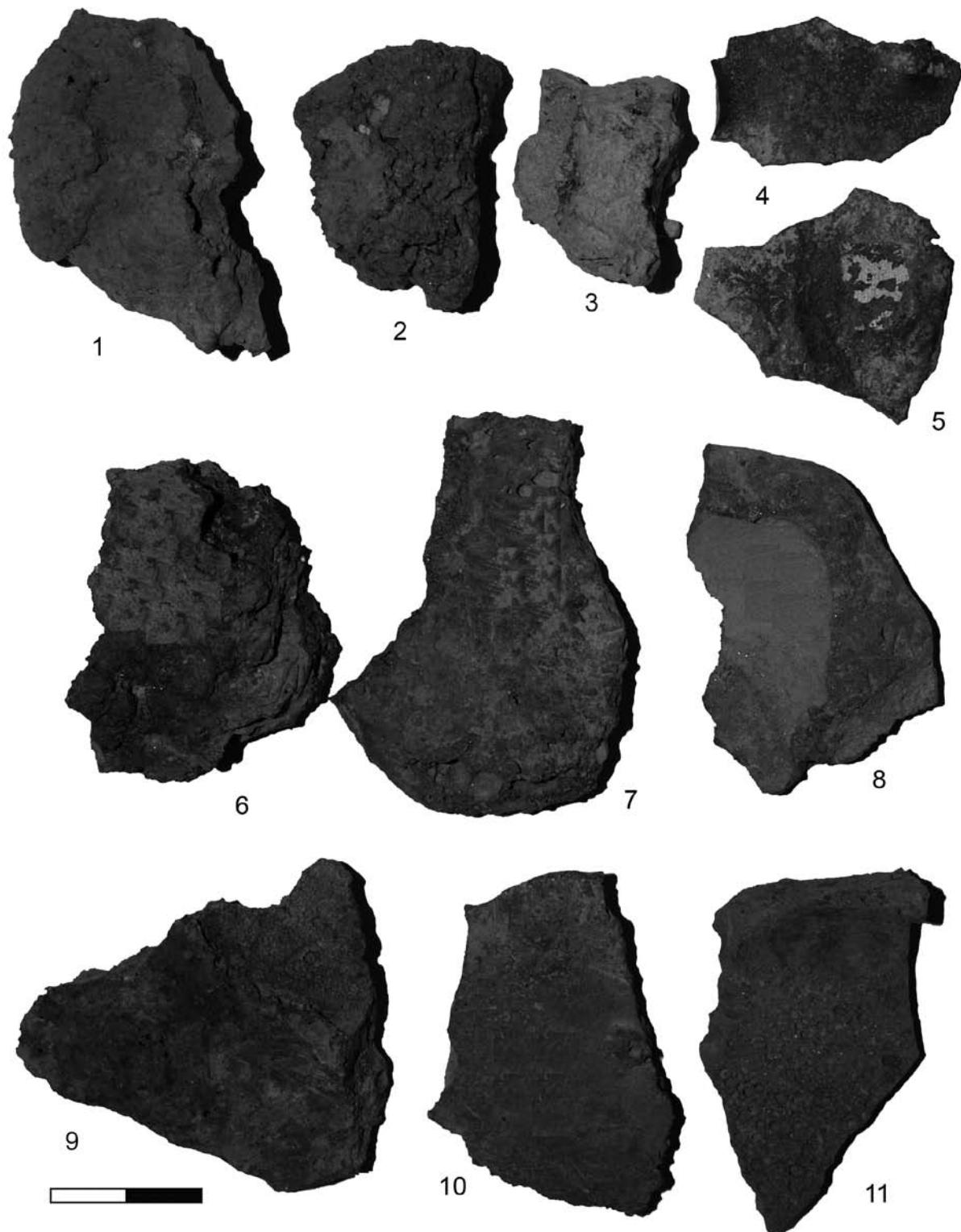


Рис. 5-1. Шлаки поселения Синташта: 1—3, 6 — бесформенные шлаки; 4, 5 — тонкие шлаковые лепешки; 7—11 — шлаковые лепешки

Таб. 5-2

Распределение лепешкообразных и бесформенных шлаков по поселениям Зауралья

Памятники	Шлаки	
	лепешкообразные	бесформенные
Аркаим	44	18
Синташта	29	15
Устье	39	14
Кривое Озеро	4	—
Вишневка	1	—
Петровка	1	—
Новоникольское	1	—
Ольгино	3	—
Бурли	—	1
Семиозерки II	4	7
Конезавод	1	—
Сакрын-Сакла	1	—
Аландское	1	—
Сергеевка	—	2
Ягодный Дол	1	—
Родники	2	—
Синташта XIII	—	6
Таш-Казган	—	4
Малокизильское	—	2
Утевка VI	2	—

Таб. 5-3

Распределение лепешкообразных и бесформенных шлаков по культурным группам

Культурные группы	Шлаки	
	лепешкообразные	бесформенные
Синташтинская	54 73%	20 27%
Петровская	8 38%	13 62%
Синташтинско-петровская	70 70%	30 30%
Прочие	0 0%	7 100%
Всего	140 62,5%	84 37,5%

Необходимо отметить, что форма синташтинских лепешкообразных шлаков для Северной Евразии уникальна. Среди значительного количества шлака эпохи поздней бронзы подобный шлак почти не известен (за исключением нескольких более поздних образцов раннесрубного времени). Вместе с тем, такой шлак был получен при раскопках поселений в Восточной Анатолии, Северном Ираке и Иране. Идентичные по форме шлаки были обнаружены на поселениях Невали Чори, Моргул, Шахри-Сохта, Чайоню-Тепеси, Тель Хуэйра, Гиссаре. Эти шлаки очень специфичны и четко отличаются, как от ранних энеолитических, так и от более поздних шлаков периода поздней бронзы. Шлаки Невали Чори, датируемые периодом РБВ, имеют вес от 150 до 250 г, что несколько меньше синташтинских. В Мургуле диаметр шлаковых лепешек составлял 15—20 см, толщина — 4—5 см, вес — 1,5—3 кг. Эти шлаки толще и тяжелее синташтинских, что объясняется использованием на этом поселении флюсов, приводивших к увеличению объема шихты. Но в остальном шлак типологически близок синташтинскому. На одной его поверхности фиксируется отпечаток слитка, другая сторона гладкая (Hauptmann u. a., 1993, Abb. 2.3, 4, S. 546— 549; Lutz u.a., 1991, S. 60; Thornton, 2009, p. 316).

Минералогический анализ

В результате минералогического анализа полировок шлака образцы были разбиты на несколько минералогических групп.

Шлаки I минералогической группы

Хромшпинелиды

Диагностирующим признаком для отнесения шлака к первой (I) минералогической группе явилось наличие в его составе зерен хромшпинелида (хромита) (рис. 5-I.5, 6; 5-II.2, 4—6; 5-III.3; 5-IV.1, 5, 6). Содержание его обычно невелико и колеблется в пределах 1—5%. Однако этот минерал указывает на принадлежность исходной руды к ультраосновным породам. Зерна эти достаточно крупные. Часто по краям их фиксируется магнетитовая кайма (рис. 5-II.2), поскольку хромит обычно замещается магнетитом.

Анализ каймы, фиксируемой по краю зерен хромита, с помощью сканирующего электронного микроскопа показал, что она состоит из магнетита с очень невысоким содержанием хрома (рис. 5-VI.3; таб. 5-6, обр. 252, ан. а). Поэтому часть магнетита образуется замещением хромита.

Серпентинит

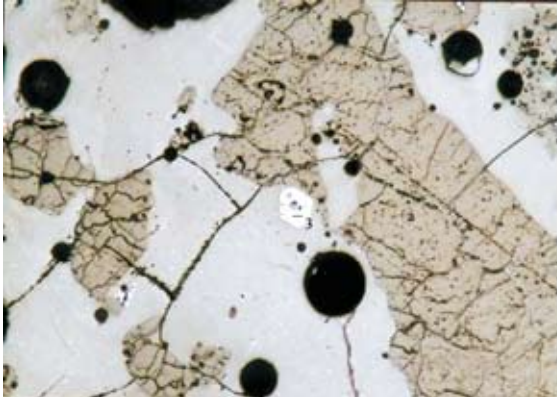
Иногда в шлаке фиксировались распадающиеся зерна серпентинита, в которых, в отдельных случаях, и заключен хромит (рис. 5-I.4—6; 5-II.1, 4, 5; 5-IV.3). Исследование серпентинитов с помощью электронного микроскопа показало, что часто их состав довольно близок к форстериту¹. При этом, во всех образцах содержание магния в породе заметно преобладает над содержанием железа. В образце 680 серпентинит содержал 7% Fe, 17% Mg и был определен как хризолит (оливин) (рис. 5-VI.4; таб. 5-4; 5-5, обр. 680, ан. 2). В образце 751 — 3,1% Fe, 12,8% Mg, что соответствует серпентинитам типа форстерит (рис. 5-VII.2; таб. 5-4; 5-6, обр. 751, ан. 2)². Серпентинит образца 252 (рис. 5-VI.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 252, ан. 1) содержал 5,3% Fe, 26,9% Mg. Это тоже позволяет отнести его к форстериту.

Оливин

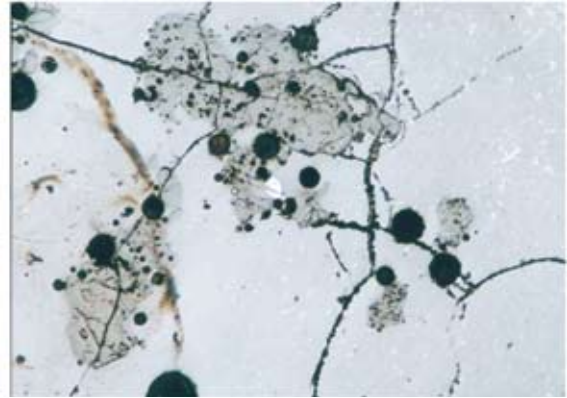
Основным включением в шлаке этой группы являются кристаллы оливина (рис. 5-I-IV). Форма их варьирует от крупных многогранных и удлиненно-призматических до удлиненно-скелетных и игольчатых структур, между которыми заметны прорастающие зародыши оливиновой кристаллизации. Наблюдается тенденция к тому, что мелкие игольчатые и скелетные кристаллы приурочены к верхней поверхности шлаковых лепешек. Связано это с тем, что скорость остывания расплава в этой зоне была выше. Часто крупным кристаллам оливина свойственна зональная структура. Их наружный слой светлее, чем внутренняя часть (рис. 5-II.6; рис. 5-III.3; рис. 5-IV.1). Количество оливина довольно высоко. В большинстве образцов содержание его колеблется в пределах 50—70%, достигая порой до 80%. Лишь в небольшой серии образцов оливин присутствует в количестве 35—45%. Он в них представлен чаще удлиненно-скелетными или игольчатыми кристаллами. Снижение содержания оливина в шлаке ведет к повышению вязкости расплава и, как следствие, к росту потерь металла. Так, при наличии 24% оливина в образце 198 (поселение Устье) в шлаке наблюдается 2,7% содержания металла в виде королек меди и куприта. Возрастают потери меди и в тех случаях, когда оливин представлен удлиненно-скелетными и игольчатыми структурами, маркирующими высокую скорость остывания расплава. Это ведет к тому, что медь попросту не успевает осесть. Оливин в шлаке образуется из ультраосновных пород. На это указывают и включения хромитов.

¹ Приводимые в описании данные, полученные на электронном микроскопе, относятся также и к шлакам II и III минералогических групп. Они собраны вместе, чтобы избежать повторения, а в соответствующих описаниях данных групп будут даны лишь их основные отличия от описываемой группы.

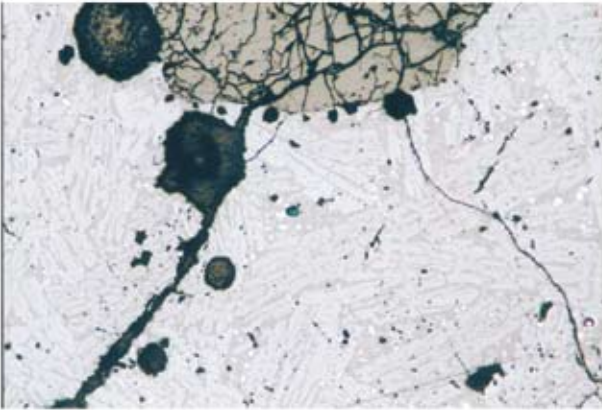
² Данный анализ выявил также высокое содержание As (7,2%). Однако повторный анализ мышьяка не обнаружил, а содержание марганца оказалось выше.



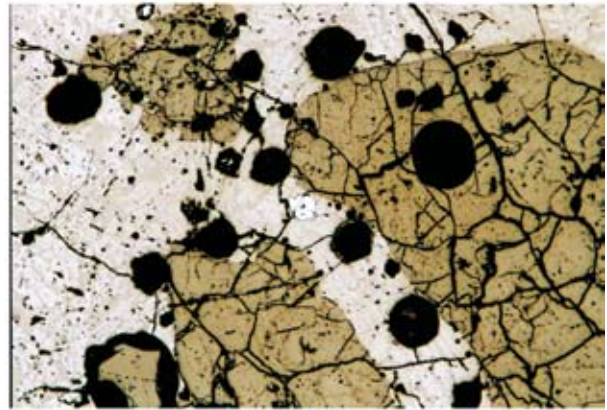
1 — Синташта. Образец 3. Шлак III минералогической группы. В стекле (светло-серое) зерна кварца (темно-серое) и зерно хромшпинелида (белое)



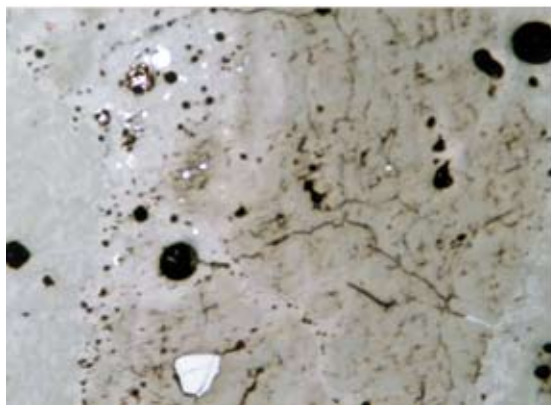
2 — Синташта. Образец 3. Шлак III минералогической группы. В стекле (светло-серое) зерна кварца (темно-серое), зерно хромшпинелида (белое) и мелкая светлая магнетитовая сыпь



3 — Синташта. Образец 173. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое) удлиненно-призматические скелетные кристаллы оливина (светло-серые), крупное зерно кварца (темно-серое), мелкие корольки меди (белое) и черные поры



4 — Синташта. Образец 173. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое) крупные растрескавшиеся зерна серпентинита, мелкие кристаллизующиеся призмы оливина (светло-серые), корольки куприта (светло-голубой в центре снимка) и черные поры

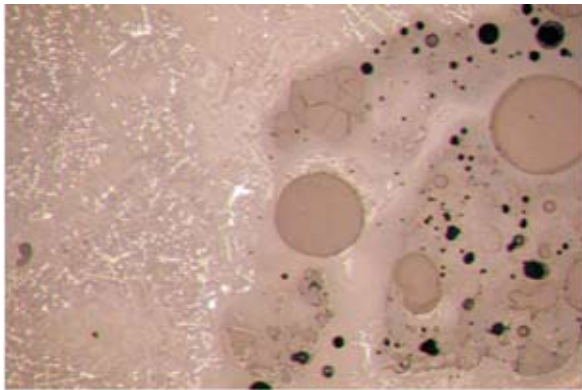


5 — Аркаим. Образец 751. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое поле слева) расплавляющееся зерно серпентинита (темно-серое справа) с включением подтреугольного зерна хромшпинелида (светло-голубое) и черные поры. В стекле у зерна серпентинита присутствует скопление мелких корольков меди (белое)

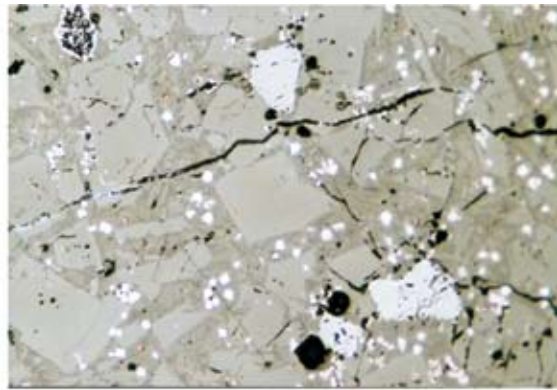


6 — Аркаим. Образец 680. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое поле) крупное зерно серпентинита (голубовато-серое внизу) с включением зерна хромшпинелида (светлое) и черные поры. По краю зерна серпентинита идет формирование кристаллов оливина. Призматические и игольчатые кристаллы оливина хорошо представлено и в стекле

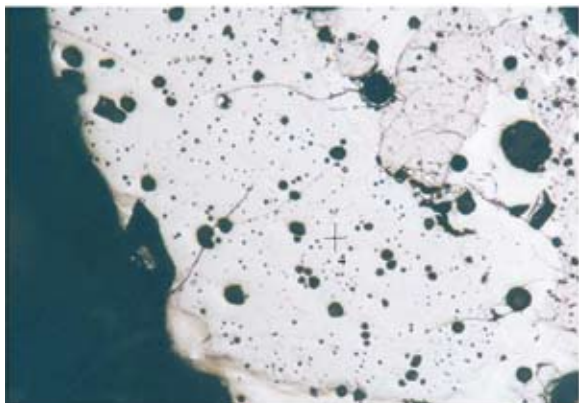
Рис. 5-1. Микроструктуры шлака, оптический микроскоп



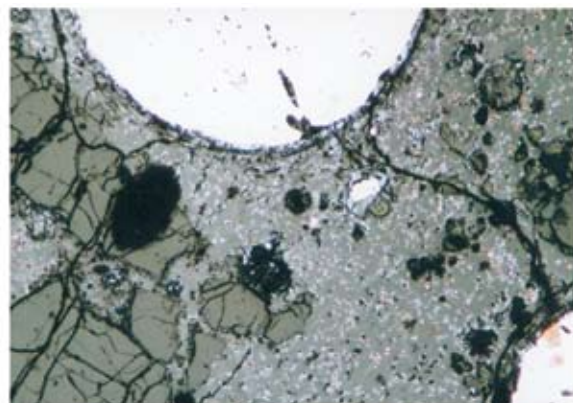
1 — Аркаим. Образец 2. Шлак I минералогической группы. В стекле (матрица) расплавляющееся зерно серпентинита (темно-серые) с включениями частиц и кристаллизующихся скелетов магнетита (светлые включения) и круглые поры



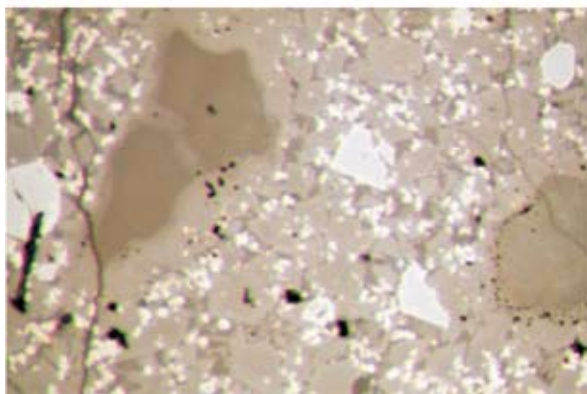
2 — Аркаим. Образец 822. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое) таблитчатые кристаллы оливина (серые), мелкие зерна магнетита (ярко-светлые), зерна хромшпинелида (светло-голубые) и мелкие корольки меди



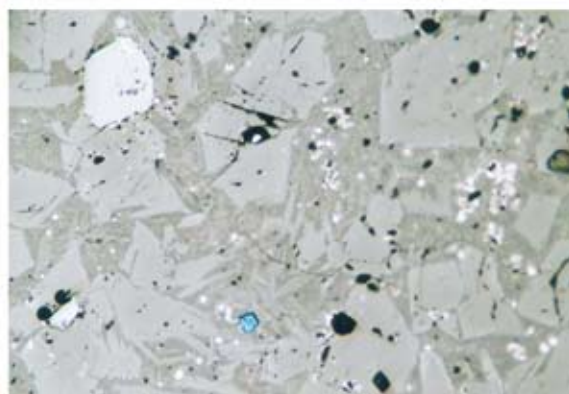
3 — Синташта. Образец 3. Шлак III минералогической группы. В стекле (светло-серое) зерна кварца (серое) и круглые черные поры



4 — Аркаим. Образец 740. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое) крупные зерна серпентинита (темно-серые), мелкие игольчатые кристаллы оливина (серые), мелкие зерна магнетита (ярко-светлые), зерна хромшпинелида (светло-голубые) и крупные корольки меди

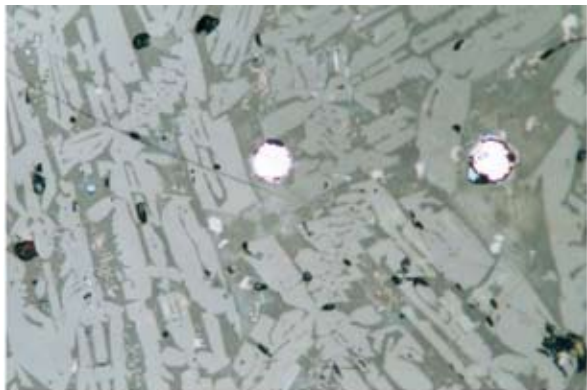


5 — Аркаим. Образец 2. Шлак I минералогической группы. В стекле (матрица) расплавляющиеся зерна серпентинита (темно-серые), плотно расположенные кристаллы оливина, зерна хромшпинелидов (светло-голубые) с белой магнетитовой каймой и частицы магнетита (светлые включения)

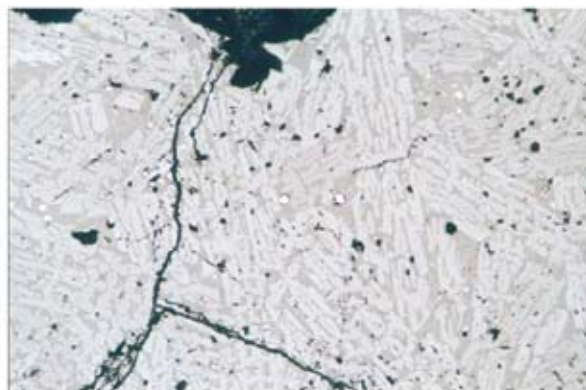


6 — Аркаим. Образец 822. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое) таблитчатые кристаллы оливина (серые), мелкие зерна магнетита (ярко-светлые), зерна хромшпинелида (светло-голубые) и мелкие корольки меди

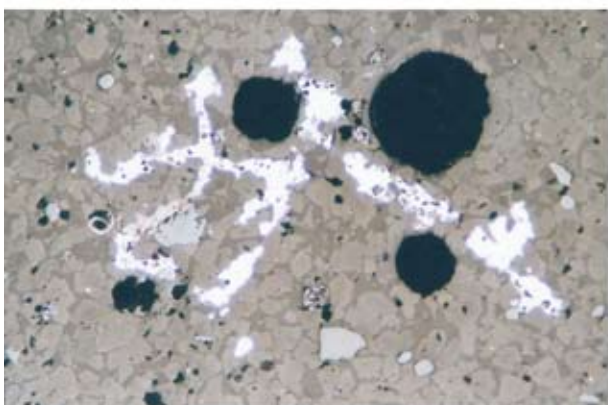
Рис. 5-II. Микроструктуры шлака, оптический микроскоп



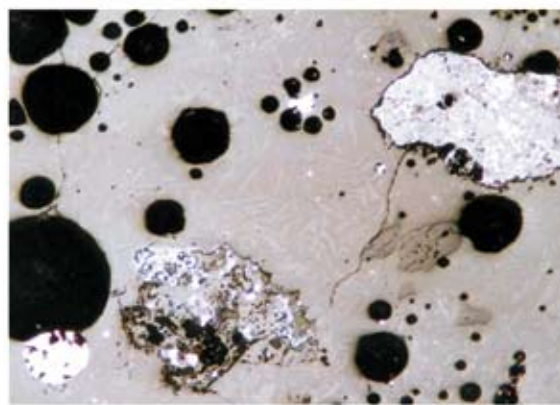
1 — Синташта. Образец 173. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое) кристаллизующиеся призмы и скелеты оливина (серые), мелкие октаэдры магнетита (светло-серые), корольки меди с купритовой каймой, мелкие корольки и частицы куприта (голубые) и черные поры



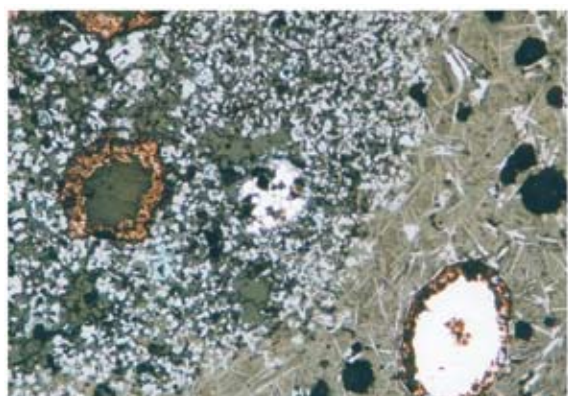
2 — Синташта. Образец 173. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое) кристаллизующиеся скелетные призмы оливина (светло-серые), мелкие корольки меди и крупная черная пора



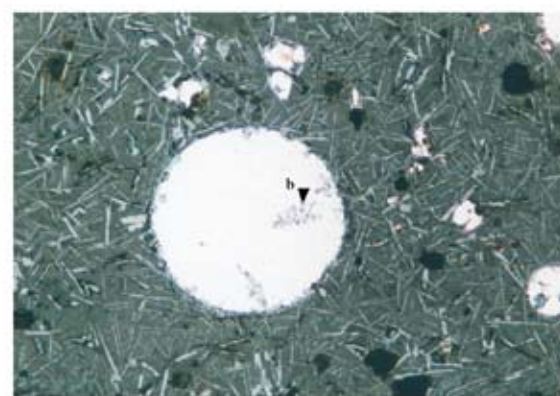
3 — Синташта. Образец 839. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое) таблитчатые и призматические кристаллы оливина (серые), зерна хромшпинелида (серо-голубые), светлая расплавленная металлическая фаза, состоящая из меди, железа и мышьяка



4 — Аркаим. Образец 751. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое поле) мелкие игольчатые кристаллы оливина (серые), корольки меди (светлый внизу слева), расплавляющиеся окисленные рудные тела с включениями металлическими фаз, содержащих железо, медь и мышьяк, круглые черные поры

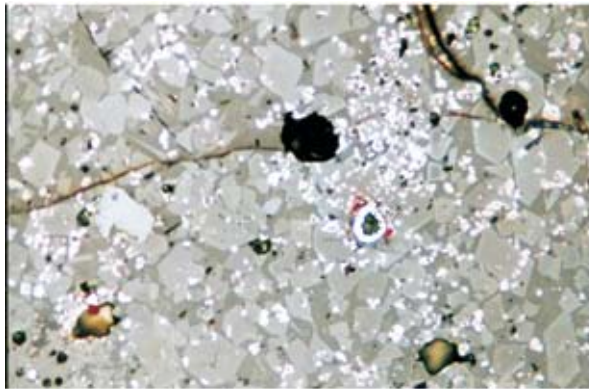


5 — Семиозерки. Образец 221. В левой части распадающееся зерно, состоящее из частиц оксида железа и куприта, с включениями меди. Справа в стекле тонкие иглы дельтафосфита, крупный корольки меди и поры



6 — Семиозерки. Образец 221. В стекле (темно-серое поле) крупный корольки меди с мелкими включениями куприта, мелкие иглы дельтафосфита и частицы куприта

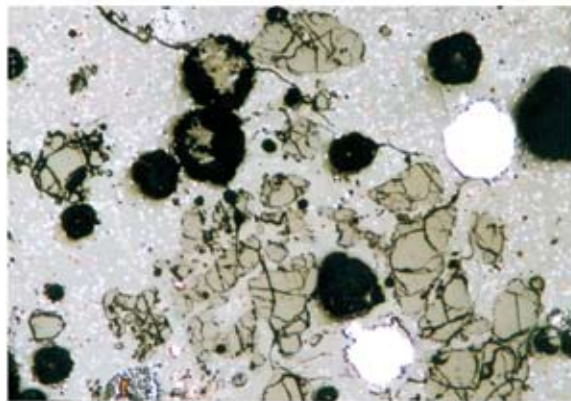
Рис. 5-III. Микроструктуры шлака, оптический микроскоп.



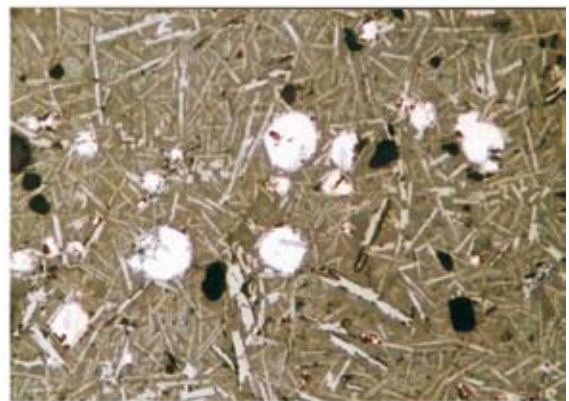
1 — Синташта. Образец 846. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-серое) таблитчатые и призматические кристаллы оливина (серое), зерно хромита (светло-голубое слева), королёк куприта (голубое и красное в центре) и черные поры



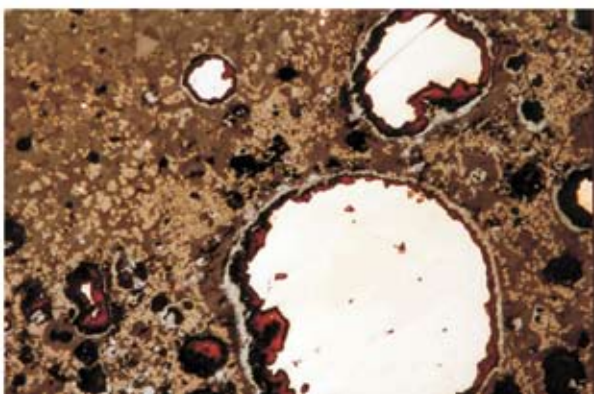
2 — Синташта. Образец 873. Шлак I минералогической группы. Крупный королёк меди с включением куприта и купритовой каймой и частицы магнетита в стекле



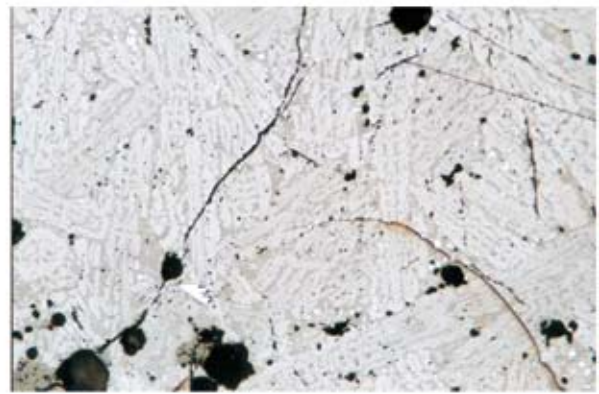
3 — Аркаим. Образец 740. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое поле) крупные распадающиеся зерна серпентинита, королёчки меди (белые), поры (черные), мелкая светлая магнетитовая сыпь, тонкие светло-серые иглы оливина и мелкие редкие королёчки меди (желтые)



4 — Семиозерки. Образец 221. В стекле (темное поле) крупные королёчки куприта (белое), мелкие королёчки меди (желтое), мелкие иглы дельфоссита и черные поры



5 — Синташта. Образец 846. Шлак I минералогической группы. В стекле (темно-коричневый фон) таблитчатые и призматические кристаллы оливина (зеленовато-коричневые), зерно хромита (серое вверху слева), королёчки меди с купритовой каймой, частицы магнетита (коричневые) и черные поры



6 — Синташта. Образец 173. Шлак I минералогической группы. В стекле (серое) удлиненно-призматические скелетные кристаллы оливина (светло-серые), небольшое зерно хромшпинелида (светлое внизу слева), мелкие королёчки меди и частицы магнетита (белое) и черные поры

Рис. 5-IV. Микроструктуры шлака, оптический микроскоп

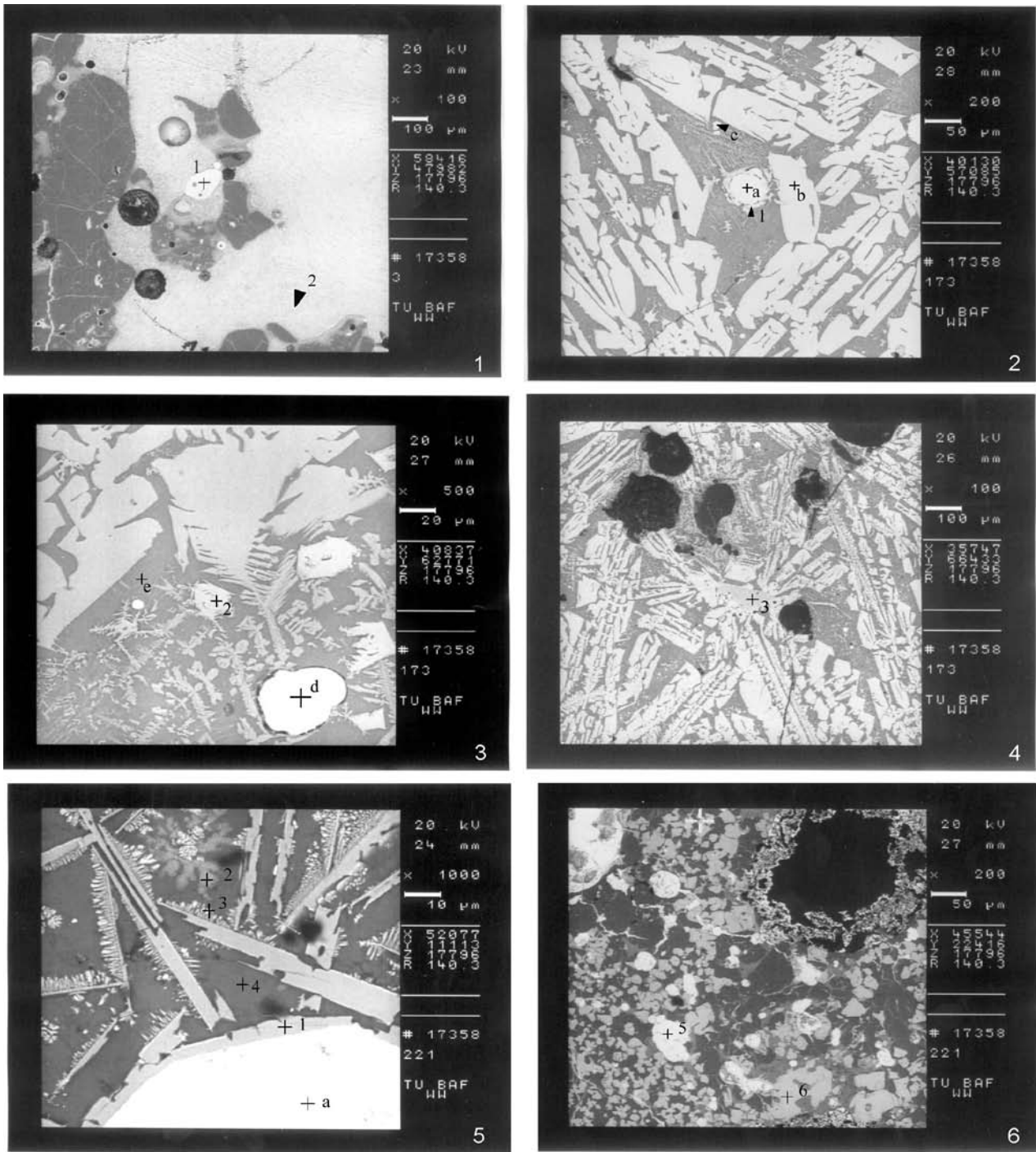


Рис. 5-V. Микроструктуры шлака к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1 — Синташта, обр. 3; 2—4 — Синташта, обр. 173; 5, 6 — Семиозерки, обр. 221

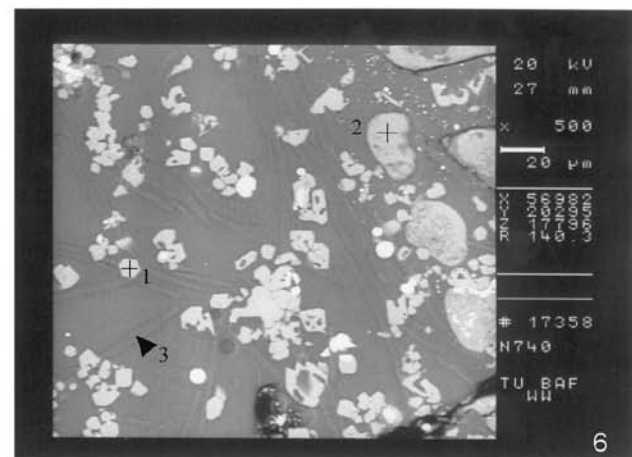
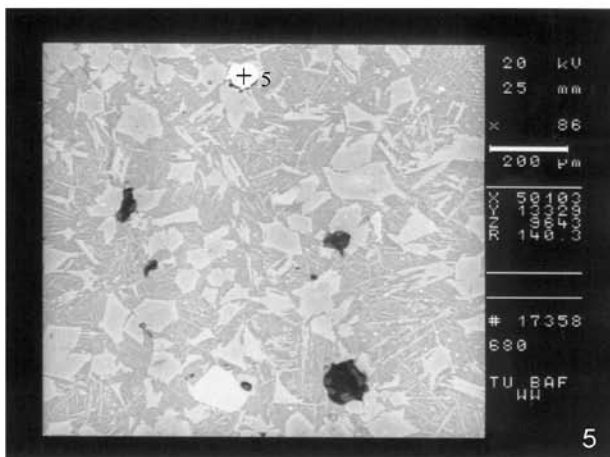
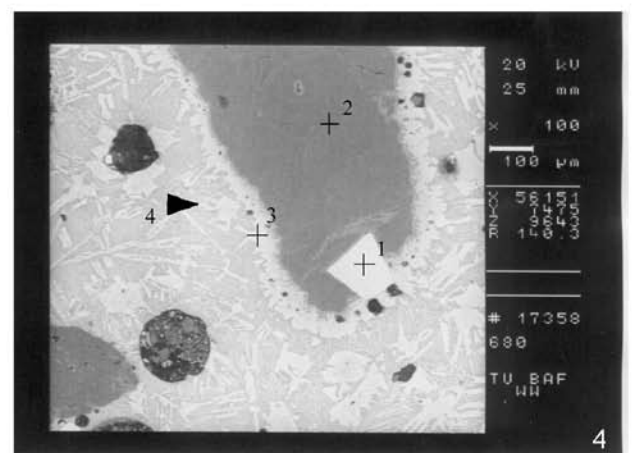
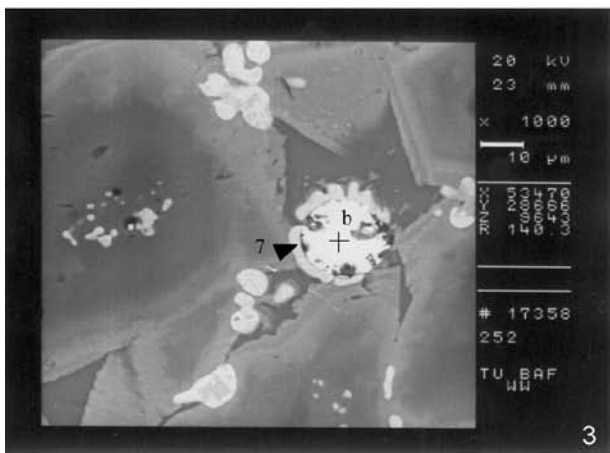
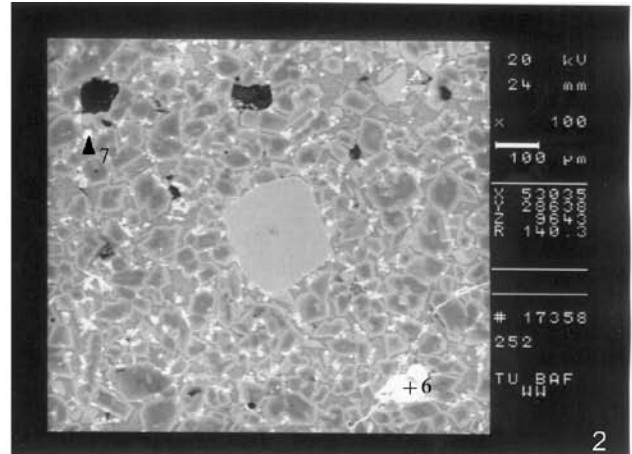
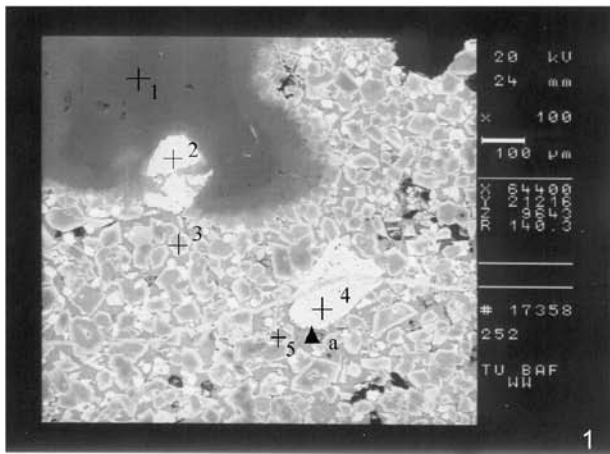


Рис. 5-VI. Микроструктуры шлака к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1-3 — Семиозерки, обр. 252; 4, 5 — Аркаим, обр. 680; 6 — Аркаим, обр. 740

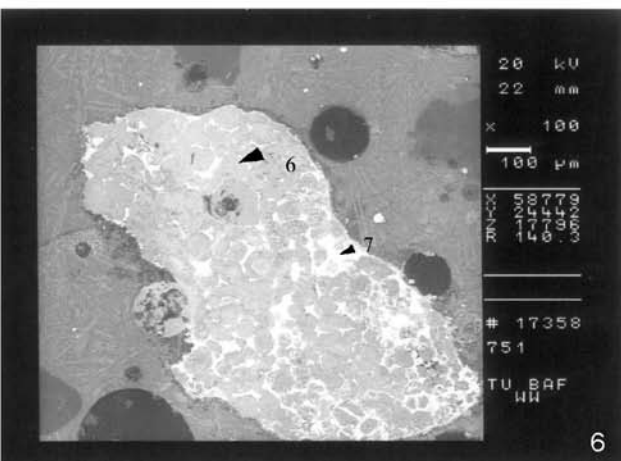
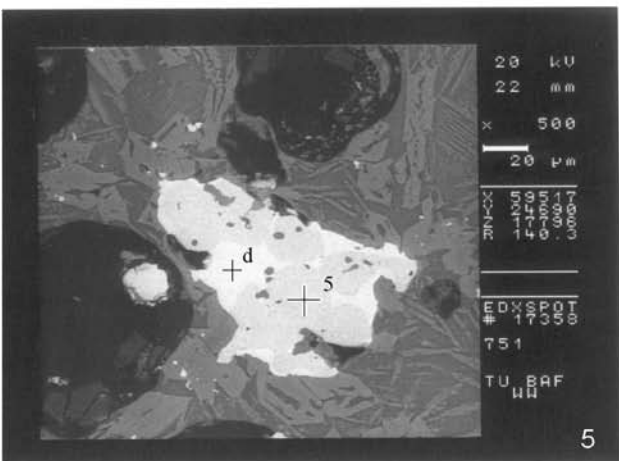
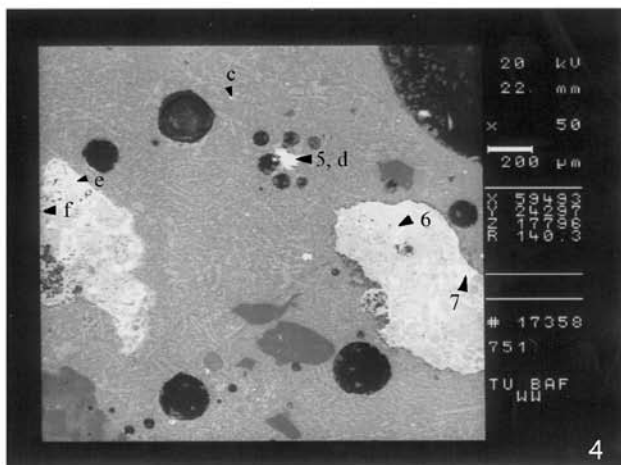
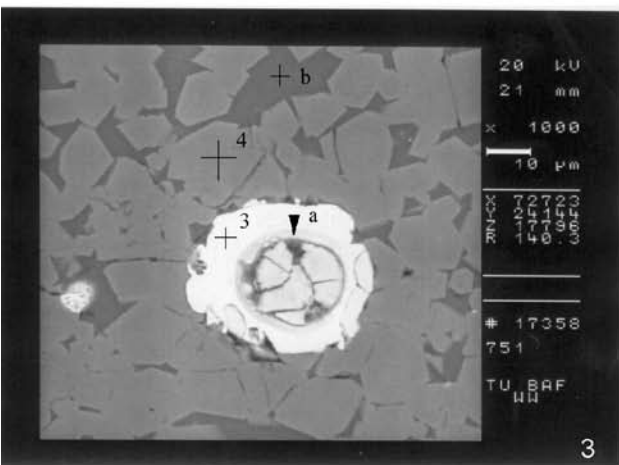
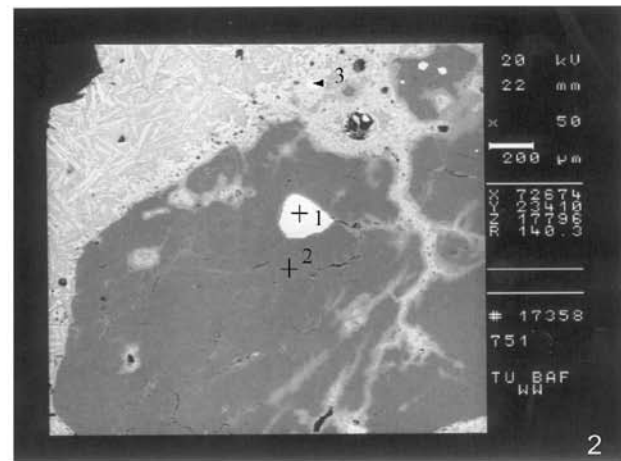
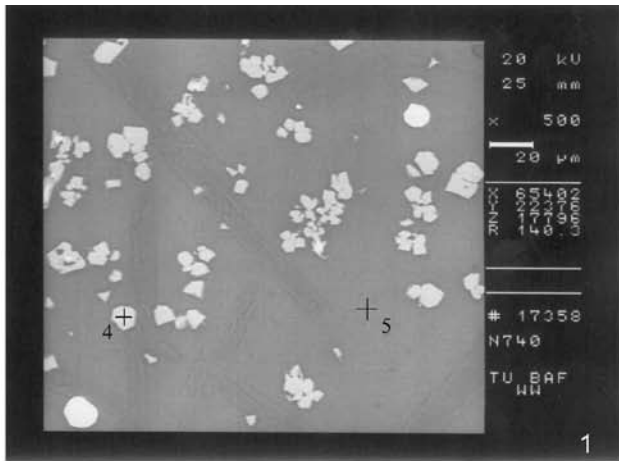


Рис. 5-VII. Микроструктуры шлака к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1 — Аркаим, обр. 740; 2—6 — Аркаим, обр. 751

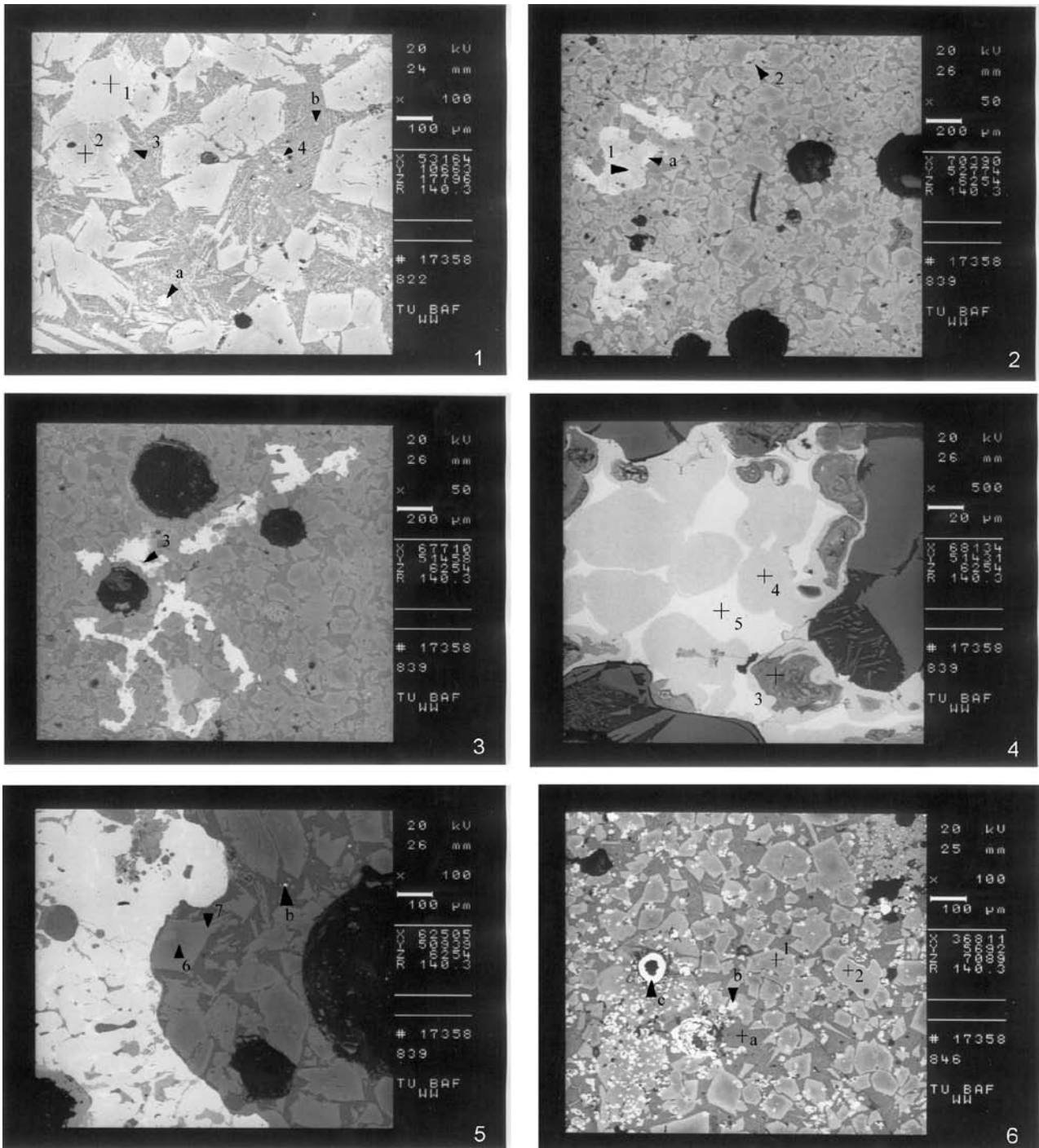


Рис. 5-VIII. Микроструктуры шлака к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1 — Аркаим, обр. 822; 2—5 — Синташта, обр. 839; 6 — Синташта, обр. 846

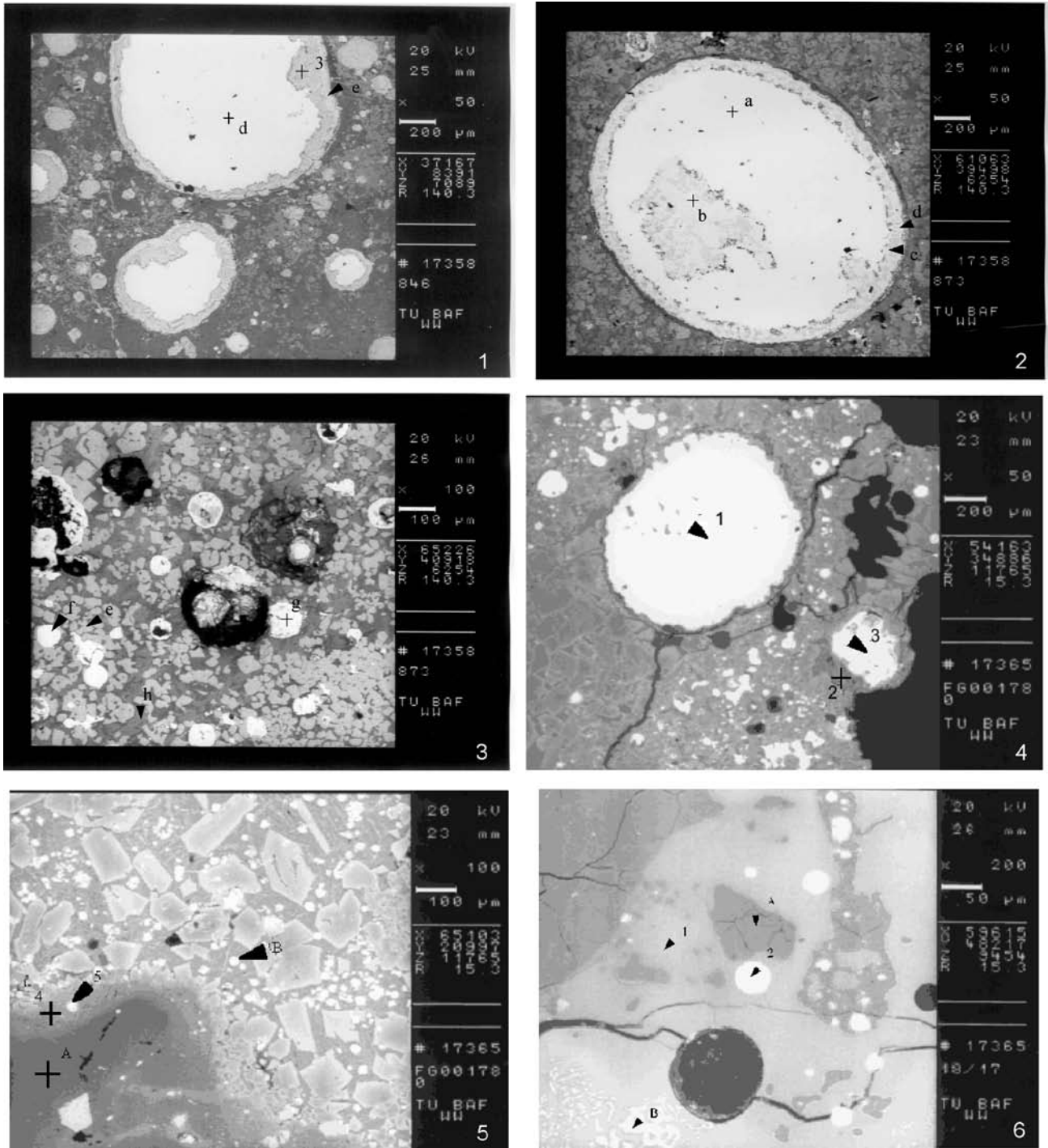


Рис. 5-IX. Микроструктуры шлака к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1 — Синташта, обр. 846; 2, 3 — Синташта, обр. 873; 4, 5 — Аркаим, обр. FG1780; 6 — Синташта, обр. FG1817

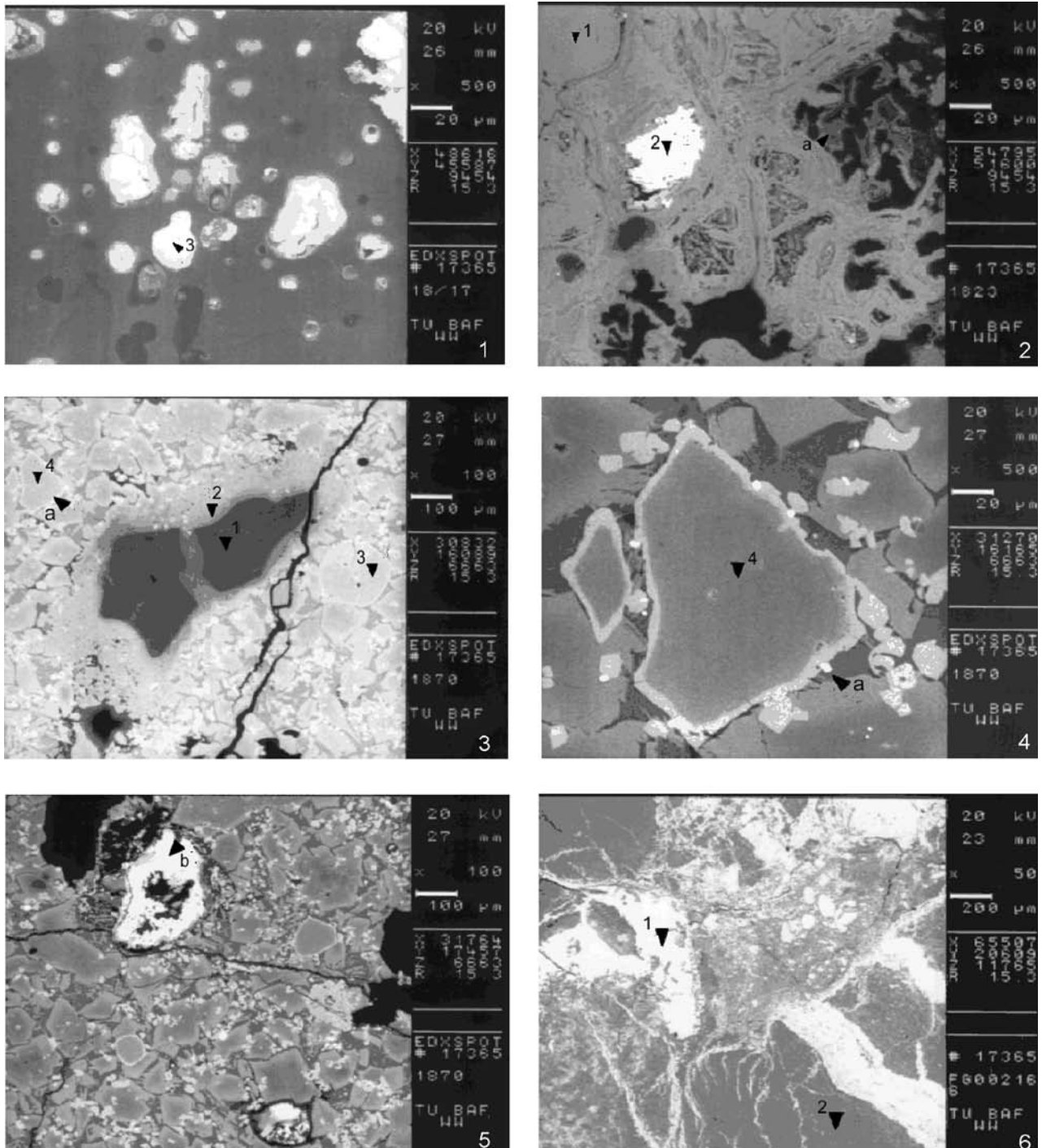


Рис. 5-Х. Микроструктуры шлака и руды к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1 — Синташта, обр. FG1817; Синташта, обр. 1823; 3—5 — Солнце, обр. 1870; 6 — Ивановское, обр. 2166

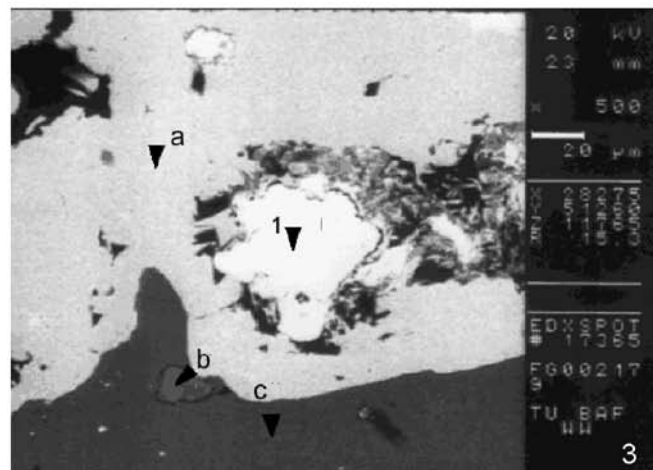
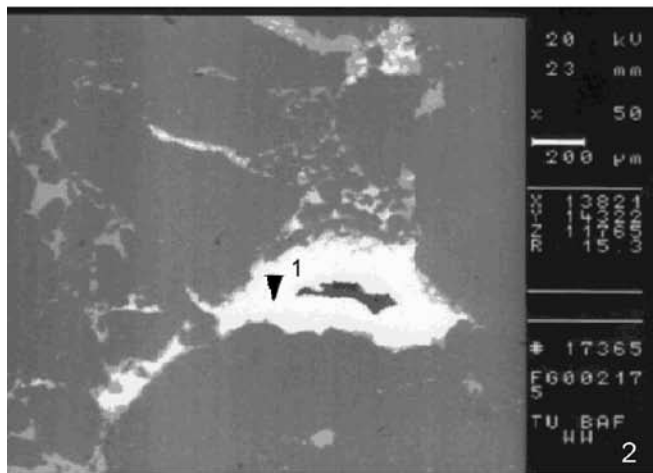
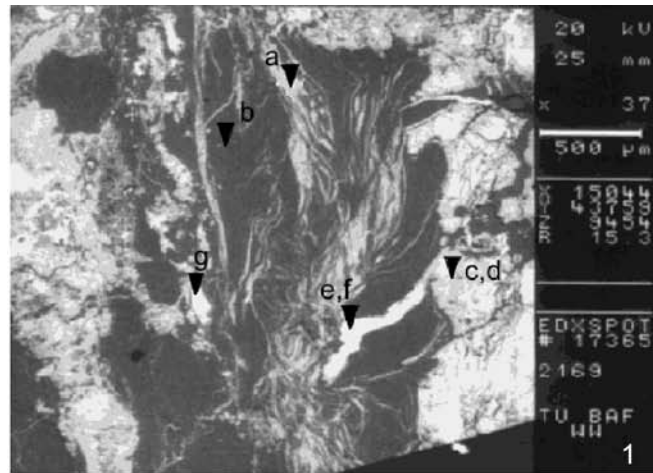


Рис. 5-ХІ. Микроструктуры шлака и руды к анализу на сканирующем электронном микроскопе. 1 — Ишкининское, обр. 2169; 2 — Никольское, обр. 2175; 3 — Таш-Казган, обр. 2179

Таб. 5-4
Анализы включений в шлаке и руде, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в Горной Академии Фрайберга (всесовой %)

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Магриал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na					
Синташта	шлак	3	1	хромит	27,28			21,85	4,93	34,01	9,17	2,75																					
Синташта	шлак	3	2	метал	0,53		83,04	3,91				12,52																					
Синташта	шлак	3	3	хромит	27,49			18,87	5,80	34,68	9,78	3,39																					
Синташта	шлак	3	4	шпат	53,10	35,90		0,96			5,64		4,39																				
Синташта	шлак	3	Wdh*	хромит	31,69			21,10	4,97	35,33	6,59			0,06					0,26														
Синташта	шлак	3	5*	метал			83,24	4,17				11,43					1,15																
Синташта	шлак	3	6*	метал			76,24	4,01				4,93				0,66	11,40				2,76												
Синташта	шлак	173	1	сульфид			73,22	3,04									23,74																
Синташта	шлак	173	2	магнетит	21,55			69,07				5,73							1,35	2,30													
Синташта	шлак	173	3	хромит	25,10			18,43	6,46	37,67	9,82	2,52																					
Семиозерки	шлак	221	1	дела-фоссит	25,57		42,04	30,81				1,58																					
Семиозерки	шлак	221	2	куприт	33,19	16,72	43,87	2,53				2,48		0,62	0,59																		
Семиозерки	шлак	221	3	куприт	25,35	10,19	59,20	2,56				2,05		0,40	0,25																		
Семиозерки	шлак	221	4	стекло	44,01	23,80	12,24	9,43				3,82	1,58	1,30	1,82			2,00															
Семиозерки	шлак	221	5	куприт	15,14		83,11	1,75																									
Семиозерки	шлак	221	6	железный оксид	32,28			67,72																									
Семиозерки	шлак	221	3 Wdh*	куприт	X		X	3,00																									
Семиозерки	шлак	252	1	серпентинит	44,81	23,00		5,31	26,88																								
Семиозерки	шлак	252	2	хромит	25,49			24,79	3,44	34,97	9,33	1,97																					
Семиозерки	шлак	252	3	оливин	38,30	16,39		33,75	11,56																								
Семиозерки	шлак	252	4	хромит	21,98	1,36		21,03	3,47	43,87	6,37	1,92																					
Семиозерки	шлак	252	5	стекло	41,71	21,77		18,37				5,11																					
Семиозерки	шлак	252	6	куприт	15,97		79,05	1,41									3,57																
Семиозерки	шлак	252	7	край меди	15,53	2,50		79,54			0,60	1,82																					
Семиозерки	шлак	252	7	хромит	25,59			15,16	9,10	41,30	8,85																						
Аркам	шлак	680	1	серпентинит	46,12	29,94		6,98	16,96																								
Аркам	шлак	680	2	оливин	35,80	16,64		36,72	10,83																								
Аркам	шлак	680	3	оливин	18,88	1,26		44,28	1,52	25,93	8,13																						
Аркам	шлак	680	4	магнетит																													
Аркам	шлак	680	5	метал	64,58							31,56																					
Аркам	шлак	680	3 Wdh*	оливин	35,92	16,21		37,27	9,91	0,05				0,30																			
Аркам	шлак	680	5	метал			64,02	0,79				32,51																					
Аркам	шлак	740	1	магнетит	36,86			52,10				5,68	5,36																				
Аркам	шлак	740	2	куприт	44,84			52,77	2,39																								
Аркам	шлак	740	3	оливин	46,51	23,01		11,08	8,61			4,62	5,20																				
Аркам	шлак	740	4	магнетит	34,89			56,63	2,34			5,89	0,25																				
Аркам	шлак	740	5	стекло	47,77	24,81	4,17	10,47	1,70			7,59	1,10	0,50	1,29																		
Аркам	шлак	751	1	хромит	27,60			15,46	7,59	37,51	8,82	3,01																					
Аркам	шлак	751	2	серпентинит	48,12	28,78		3,12	12,75			7,24																					
Аркам	шлак	751	3	метал	6,36		9,88	38,29				44,81						0,66															

Продолжение Таб. 5-4

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na
Аркам	шлак	751	4	оливин	39,47	16,31		38,69	3,65			1,87																
Аркам	шлак	751	5	металл - темная фаза			6,97	79,85				13,19																
Аркам	шлак	751	6	оксид-темная фаза	35,43	1,82	16,10	40,64				6,00																
Аркам	шлак	751	7	металл			96,85	3,15																				
Аркам	шлак	751	1 Wdh*	хромит	32,78			14,78	7,21	38,13	6,71			0,12					0,27									
Аркам	шлак	751	2 Wdh*	серпентинит	48,23	30,91		3,06	17,51	0,08				0,01					0,14									
Аркам	шлак	751	3 Wdh*	металл			10,65	44,86				43,37				1,15												
Аркам	шлак	751	4 Wdh*	оливин	36,31	16,64		36,26	10,29	0,09				0,27				0,13										
Аркам	шлак	751	6 Wdh*	оксид-темная фаза	28,33	0,95	15,22	47,66				7,48					0,36											
Аркам	шлак	751	7 Wdh*	металл			87,68	7,98				5,06				0,05												
Аркам	шлак	822	1	хромит	22,38			20,79	6,62	38,97	9,24	2,00																
Аркам	шлак	822	2	оливин	37,27	16,59		34,77	7,35			4,02																
Аркам	шлак	822	3	стекло	45,10	24,94		16,18		5,92																		
Аркам	шлак	822	4	магнетит	20,88			71,30		4,77	3,05																	
Синташта	шлак	839	1	оксид	36,06		6,91	44,47				10,50				2,06												
Синташта	шлак	839	2	хромит	27,32			20,32	5,59	35,84	9,11	1,82																
Синташта	шлак	839	3	оксид	33,48		6,40	40,58				5,93				4,59	9,02											
Синташта	шлак	839	4	металл	2,94		11,21	82,04								3,80												
Синташта	шлак	839	5	металл			89,35	4,60				4,39				1,66												
Синташта	шлак	839	6	оливин-темная фаза	39,26	15,85		36,82	8,06																			
Синташта	шлак	839	7	оливин	36,90	15,09		45,57	1,54					0,90														
Синташта	шлак	839	3 Wdh*	оксид	27,89		4,39	54,55				4,44			1,70	7,03												
Синташта	шлак	839	4 Wdh*	металл			9,55	82,70				4,45				3,29												
Синташта	шлак	839	5 Wdh*	металл			91,08	4,56				3,01				1,35												
Синташта	шлак	839	8*	оливин-темная фаза	34,58	15,75		42,64	6,29	0,05				0,48														
Синташта	шлак	839	9*	оливин-светлая фаза	32,42	14,80		50,73	0,89	0,07				0,85														
Синташта	шлак	846	1	оливин	41,06	15,81		34,52	8,62																			
Синташта	шлак	846	2	хромит	28,50			18,59	6,27	33,55	10,17	2,92																
Синташта	шлак	846	3	край меди			64,04								35,96													
Синташта	шлак	846	1 Wdh*	оливин	34,40	15,41		43,26	6,50	0,04				0,30														

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na	
Аркам	шлак	FG1777	1	хромит	13,1			24,21	5,99	46,88	9,62																		
Аркам	шлак	FG1780	1	медь	4,18		76,6									17,15													
Аркам	шлак	FG1780	2	темная фаза	33,46	0,55	36,65	10,38								16,95	1,28								0,73				
Аркам	шлак	FG1780	3	метал	2,05		66,88	2,4								28,66													
Аркам	шлак	FG1780	4	расплавленный серпентинит	33,47	20,81		26,05	19,81																				
Аркам	шлак	FG1780	5	силикат	19,68	8,39		27,84						1,48								44,4 (Mo?)							
Синташа	шлак	FG1803	1	хромит	11,13			26,45	7,9	42,47	12,04																		
Синташа	шлак	FG1817	1	расплав	38,2	42,42		5,5		6,83			4,68	1,77					0,6										
Синташа	шлак	FG1817	2	силикат	21,77	10,22		5,02						1,28								61,71							
Синташа	шлак	FG1817	3	метал																		100							
Синташа	руда	FG1823	1	малахит	28,39		71,61															100							
Синташа	руда	FG1823	2	метал																									
Солнце	шлак	FG1870	1	серпентинит	38,88	28,27		6,79	26,25		2,03																		
Солнце	шлак	FG1870	2	расплавленный серпентинит	27,67	19,26		45,27	7,36					0,44															
Солнце	шлак	FG1870	3	хромит	8,96			26,11	8,36	46,75	9,82																		
Солнце	шлак	FG1870	4	хромит	11,5			26,82	7,06	44,37	10,25																		
Солнце	шлак	FG1870	5	оливин	25,45	17,5		51,1	5,59					0,36															
Каменный Амбар	руда	FG1878	1	порода	41,87	31,75			1,52	16,07			8,79																
Каменный Амбар	руда	FG1878	2	серпентинит	29,79	21,41		12,53	19,03	1,36	15,91																		
Любик	руда	FG1921	1	минерал	26,65												6,25					3,87				54,58	8,64		
Любик	руда	FG1926	1	медный оксид	21,48		67,18										3,72												
Любик	шлак	FG1928	1	медь			100																						
Береговское	шлак	FG1934	1	ковелин			66																						
Береговское	шлак	FG1934	2	медь			100																						
Береговское	шлак	FG1934	3	медь			100																						
Синташа	шлак	FG1947	1	руда (хлорид)	18,78		61,79	1,28								18,15													
Ивановка	руда	FG2166	1	малахит	30,29		69,71																						
Ивановка	руда	FG2166	2	серпентинит	38,58	18,33	1,76	18,85	11,35		13,14																		
Ишканинское	руда	FG2169	1	хромит	13,83			19,98	9,18	45,38	11,63																		
Ишканинское	руда	FG2171	1	малахит	30,01	0,35	69,65																						
Никольское	руда	FG2175	1	руда	26,52	0,98	61,27																						
Таш-Казган	руда	FG2179	1	метал			4,03																						
Уш-Катты	руда	FG2181	1	светлый кристалл	33,76	16,53								23,27															
Уш-Катты	руда	FG2181	2	порода	41,33	38,35					12,26																		

Анализы включений в шлаке и руде, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в Горной Академии Фрайберга (атомарный %).

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na				
Синташта	шлак	3	1	хромит	51,21			11,75	6,09	19,64	10,20	1,10																				
Синташта	шлак	3	2	медь	2,12		82,85	4,44				10,59																				
Синташта	шлак	3	3	хромит	51,00			10,03	7,08	19,80	10,75	1,34																				
Синташта	шлак	3	4	шлак	67,24	25,90		0,35		4,24			2,28																			
Синташта	шлак	3	1	хромит	56,69			10,81	5,85	19,45	6,99			0,05					0,16													
Синташта	шлак	3	5*	метал			84,14	4,80				9,80				1,26																
Синташта	шлак	3	6*	метал			68,99	4,13				3,78				0,64	20,44				2,01											
Синташта	шлак	173	1	сульфид			59,18	2,79									38,02															
Синташта	шлак	173	2	магнетит	46,95			43,10			7,40								0,98	1,57												
Синташта	шлак	173	3	хромит	47,74			10,04	8,08	22,04	11,07	1,02																				
Семиозерки	шлак	221	1	дела-фоссит	55,69			23,05	19,22		2,04																					
Семиозерки	шлак	221	2	силикат	58,80	16,87	19,57	1,29			2,60		0,45	0,42																		
Семиозерки	шлак	221	3	силикат	52,51	12,03	30,88	1,52			2,52		0,33	0,21				0,85														
Семиозерки	шлак	221	4	стекло	64,25	19,79	4,50	3,94			3,31	1,52	0,78	1,06																		
Семиозерки	шлак	221	5	куприт	41,39			57,23	1,37																							
Семиозерки	шлак	221	6	Fe оксид	62,46			37,54																								
Семиозерки	шлак	221	3	куприт	X			X	3,00																							
Семиозерки	шлак	252	1	серпентинит	58,10	16,99		1,97	22,94																							
Семиозерки	шлак	252	2	хромит	49,43			13,77	4,39	20,86	10,73	0,82																				
Семиозерки	шлак	252	3	оливин	59,00	14,38		14,89	11,72																							
Семиозерки	шлак	252	4	хромит	45,09	1,59		12,36	4,68	27,69	7,74	0,84																				
Семиозерки	шлак	252	5	стекло	61,69	18,34		7,78			4,48																					
Семиозерки	шлак	252	6	куприт	42,14			52,54	1,07																							
Семиозерки	шлак	252	7	край меди	37,87	3,48		55,57		0,45	2,63																					
Аркаиим	шлак	680	1	хромит	47,50			8,06	11,12	23,59	9,74																					
Аркаиим	шлак	680	2	серпентинит	60,42	22,34		2,62	14,62																							
Аркаиим	шлак	680	3	оливин	56,89	15,07		16,72	11,33																							
Аркаиим	шлак	680	4	магнетит	40,97	1,55		27,53	2,17	17,31	10,47																					
Аркаиим	шлак	680	5	метал			67,61						28,02																			
Аркаиим	шлак	680	3	оливин	57,38	14,76		17,06	10,42	0,02				0,19																		
Аркаиим	шлак	680	5	метал			67,11	0,94					28,91																			
Аркаиим	шлак	740	1	магнетит	65,48			26,51			5,98	2,03																				
Аркаиим	шлак	740	2	куприт	76,24		22,59	1,16																								
Аркаиим	шлак	740	3	оливин	64,07	18,06		4,37	7,81		3,77	1,53																				
Аркаиим	шлак	740	4	магнетит	62,09			28,87	2,74		6,21	0,10																				
Аркаиим	шлак	740	5	стекло	65,71	19,44	1,45	4,12	1,54		6,19	0,32	0,28	0,71																		

Продолжение Таб. 5-5

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na
Аркаим	шлак	751	1	хромит	50,70			8,13	9,18	21,20	9,61	1,18																
Аркаим	шлак	751	2	серпентинит	63,87	21,76		1,19	11,13			2,05																
Аркаим	шлак	751	3	метал	21,41		8,37	36,91				32,20					1,11											
Аркаим	шлак	751	4	оливин	63,01	14,83		17,69	3,83			0,64																
Аркаим	шлак	751	5	метал-темная фаза			6,39	83,35				10,26																
Аркаим	шлак	751	6	оксид — темная фаза	66,29	1,94	7,59	21,79				2,40																
Аркаим	шлак	751	7	метал			96,43	3,57																				
Аркаим	шлак	751	1	хромит	56,90			7,35	8,24	20,37	6,91			0,09					0,16									
Аркаим	шлак	751	2	серпентинит	61,55	22,47		1,12	14,77	0,03									0,06									
Аркаим	шлак	751	3	метал			10,65	51,20				36,90				1,25												
Аркаим	шлак	751	4	оливин	57,52	15,02		16,46	10,73	0,05				0,17														
Аркаим	шлак	751	6	оксид — темная фаза	58,86	1,12	7,96	28,37				3,32					0,38											
Аркаим	шлак	751	7	метал			87,68	7,98				4,28				0,06												
Аркаим	шлак	822	1	хромит	44,25			11,77	8,61	23,70	10,83	0,84																
Аркаим	шлак	822	2	оливин	59,75	15,16		15,97	7,75			1,38																
Аркаим	шлак	822	3	стекло	63,88	20,12		6,57			4,98		0,58	3,88														
Аркаим	шлак	822	4	магнетит	46,83			45,81			3,29	4,06																
Синташта	шлак	839	1	оксид	67,60		3,26	23,88				4,20				1,05												
Синташта	шлак	839	2	хромит	50,93			10,85	6,86	20,56	10,07	0,72																
Синташта	шлак	839	3	оксид	63,76		3,07	22,14				2,41			3,94	4,68												
Синташта	шлак	839	4	метал	9,71		9,32	77,55								3,42												
Синташта	шлак	839	5	метал			89,26	5,23				3,72				1,79												
Синташта	шлак	839	6	оливин-темная фаза	61,21	14,08		16,44	8,27																			
Синташта	шлак	839	7	оливин	61,58	14,35		21,78	1,70					0,60														
Синташта	шлак	839	3	оксид	57,80		2,29	32,39				1,97			1,59	3,97												
Синташта	шлак	839	4	метал			8,61	84,78				3,40				3,21												
Синташта	шлак	839	5	метал			90,82	5,17				2,55				1,46												
Синташта	шлак	839	8*	оливин-темная фаза	57,46	14,91		20,30	6,88	0,03				0,32													0,11	
Синташта	шлак	839	9*	оливин-светлая фаза	57,48	14,95		25,77	1,03	0,04				0,60													0,12	
Синташта	шлак	846	1	оливин	62,56	13,72		15,07	8,64																			

Продолжение Таб. 5-5

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na	
Синташта	шлак	846	2	хромит	51,88			9,70	7,51	18,79	10,98	1,13																	
Синташта	шлак	846	3	край меди			49,84								50,16														
Синташта	шлак	846	1	оливин	57,32	14,63		20,65	7,13	0,02				0,20				0,04											
Аркаим	шлак	FG1777	1	хромит	29,81		69,16	15,68	8,92	32,61	13,17					16,32													
Аркаим	шлак	FG1780	1	мель	14,52																								
Аркаим	шлак	FG1780	2	темная фаза	64,83	0,61	17,88	5,76								8,95	1,28								0,73				
Аркаим	шлак	FG1780	3	метал	7,50		61,47	2,51								28,52													
Аркаим	шлак	FG1780	4	расплавленный серпентинит	50,91	17,91		11,35	19,83																				
Аркаим	шлак	FG1780	5	силикат	50,24	9,38		20,15						1,54								18,31 (Mo?)							
Синташта	шлак	FG1803	1	хромит	25,22			17,16	11,79	29,62	16,19																		
Синташта	шлак	FG1817	1	расплав	54,05	34,05		2,22			5,71		2,7	0,99					0,28										
Синташта	шлак	FG1817	2	силикат	63,46	16,97		4,19						1,49															
Синташта	шлак	FG1817	3	метал																									
Синташта	руда	FG1823	1	малахит	61,16		38,84																						
Синташта	руда	FG1823	2	метал																									
Солнце	шлак	FG1870	1	серпентинит	30,07	33,01		2,66	23,60																				
Солнце	шлак	FG1870	2	расплавленный серпентинит	48,83	19,38		22,91	8,57					0,31															
Солнце	шлак	FG1870	3	хромит	21,26			17,74	13,05	34,13	13,82																		
Солнце	шлак	FG1870	4	хромит	26,40			17,64	10,66	31,31	13,95																		
Солнце	шлак	FG1870	5	оливин	41,24	18,50		27,17	6,83					0,27															
Каменный Амбар	руда	FG1878	1	порода	56,52	24,41			1,35		12,86		4,85																
Каменный Амбар	руда	FG1878	2	серпентинит	59,85	17,95		5,28	18,43	0,6	13,88																		
Тюбьяк	руда	FG1921	1	минерал	70,38												8,24									16,79	3,81		
Тюбьяк	руда	FG1926	1	медный оксид	51,73		40,72										4,47												
Тюбьяк	шлак	FG1928	1	мель			100																						
Береговское	шлак	FG1934	1	ковелин	62,87																								
Береговское	шлак	FG1934	2	мель	100																								
Береговское	шлак	FG1934	3	мель	100																								
Синташта	шлак	FG1947	1	руда (хлорид)	45,78		36,27	0,85							19,1														
Ивановка	руда	FG2166	1	малахит	63,31		36,69																						
Ивановка	руда	FG2166	2	серпентинит	55,93	13,58	0,64	7,83	10,83		11,30																		
Ишкининское	руда	FG2169	1	хромит	29,79			12,32	13	30,05	14,84																		

Окончание Таб. 5-6

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Se	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na
Ишкинтинское	руда	FG2171	1	малахит	62,85	0,41	36,74																					
Никольское	руда	FG2175	1	руда	54,90	1,15	31,94																	12,01				
Таш-Казган	руда	FG2179	1	метал				16,03															78,75	5,22				
Уш-Катты	руда	FG2181	1	светлый кристалл	55,08	15,37								15,15					14,14									
Уш-Катты	руда	FG2181	2	порода	54,35	28,72					9,56																	7,37

Таб. 5-6
Анализы включений в шлаке и руде, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в Горной Академии Фрайберга
 (качественный анализ)

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na
Синташта	шлак	3	a	кварц	X	X																					
Синташта	шлак	173	a	мель		X	X	L																			
Синташта	шлак	173	b	фаялит	X	X		X																			
Синташта	шлак	173	c	магнетит	X			X	L																		
Синташта	шлак	173	d	сульфид			X										X										
Синташта	шлак	173	e	стекло	X	X		X			X																
Синташта	шлак	221	a	мель			X																				
Синташта	шлак	221	b	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	252	a	хромит	X			X	L																		
Синташта	шлак	252	b	мель			X																				
Синташта	шлак	751	a	метал	X	X		X				X															
Синташта	шлак	751	b	стекло	X	X		L			L																
Синташта	шлак	751	c	мель			X	L																			
Синташта	шлак	751	d	метал			X	L																			
Синташта	шлак	751	e	малахит	L		X																				
Синташта	шлак	751	f	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	822	a	сульфид			X	L									X										
Синташта	шлак	822	b	мель			X	L																			
Синташта	шлак	839	a	светлая фаза	X		X	X				X															
Синташта	шлак	839	b	мель			X	L																			
Синташта	шлак	846	a	стекло	X	X		X			X																
Синташта	шлак	846	b	магнетит	X			X																			
Синташта	шлак	846	c	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	846	d	мель			X																				
Синташта	шлак	846	e	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	873	a	мель			X																				
Синташта	шлак	873	b	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	873	c	светлая фаза	X		X																				
Синташта	шлак	873	d	темная фаза	L		X									X											
Синташта	шлак	873	e	магнетит	X		X	X																			
Синташта	шлак	873	f	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	873	g	куприт	L		X																				
Синташта	шлак	873	h	оливин	X	X	L	X																			
Синташта	шлак	873	a	серпентинит	X	X	L	X																			
Синташта	шлак	FG1780	a	серпентинит	X	X	L	X																			
Синташта	шлак	FG1780	b	медный хлорид			X									X											
Синташта	шлак	FG1788	a	метал																							
Синташта	шлак	FG1788	b	оксид	X	X																X					
Синташта	шлак	FG1802	a	мель			X					L															
Синташта	шлак	FG1802	b	востит	X		X	X																			
Синташта	шлак	FG1803	a	малахит	X		X	L								X											
Синташта	шлак	FG1803	b	мель			X					X															
Синташта	шлак	FG1817	a	кварц	X	X		X																			
Синташта	шлак	FG1817	b	востит	X			X																			
Синташта	шлак	FG1817	c	королек	X	X		L																			
Синташта	руда	FG1823	a	лимонит	X		L	X																			
Синташта	руда	FG1826	a	малахит	X		X	L																			
Синташта	руда	FG1826	b	руда	X	X	X																				

Окончание Таб. 5-6

Памятник	Объект	Образец	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Al	As	K	Ca	Cl	Ni	S	Mn	Ti	V	Pb	W	Zn	P	Ba	Mo	Na
Синташга	руда	FG1826	c	магнетит	X		X																				
Солнце	шлак	FG1870	a	мель		X																					
Солнце	шлак	FG1870	b	малахит	X		X								X												
Каменный Амбар	руда	FG1878	a	малахит	X		X																				
Тюбяк	руда	FG1921	a	малахит	X		X																				
Тюбяк	руда	FG1921	b	минерал	X	X	X				L																
Тюбяк	руда	FG1921	c	порода	X	X					L																L
Тюбяк	руда	FG1921	d	включенные в породе										X										X			
Тюбяк	шлак	FG1928	a	край меди	L		X																				
Тюбяк	шлак	FG1928	b	малахит	L	L	X																				
Тюбяк	шлак	FG1934	a	кварц	X	X																					
Береговское	шлак	FG1934	b	ковеллин			X																				
Береговское	шлак	FG1934	c	темная фаза	X		X										X										
Береговское	шлак	FG1934	d	светлая фаза	X		X										X										
Дергамыш	руда	FG2165	a	малахит	X		X																				
Дергамыш	руда	FG2165-2	a	малахит	X		X																				
Дергамыш	руда	FG2165-2	b	metal	X			X																			
Дергамыш	руда	FG2165-2	c	metal	X			X																			
Ишкинское	руда	FG2169	a	малахит	X		X																				
Ишкинское	руда	FG2169	b	серпентинит	X	X			X																		
Ишкинское	руда	FG2169	c	темная фаза	X	L		X																			
Ишкинское	руда	FG2169	d	светлая фаза	X			X																			
Ишкинское	руда	FG2169	e	темная фаза	X		X																				
Ишкинское	руда	FG2169	f	светлая фаза	X			X																			
Ишкинское	руда	FG2169	g	оксид железа	X			X																			
Ишкинское	руда	FG2169	h	оксид железа	X	L		X																			
Ишкинское	руда	FG2169	i	оксид железа	X			X																			
Ишкинское	руда	FG2169	j	оксид железа	X	L		X																			
Ишкинское	руда	FG2169	k	малахит	X		X																				
Бакр-Узяк	руда	FG2173	a	малахит	X		X																				
Бакр-Узяк	руда	FG2173	b	порода	X	X																					
Бакр-Узяк	руда	FG2173	c	порода	X	X	L	X	X		X																
Бакр-Узяк	руда	FG2173	d	мелкий октаэдр	L	L		X			L									X							
Никольское	руда	FG2175	a	кварц	X	X																					
Воровская Яма	руда	FG2177	a	малахит	X		X																				
Воровская Яма	руда	FG2177	b	порода	X	X		X							X												
Таш-Казган	руда	FG2179	a	малахит	X		X																				
Таш-Казган	руда	FG2179	b	серое зерно	X	X					L		L														
Таш-Казган	руда	FG2179	c	кварц	X	X																					
Таш-Казган	руда	FG2180	a	малахит	X		X																				
Таш-Казган	руда	FG2180	b	порода	X			L						X													
Таш-Казган	руда	FG2180	c	порода	X	X					X																X
Таш-Казган	руда	FG2180	d	порода	X	X					X																X
Уш-Катты	руда	FG2181	a	порода	X	X		L	X		X																
Уш-Катты	руда	FG2181	b	порода	X	X		L	X		X				L												
Уш-Катты	руда	FG2181	c	оксид железа	X	L		X																			

L — низкое содержание

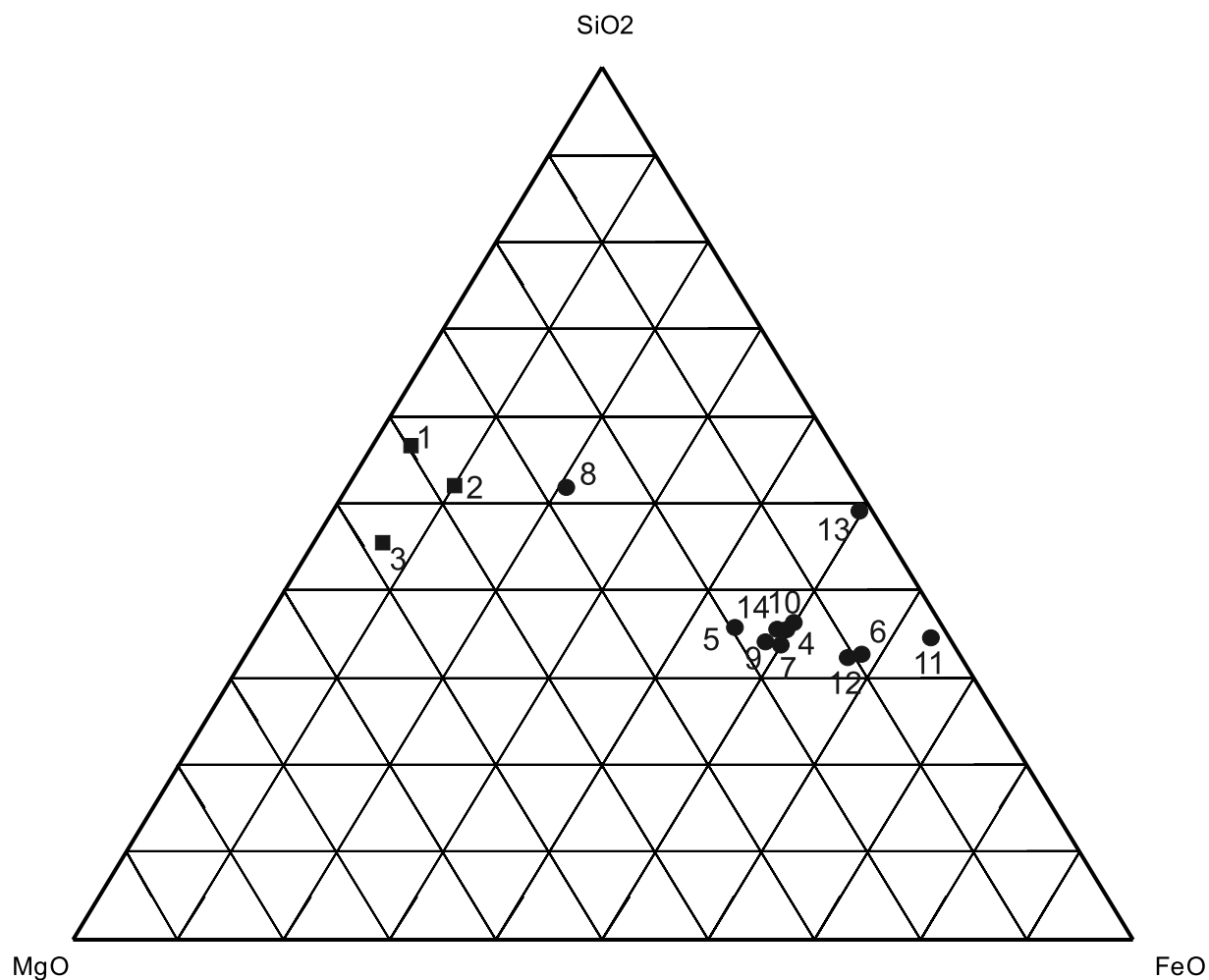
X — высокое содержание

Эти данные были дополнены данными, полученными использованием сканирующего электронного микроскопа. В зависимости от соотношения магния и железа оливины образуют непрерывный ряд от магнезиальных (форстерит) до железистых (фаялит). Было показано, что в оливинах, кристаллизующихся из расплава в тех же образцах, где были зафиксированы зерна серпентинита, содержание магния заметно снижается; заметно также снижение силикатного компонента и повышение железистого (рис. 5-7). В оливине образца 680 содержится 36,7% Fe, 10,8% Mg, и он является, следовательно, хортонолитом (рис. 5-VI.4; таб. 5-4; 5-5, обр. 680, ан. 3). В оливине образца 751 содержится 38,7% Fe, 3,7% Mg, 1,9% As, что свойственно оливинам типа Fe-хортонолит (Рис. 5-VI.4; таб. 5-4; 5-5, обр. 751, ан. 4). Повторный анализ помог скорректировать ситуацию: 36,24% Fe, 10,29% Mg, при полном отсутствии мышьяка (таб. 5-4; 5-5, обр. 751, ан. 4 Wdh). Данный оливин был определен как хортонолит. В оливине образца 252 (рис. 5-VI.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 252, ан. 3) 33,8% Fe, 11,6% Mg. При этом, проанализирован центр кристалла, имеющий более темный оттенок. Оливин в образце 822 содержал 34,8% Fe, 7,4% Mg (рис. 5-VIII.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 822, ан. 2). Оба этих оливина тоже являются хортонолитом. Более светлый край в последнем оливине в большей степени обогащен железом. В оливине образца 740 содержится 8,6% Mg, 11,1% Fe. Есть примеси Al (4,6%), As (5,2%) (рис. 5-VI.6; таб. 5-4; 5-5, обр. 740, ан. 3). Это наиболее магнезиальный оливин исследованной серии (гиалосидерит). Очень показательно то, что кристалл игольчатый, неразвитый. То есть, при снижении температуры не происходило дальнейшего развития кристалла благодаря железистым составляющим. Последний элемент (мышьяк), видимо, как и в иных оливинах определен ошибочно. Алюминий может происходить из обмазки печи. В отдельных случаях качественный анализ оливина выявил сравнительно чистый фаялит (рис. 5-V.2; таб. 5-6, обр. 173, ан. b; рис. 5-IX.3; таб. 5-6, обр. 873, ан. h).

В образце 839, как и в ряде других синташтинских шлаках, оливин имеет зональную структуру (рис. 5-VIII.5; таб. 5-4; 5-5, обр. 839, ан. 6, 7). Внешний край его более светлый. Этот край почти не содержит магния. Следовательно, данный участок кристалла имеет фаялитовый состав. В центре же кристалла содержание Mg составляет 8,1% (хортонолит). Таким образом, в плавку поступала порода типа оливина. Поэтому первоначально кристаллизовался расплав, обогащенный магнием. Затем, при понижении температуры, по краю кристалла шло образование фаялита. В этой зоне фиксируется незначительная примесь кальция (0,9%). Последняя появляется из стекла, обогащенного в некоторых образцах этим элементом вследствие, вероятно, добавок флюсов и из золы.

Сделан также анализ центральной части другого кристалла в том же образце. В нем чуть выше количество железа и ниже магния, чем в центре предыдущего кристалла (таб. 5-4; 5-5, обр. 839, ан. 8). Поэтому данный оливин относится к группе Fe-хортонолит. То же касается и более светлой периферии кристалла, в которой содержание железа выше, чем на периферии предыдущего образца, и она имеет фаялитовый состав (таб. 5-4; 5-5, обр. 839, ан. 9). Сходный состав оливина, но с повышенным содержанием магния (8,6%) зафиксирован в другой пробе (рис. 5-VIII.6; таб. 5-4; 5-5, обр. 846, ан. 1). Первоначально он был определен как хортонолит. Повтор этого анализа выявил более высокое содержание железа, и кристалл был отнесен к Fe-хортонолиту (таб. 5-4; 5-5, обр. 846, ан. 1 Wdh).

Таким образом, все это показывает достаточно четкую закономерность: образующиеся оливины являются более железистыми, чем основная рудовмещающая порода, серпентинит. В процессе остывания сначала идет кристаллизация оливинов магнезиального состава, а потом более железистого. Эти закономерности наглядно прослеживаются на фазовой диаграмме для оливинов, серпентинитов и стекла (рис. 5-8, 5-9). По сравнению с серпентинитом в оливинах уменьшается содержание магния и кремнезема и растет содержание железа. При этом стекло содержит мало магния, то есть, серпентиниты,



№	материал	образец	SiO ₂	MgO	FeO
1	серпентинит	680-2	53,00	36,52	10,48
2	серпентинит	751-2W*	55,15	40,08	4,77
3	серпентинит	252-1	45,41	47,52	7,07
4	оливин	822-2	36,71	14,00	49,29
5	оливин	252-3	35,55	20,00	44,45
6	оливин	846-1W*	32,76	10,97	56,27
7	оливин	680-3W*	34,42	16,84	48,75
8	оливин	740-3	51,87	26,37	21,76
9	оливин	751-4W*	34,98	17,54	47,48
10	оливин	839-6	35,50	14,64	49,86
11	оливин	839-7	33,86	2,91	63,23
12	оливин	839-8*	33,29	10,75	55,96
13	оливин	839-9*	31,38	1,52	31,38
14	оливин	846-1	36,34	16,10	47,56

Рис. 5-7. Фазовая диаграмма SiO₂ — MgO — FeO серпентинитов (квадраты) и оливинов (круги) (в %)

хотя и плавятся, но крайне слабо, лишь поверхностные части зерен, что мы хорошо наблюдаем под микроскопом. Вероятно, их значительное присутствие в шлаке отражает почти все их содержание в шихте, так как магнезиальный компонент слабо переходит в стекло и оливины. Соответственно, при сортировке руды серпентиниты старались в шихту не добавлять, их присутствие носит случайный характер.

В оливине, по сравнению со стеклом, видна существенная разница в соотношении железистого и силикатного компонента, что вполне логично. Силикатный расплав реагирует с железистым компонентом, и идет кристаллизация оливина. Когда в расплаве их соотношение меняется в пользу силикатного компонента, он становится вязким и затвердевает, образуя стекло. На диаграмме хорошо видно, что в одном кристалле по краям в конце кристаллизации идет образование оливина более железистого состава (пункты 2, 4), чем в центре (пункты 1, 3).

Стекло

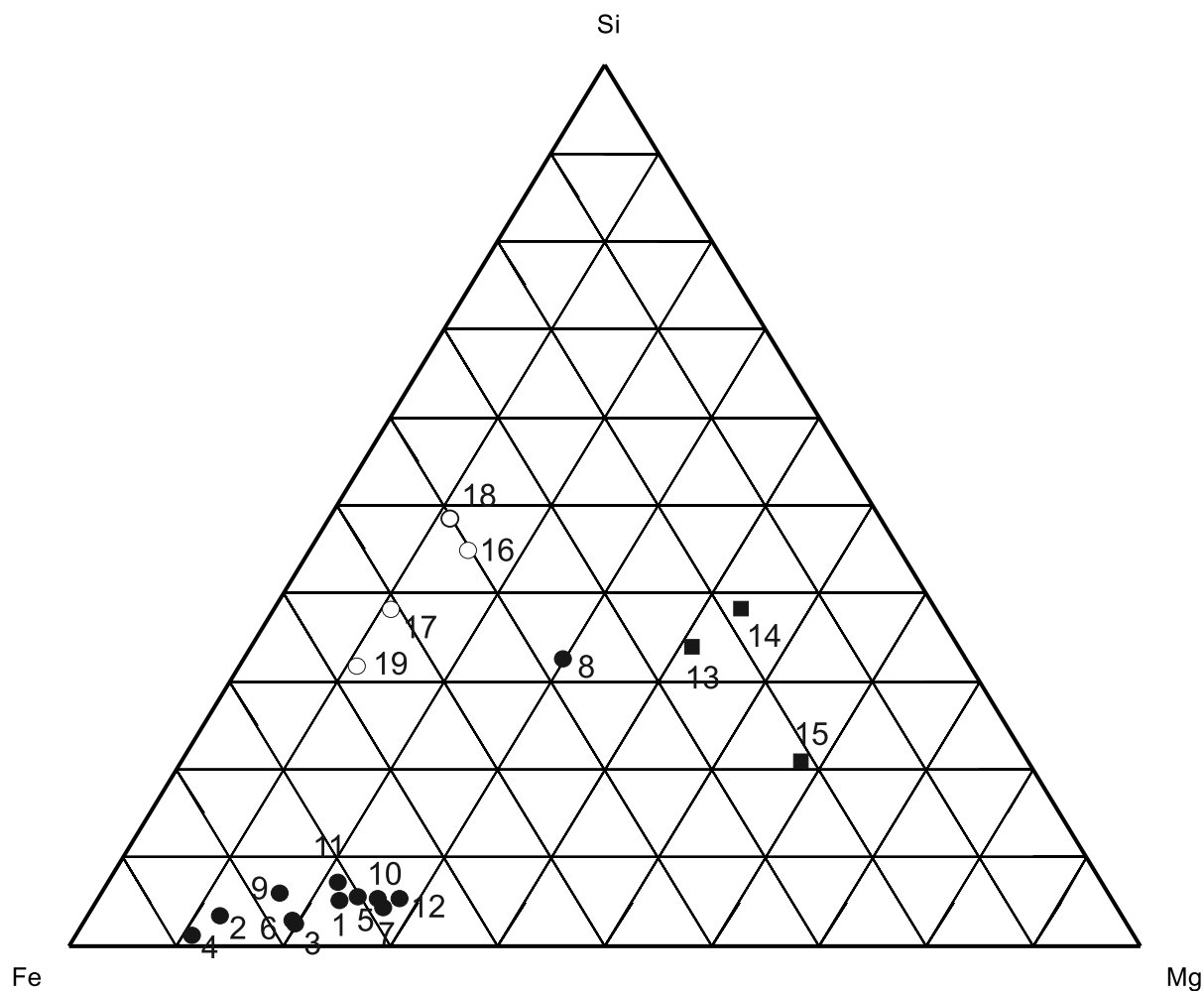
Качественный анализ стекла различных образцов выявил идентичный состав: Si, O, Fe, Al, K, Ca (рис. 5-V.3; таб. 5-6, обр. 173, ан. е; рис. 5-VIII.6; таб. 5-6, обр. 846, ан. а; рис. 5-VII.3; таб. 5-6, обр. 751, ан. b). Близкий состав стекла зафиксирован и количественными анализами. В стекле образца 252, помимо Fe, O, Si, есть также 5,1% Al, 1% K, 12% Ca. Вероятно использование кальцита или костей, причем, в значительных количествах (рис. 5-VI.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 252, ан. 5, рис. 5-9). В других образцах, где количество кальция незначительно, он происходит, вероятно, из золы. В данном случае его значительные добавки связаны, видимо, с большой тугоплавкостью серпентинита, использованного в данной плавке. В стекле образца 740 есть небольшие примеси марганца, кальция, калия. Это, возможно, флюсы, правда, примеси невелики. Есть алюминий, происходящий из обмазки печи. Примечательно соотношение железа (10,5%) и кремния (24,8%). Очень мало магния (рис. 5-VII.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 740, ан. 5). В принципе, образование фаялита при этом химическом составе могло продолжаться. Прекращение его вызвано остыванием. Кстати, кристаллы оливина имеют здесь вытянутую форму, что указывает на достаточно высокую скорость остывания в данном случае.

В стекле образца 822 присутствует 16,2% железа, и нет магния (рис. 5-VIII.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 822, ан. 3). Следовательно, ситуация здесь идентична. Расплав стал быстро остывать после формирования магнезиального оливина. Какая-то часть более обогащенного железом оливина все же успела оформиться, поскольку края кристаллов имеют более светлый оттенок. Кроме того, в стекле зафиксировано 5,9% алюминия, 1% калия, 6,9% кальция. Видимо, использованы флюсы — кости животных.

Магнетит

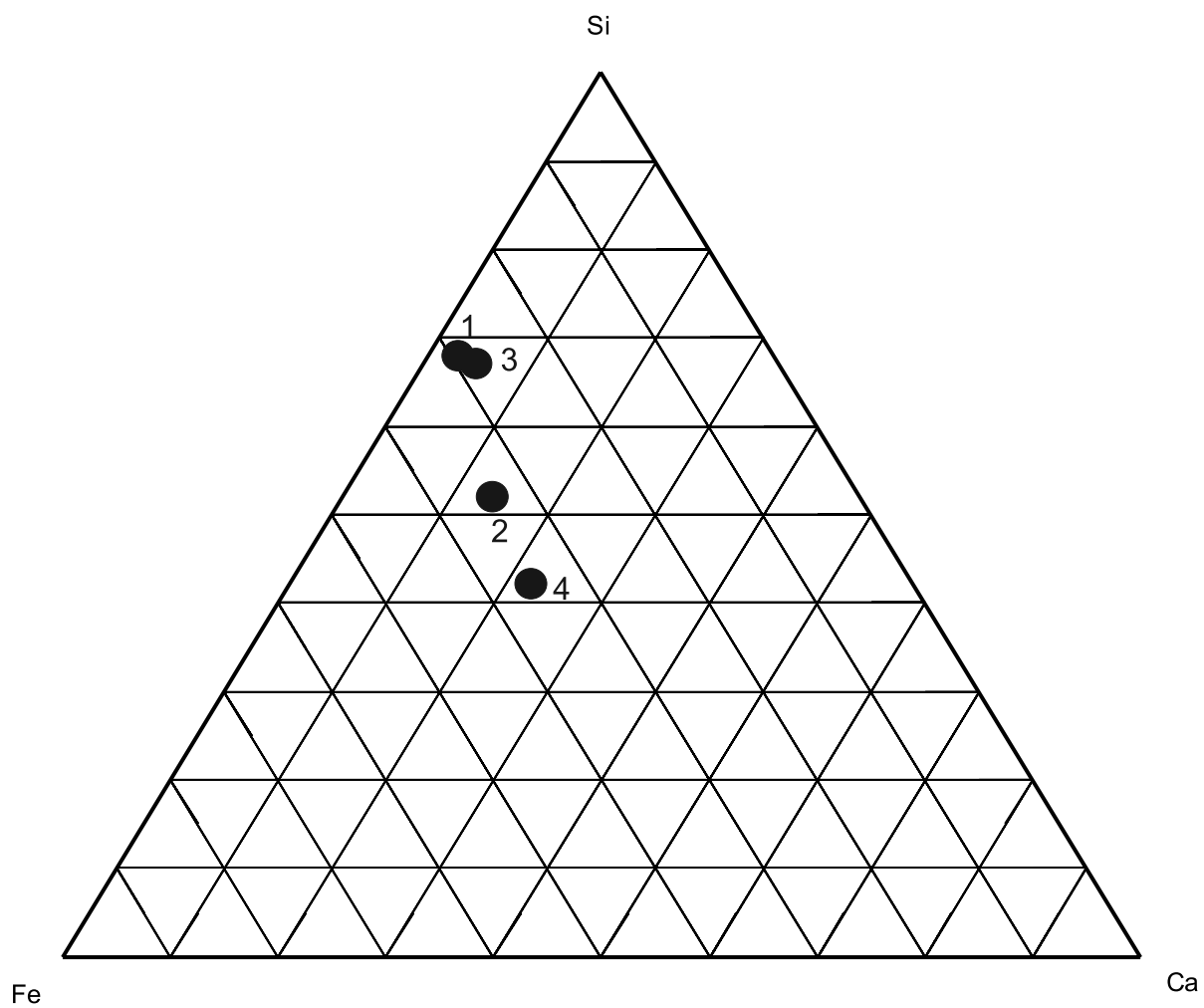
Вторым ведущим компонентом в шлаках этой группы является магнетит (рис. 5-II.1,2,4-6; 5-III.1; 5-IV.2,3,5,6). Он представлен октаэдрами различных размеров, скелетами и дендритами. Часто он образует кайму вокруг зерен хромита. В отдельных образцах замещение зерен хромита магнетитом произошло полностью. Это было зафиксировано в нескольких образцах поселения Устье. Вряд ли подобное замещение связано с металлургическими процессами. Скорее ультраосновные рудовмещающие породы, поступившие в плавку, происходили из коры выветривания. В результате же металлургических преобразований сразу же после замещения частицы магнетита отделяются от хромита и образуют октаэдры, зачастую оплавленные.

Этот вывод подтверждается и исследованиями магнетита с помощью сканирующего электронного микроскопа. Отдельные его зерна имеют состав, промежуточный между магнетитом и хромитом: в образце 680 зернышко магнетита содержало 44,3% железа и 25,9% хрома (рис. 5-VI.5; таб. 5-4; 5-5, обр. 680, ан. 4, рис. 5-10). В образце 822 магнетит содержал 4,8% хрома и 3,1% алюминия (рис. 5-VIII.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 822, ан. 4). В кристаллах магнетита образца 740 присутствует примесь алюминия, магния и мышьяка,



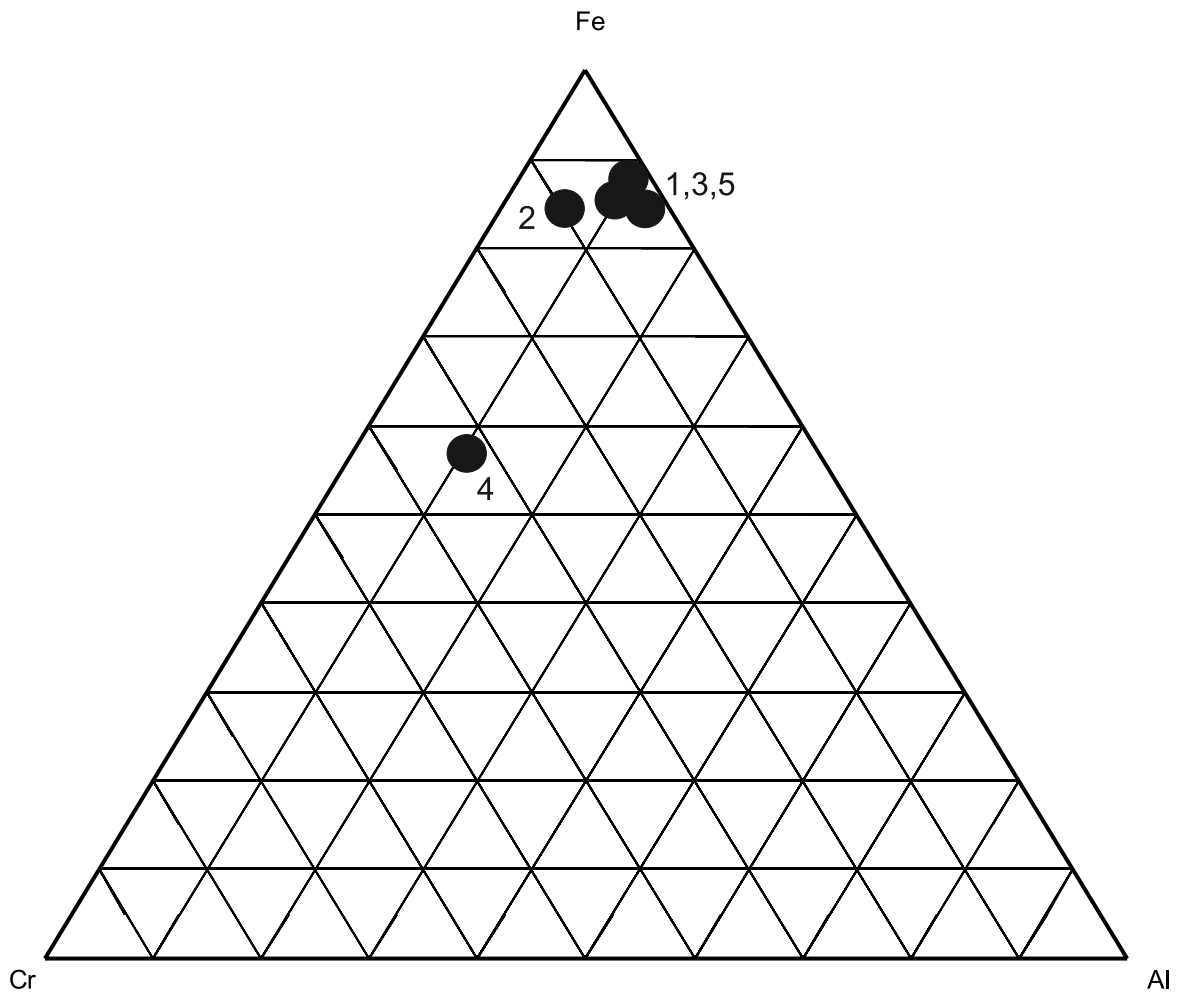
№	Материал	Образец	Si	Fe	Mg	%Si	%Fe	%Mg
1	оливин-К	S-839-6	15,85	36,82	8,06	26,10	60,63	13,27
2	оливин-R	S-839-7	15,09	45,57	1,54	24,26	73,26	2,48
3	оливин-К	S-839-8*	15,75	42,64	6,29	24,35	65,92	9,72
4	оливин-R	S-839-9*	14,80	50,73	0,89	22,28	76,38	1,34
5	оливин-К	S-846-1	15,81	34,52	8,62	26,82	58,56	14,62
6	оливин-К	S-846-1W*	15,41	43,26	6,50	23,65	66,38	9,97
7	оливин-Ks	A-680-3	16,64	36,72	10,83	25,92	57,21	16,87
8	оливин-Ks	A-740-3	23,01	11,08	8,61	53,89	25,95	20,16
9	оливин-К	A-751-4	16,31	38,69	3,65	27,81	65,97	6,22
10	оливин-К	A-751-4W*	16,64	36,26	10,29	26,33	57,38	16,28
11	оливин-К	A-822-2	16,59	34,77	7,35	28,26	59,22	12,52
12	оливин-К	Se-252-3	16,39	33,75	11,56	26,56	54,70	18,74
13	серпентинит	A-680-2	29,94	6,98	16,96	55,57	12,95	31,48
14	серпентинит	A-751-2W*	30,91	3,06	17,51	60,04	5,94	34,01
15	серпентинит	Se-252-1	23,00	5,31	26,88	41,67	9,62	48,70
16	стекло	A-740-5	24,81	10,47	1,70	67,09	28,31	4,60
17	стекло	A-822-3	24,94	16,18	0,00	60,65	39,35	0,00
18	стекло	Se-221-4	23,80	9,43	0,00	71,62	28,38	0,00
19	стекло	Se-252-5	21,77	18,37	0,00	54,24	45,76	0,00

Рис. 5-8. Фазовая диаграмма (Si — Fe — Mg) для оливинов (черные круги), серпентинитов (квадраты) и стекла (белые круги) (К — центр, Ks — центр тонких кристаллов, R — край) (в %)



№	Образец	Si	Fe	Ca	%Si	%Fe	%Ca
1	A-740-5	24,81	10,47	1,29	67,84	28,63	3,53
2	A-822-3	24,94	16,18	6,86	51,98	33,72	14,30
3	Se-221-4	23,80	9,43	1,82	67,90	26,90	5,19
4	Se-252-5	21,77	18,37	12,02	41,74	35,22	23,04

Рис. 5-9. Фазовая диаграмма (Si — Fe — Ca) для стекла (в %)



№	Образец	Fe	Cr	Al	%Fe	%Cr	%Al
1	A-740-4	56,63	0,00	5,89	90,58	0,00	9,42
2	A-822-4	71,30	4,77	3,05	90,12	6,03	3,85
3	S-173-2	69,07	0,00	5,73	92,34	0,00	7,66
4	A-680-4	44,28	25,93	8,13	56,52	33,10	10,38
5	A-740-1	52,10	0,00	5,68	90,17	0,00	9,83

Рис. 5-10. Фазовая диаграмма Fe — Cr — Al магнетита (в %)

что свойственно хромитам исследуемой серии (рис. 5-VI.6; 5-VII.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 740, ан. 1,4). Чаще это касается небольших кристаллов, а не дендритов или более крупных зерен. Присутствие магнетита с примесями мышьяка позволяет допускать мысль, что иногда он привносился и с легирующим компонентом. Но наличие здесь и хромитов с этой примесью, позволяет предполагать, что этот компонент происходит с того же месторождения, что и руда (или из месторождения того же типа).

Часто магнетит выпадает из расплава в виде мелких скелетов или зародышей кристаллизации. Содержание магнетита обычно колеблется в пределах 1—7%. Лишь в единичных образцах его выявлено до 20%. В этих случаях он может образовывать целые поля из мелких частиц, формирующихся, вероятно, из попавших в шихту кусочков лимонита. Замечено, что на участках, содержащих значительное количество магнетита, увеличивается и количество корольков меди, что обусловлено повышением здесь вязкости расплава.

Этим выводам не противоречили исследования образцов электронным микроскопом. Магнетит, кристаллизующийся из расплава, как правило, светлого цвета, и в нем могут присутствовать примеси 5,7% алюминия, титана и ванадия (рис. 5-V.3; таб. 5-4; 5-5, обр. 173, ан. 2). Примесь алюминия зафиксирована и качественным анализом (рис. 5-V.2; таб. 5-6, обр. 173, ан. с). В другом образце (рис. 5-VIII.6; таб. 5-6, обр. 846, ан. b) магнетит достаточно чистый. Возможно, он не кристаллизовался из расплава, поскольку в стекле этой пробы алюминий есть. Чистый магнетит встречен и в образце 873 (рис. 5-IX.3; таб. 5-6, обр. 873, ан. e). Здесь магнетит образуется из распада железистого минерала.

Куприт и медь

Потери металла в шлаке этой группы обычно невелики и составляют 0,1—1%. Крайне редко эта цифра достигает 2%. Медь содержится в шлаке в виде мелких корольков (рис. 5-I.3,5; 5-II.2,4,6; 5-III.1-4; 5-IV.2,3,5,6).

Куприт представлен небольшими корольками, изредка дендритами. Куприт может также замещать рудные минералы (рис. 5-I.4; 5-IV.1,2,5). В целом, содержание куприта в исследованных образцах незначительно, по сравнению с медью. Однако большая часть даже исследованного куприта, по-видимому, вторична и образовалась уже в слое поселения. О небольших корольках куприта судить сложно. Они могли образоваться и в результате металлургических реакций (рис. 5-IX.3; таб. 5-6, обр. 873, ан. f, g). Однако часть анализов безусловно указывает на то, что куприт является вторичным образованием. Довольно очевидно это в тех случаях, когда куприт образуется вокруг поры (рис. 5-VIII.6; таб. 5-6, обр. 846, ан. с). В иных случаях на это указывают примеси.

Качественный анализ крупного королька (рис. 5-IX.1; таб. 5-6, обр. 846, ан. d) позволил определить, что это чистая медь. По его краю фиксируется кайма. Более темная ее фаза состоит из меди и 36% хлора. Более светлая фаза — медь с небольшим количеством кислорода, вероятно куприт. Это уже явно вторичное образование, так как хлорные соединения не выдерживают высоких температур.

Качественный анализ другого крупного королька (рис. 5-IX.2; таб. 5-6, обр. 873, ан. a) выявил чистую медь. В нем присутствует крупное включение куприта (ан. b). По краю зафиксированы две фазы — более темная и более светлая. Темная фаза — куприт с примесью хлора (ан. d), светлая содержит больше кислорода, вероятно, тенорит (ан. c). Внутренние включения куприта указывают на то, что это не вторичное окисление. Но окисление по краю могло сформироваться уже в слое поселения. Примеси железа и хлора зафиксированы и в куприте образца 252 (рис. 5-VI.2; таб. 5-4; 5-5, обр. 252, ан. 6). Поскольку тенорит и хлориды не могут сохраняться в металлургических реакциях, речь должна идти о вторичной минерализации. Соединения меди с хлором (CuCl, CuCl₂) образуются при обычных температурах. При более высокой температуре

(250—340 °С) эти образования вновь распадаются, и вследствие окисления получается CuO. При температуре 500 °С CuCl испаряется (Tafel, 1951, p. 234, 235, 245, 246).

В меди и куприте зафиксированы порой существенные примеси железа (рис. 5-V.1; таб. 5-4; 5-5, обр. 3, ан. 2; рис. 5-V.2; таб. 5-6, обр. 173, ан. а; рис. 5-VI.6; рис. 5-VI.6; таб. 5-4; 5-5, обр. 740, ан. 2; рис. 5-VIII.1; таб. 5-6, обр. 822, ан. b; рис. 5-VIII.5; таб. 5-6, обр. 839, ан. b). Получаемый метал впоследствии требовал, вероятно, рафинирования. Соединения меди с железом в данном случае, по-видимому, не указывают на плавку первичных сульфидных руд. Вероятно, они образовались за счет плавки медных руд из ультраосновных пород.

Рудные минералы

Рудные минералы в подавляющем большинстве образцов представлены окисленными рудами — малахитом и купритом. Лишь в нескольких образцах поселения Аркаим выявлены вторичные сульфиды в виде зерен ковеллина и халькозина. В образцах могильника Кривое Озеро эти минералы представлены корольками. В одном образце поселения Аркаим обнаружено зерно халькопирита. Однако в своем первичном виде такие минералы как халькозин и ковеллин в шлаке сохраняются достаточно редко. Как правило, в результате выгорания части серы происходит образование изотропных сульфидов меди, близких по своим оптическим характеристикам куприту, но не имеющих внутренних рефлексов. Подобные минералы встречаются в синташтинских шлаках, но в данной группе достаточно редко. Чаще всего они представлены застывшим расплавом, поскольку, как и прочие вторичные сульфиды имеют низкую точку плавления.

Плавка сульфидов (по-видимому, вторичных) зафиксирована и анализом на электронном микроскопе. Сульфиды меди определены качественным анализом (рис. 5-V.3; таб. 5-6, обр. 173, ан. d; рис. 5-VIII.1; таб. 5-6, обр. 822, ан. а). Иногда сульфид образует кайму вокруг меди. Эта кайма содержит 73,2% Cu, 3% Fe и 23,7% S (рис. 5-V.2; таб. 5-4; 5-5, обр. 173, ан. 1).

Вся описанная минералогическая группа относится к лепешкообразным шлакам и является результатом плавки руды в серпентинизированных ультраосновных породах.

Микроструктура этой группы синташтинских шлаков для Северной Евразии очень специфична. В эпоху поздней бронзы шлаки, содержащие хромиты с хорошо выкристаллизовавшимися кристаллами оливина, здесь, практически, не известны. Параллели этому шлаку есть в Юго-Восточной Анатолии, на поселении Норшун Тепе (Hauptmann u.a., 1993, Abb. 10, 13), что указывает на идентичное сырье и технологию плавки.

Шлаки II минералогической группы

Во вторую (II) группу включены шлаки, образовавшиеся после плавки руды, связанной с кварцем. Кварц представлен преимущественно небольшими частицами. Иногда растрескавшиеся и оплавленные зерна кварца содержат включения куприта и меди. В ряде случаев кварц идет в ассоциации с малахитом. В отдельных образцах расплав перенасыщен кварцем. В первую очередь это касается образцов, полученных на руднике Таш-Казган. Хромит в образцах второй группы отсутствует.

Значительно хуже прошла и оливиновая кристаллизация. Здесь оливин образовывался в ходе реакции железосодержащих минералов с кварцем. Это хорошо заметно, поскольку зерна кварца обычно окружены оливиновой реакционной каймой.

Оливин представлен обычно удлинённо-скелетными и игольчатыми структурами. Часто это лишь зародыши кристаллизации. На многих участках оливиновая кристаллизация не прошла вовсе. Обычно содержание оливина колеблется в пределах 15—25%, очень редко поднимаясь выше, до 40—50%. Лишь в двух образцах с поселения Аркаим содержание его достигает 60—70%. Почти все образцы этой группы относятся к типу

бесформенных шлаков. Исключение составляют образцы с повышенным содержанием оливина. В этих случаях расплав менее вязок, и шлак, застывая, образует лепешкообразную форму.

Магнетит в образцах этой группы крайне редок. Представлен он мелкими скелетами, дендритами и едва заметной сыпью. Только в нескольких образцах поселения Аркаим наблюдаются более крупные кристаллы. Обычно количество его не превышает 1—5%. Свыше 10% его содержится лишь в нескольких образцах Аркаима. Вероятно, столь незначительное количество магнетита объясняется тем, что он реагирует с кварцем, образуя фаялитовый расплав. Заметно, что сформировался магнетит путем замещения какого-то железосодержащего минерала, возможно лимонита.

Присутствие магнетита и оливиновая кристаллизация указывают на возможность использования флюсовых железосодержащих добавок для того, чтобы уменьшить вязкость шлака при плавке кварцсодержащей руды. Но, с другой стороны, железосодержащие компоненты могли поступать и вместе с рудой. Благодаря им потери металла в виде королек меди незначительны (0,2—2%). Куприта в шлаке не намного больше. Он присутствует в виде королек и зерен, заполняет трещины и замещает рудные минералы. Крайне редко куприт встречается в виде дендритов, окружающих иголки делафоссита. Аномально выглядят лишь четыре образца поселения Устье, где содержание куприта достигает 3,5—7,5%.

Руда во всех образцах этой группы представлена малахитом. Только в трех образцах поселения Устье обнаружены корольки и зерна халькозина и ковеллина. Изредка встречаются и изотропные медные сульфиды, описанные выше.

Шлаки III минералогической группы

В третью (III) группу включены образцы, содержащие наряду с зернами кварца зерна хромита (рис. 5-I.2; 5-II.3). Присутствие кварца было подтверждено анализом на электронном микроскопе (рис. 5-V.2; таб. 5-6, обр. 173, ан. с). Можно предположить, что при компоновке шихты в этом случае использовалась руда в серпентинизированных ультраосновных породах, к которой добавлялся кварц в качестве флюсов. Однако в ряде случаев видно, что оруденение связано и с кварцем. Это позволяет предполагать двухкомпонентный состав шихты с использованием руды в серпентинитах и кварцевых жилах. Но необходимо подчеркнуть, что ассоциации руды с кварцем встречены не часто, количество кварца не велико, и часть его могла попадать в шихту случайно, в то время как основания классификации шлака по признаку присутствия не количественные, а качественные. Поэтому принципиально этот шлак не отличается от шлака первой минералогической группы.

Основным включением в шлаках этой группы являются кристаллы оливина в стекле. Оливиновая кристаллизация представлена, в первую очередь, удлиненно-скелетными и игольчатыми структурами. Несколько реже присутствуют удлиненно-призматические формы. Иногда оливин образует шлаковую реакционную кайму вокруг зерен кварца или серпентинита. Содержание оливина составляет обычно 40—60%, реже 20—40%. В нескольких образцах городища Аркаим оливина значительно больше (60—70%).

Магнетит образуется из зерен хромита, замещая его по краям. Он представлен мелкими октаэдрами, скелетами и зародышами (рис. 5-I.2). Иногда встречаются и магнетитовые дендриты. Количество магнетита в шлаке этой группы невелико. Обычно оно не превышает 1% и крайне редко достигает 3%. Объясняется это тем, что магнетит, взаимодействуя с кварцем и серпентинитом, образует оливиновый расплав, что приводит к формированию кристаллов оливина. В нескольких случаях содержание магнетита в шлаке превышает 8—15%. Однако большая его часть образуется не замещением хроми-

та, а путем отделения от крупных раздробленных магнетитовых тел, сформировавшихся, вероятно, в результате металлургических реакций из лимонита.

Корольки меди в шлаках этой группы встречаются редко. Потери ее колеблются в пределах 0,1—1%. Куприта тоже немного. Он заполняет трещины, образует корольки, замещает рудные тела. Правда, более вероятно, что куприт, заполняющий трещины, явление вторичное, образовавшееся уже в культурном слое.

Рудные минералы представлены, прежде всего, малахитом. В одном из образцов поселения Устье обнаружены зерна и слиток халькозина. Несколько шире рудный спектр на Аркаиме. Помимо повсеместно встречающихся малахита и халькозина, здесь выявлены теннантит, борнит и халькопирит, но в единичных случаях. В отдельных случаях присутствует изотропный сульфид меди.

Шлаки IV минералогической группы

Четвертую (IV) минералогическую группу составляет серия сильно купритизированных шлаков (рис. 5-III.6; 5-IV.4). Кристаллизация в образцах этой группы прошла довольно слабо. Стекло насыщено корольками куприта и мелкими зародышами купритовой кристаллизации, различимыми лишь при увеличении 950. Иногда присутствуют дендриты куприта и кайма куприта или медного сульфида вокруг корольков меди. Наибольшее количество куприта содержится в образцах с поселений Синташта XIII и Устье. Здесь его содержание достигает 50%. Несколько меньше его (30—50%) присутствует в образцах других памятников. Минимальное количество куприта (10—15%) выявлено в четырех образцах поселения Синташта. Несколько отличается куприт и в образцах поселения Семиозерки II. Он представлен деформированными корольками различных размеров и дендритами. К скоплениям куприта приурочены иглы делафоссита.

Фазовый анализ, осуществленный оптическим способом, был проверен с помощью электронного микроскопа. Изучение одного из образцов с поселения Семиозерки выявило делафоссит (рис. 5-V.5; таб. 5-4; 5-5, обр. 221, ан. 1). Определенные минералогическим анализом дендриты куприта первоначально были определены как силикаты (рис. 5-V.5; таб. 5-4; 5-5, обр. 221, ан. 2, 3), однако, поскольку исследуемые включения слишком малы, выяснилось, что силикатный фон дало стекло. Дендриты являются купритом и сформировались, следовательно, в ходе металлургических процессов в результате кристаллизации из расплава. Стекло насыщено медью (12,2%) и примесью мышьяка (1,6%) (рис. 5-V.5; таб. 5-4; 5-5, обр. 221, ан. 4). Более крупные включения куприта, которые из расплава не кристаллизовались, могут содержать небольшие примеси железа (рис. 5-V.6; таб. 5-4; 5-5, обр. 221, ан. 5). Кроме того, в данном шлаке зафиксирован гематит (рис. 5-V.6; таб. 5-4; 5-5, обр. 221, ан. 6). Все это однозначно указывает на окислительную атмосферу плавки.

Меди в шлаке IV группы значительно больше, чем в образцах других групп (3—5%). Корольки меди сильно деформированы, что указывает на значительную вязкость расплава. Зерна магнетита и зародыши оливиновой кристаллизации выявлены только в некоторых образцах поселения Синташта. В этих образцах, а также в образцах поселения Синташта XIII удивляет полное отсутствие частиц руды. Поэтому нельзя исключать того, что шлаки с этих памятников, включенные в данную группу, были получены при металлообработке. Кристаллы куприта в них тоже более мелкие и насыщают раствор более густо. В стекле встречен очень мелкий обломочный материал, не идентифицируемый в отраженном свете. Зато в образцах с других памятников рудный материал представлен хорошо. В первую очередь это малахит.

Определить рудную базу этой группы довольно сложно. Вероятно, она неоднородна. В шлаках поселений Синташта и Синташта XIII рудовмещающие породы не выявлены.

Встречены лишь отдельные кварцевые песчинки. В шлаках же поселений Устье и Семиозерки II обнаружены включения кварца.

Вся описанная минералогическая группа относится к типу бесформенных шлаков.

Шлаки, не отнесенные к группам

Наконец, несколько образцов не вошло ни в одну из основных групп. Образец № 8 с поселения Синташта представлял собой магнетитовый шлак. Магнетит в нем образует дендриты, скелеты и октаэдры. Его большое количество (30—35%) приводило к более высоким потерям металла. В шлаке оседало 3—4% меди.

Отличались от прочих и два легких, пористых, бесформенных образца поселения Аркаим. Кристаллизация в них не прошла вовсе. Изредка фиксируются зародыши фаялита или магнетита, встречаются корольки меди или куприта. Остатков рудонесущей породы в шлаке не зафиксировано. Возможно, эти шлаки образовались в результате металлообработки, или же, что тоже вполне вероятно, это поплывшая обмазка печи. Чтобы ответить на этот вопрос, необходим анализ данных образцов под микроскопом в проходящем свете, но это выходило за рамки поставленных перед работой задач.

Образец шлака (№ 12) с североказахстанского поселения Петровка II, датируемый петровской культурой, представлен бесформенным куском шлака. В шлаке очень хорошо прошла кристаллизация оливина. Он представлен обычно удлиненными призмами, реже таблитчатыми кристаллами, между которыми прорастают скелетно-игольчатые формы. Довольно много октаэдров магнетита. Между оливином из расплава выпадает мелкая магнетитовая сыпь. Хорошо представлены и корольки меди. Иногда встречаются рудные тела, замещаемые медью. Первоначально это был, по-видимому, малахит, иногда малахит с сульфидом.

Хорошо фиксируется распад октаэдров магнетита из более крупных зерен. Источник руды не ясен, но в шлаке присутствуют как железистые, так и силикатные компоненты. На данном этапе нельзя сказать — вызвано это первоначальными параметрами руды или флюсами. Встречен расплав сульфида, изредка мелкие зернышки сульфида, замещаемые по краям купритом. По своим параметрам шлак близок синташтинскому, но отсутствие надежных индикаторов рудовмещающей породы не позволило отнести его к определенной группе.

Химический анализ

Таким образом, как следует из минералогического изучения руды и шлака, основными сырьевыми источниками этого времени были месторождения в ультраосновных серпентинизированных породах. Подобные месторождения со следами древних выработок в Зауралье известны. Это Майлы-Юрт, Воровская Яма, Ишкининское, Ивановское, Дергамышское (Зайков и др., 2005). Некоторые вопросы рудной базы и технологии плавки подобных руд помогают осветить химические анализы руды и шлака.

В различные годы и на различной лабораторной базе (в химической лаборатории Челябинской геолого-съемочной экспедиции и в Activation Laboratories Ltd., Ancaster, Ontario, Canada) был сделан ряд химических анализов древних шлаков Урало-Иртышского междуречья, датируемых эпохой бронзы (таб. 5-11, 5-12).

Исследования руд Синташты выявили преимущественное использование руды из серпентинитов (Григорьев, 2000, с. 472). Этот минерал довольно тугоплавкий и имеет магнезиальный оливиновый состав. Поэтому существовала необходимость более тщательной выборки рудных тел из рудовмещающей породы и использования флюсов. Необходимо было увеличивать долю железистого компонента. Не исключалось, что для этой цели использовался железистый чаграйский песчаник, находки которого весьма

Таб. 5-11
Химические анализы шлака и руды, выполненные в Activation Laboratories Ltd. (XRF) (%)

№	Памятник	Материал	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %	TOTAL %	Ba ppm	Sr ppm	Y ppm	Sc ppm	Zr ppm	Be ppm	V ppm
1781	Аркам	шлак	31,60	4,73	57,48	0,124	5,21	2,44	0,17	0,54	0,391	0,29	-3,88	99,10	385	165	11	14	71	-1	118
1787	Аркам	шлак	51,06	6,55	35,62	0,191	3,37	2,55	0,07	1,78	0,289	0,33	-2,70	99,11	1255	227	30	15	105	-1	202
1789	Аркам	шлак	32,61	3,75	58,93	0,083	5,50	1,70	0,24	0,77	0,172	0,20	-4,94	99,02	366	119	13	15	41	-1	124
1792	Аркам	шлак	25,53	3,63	66,42	0,111	5,00	1,78	0,30	0,81	0,225	0,17	-4,46	99,51	401	154	11	21	35	-1	133
1795	Сингашта	руда в сланце	58,42	3,37	6,90	0,193	0,68	5,84	0,34	0,38	0,072	0,13	13,71	90,04	494	112	97	62	42	1	542
1797	Сингашта	чгр. песчаник	54,41	1,63	39,90	0,014	0,21	1,02	0,44	0,12	0,081	0,79	1,84	100,46	53	89	11	37	59	7	16
1798	Сингашта	шлак	38,72	8,52	45,06	0,089	2,97	2,14	0,35	2,23	0,341	0,61	-3,11	97,91	692	163	41	25	74	-1	445
1799	Сингашта	шлак	36,36	3,22	41,33	0,349	11,63	4,89	0,47	1,18	0,150	0,39	-2,44	97,53	463	492	7	11	21	-1	54
1822	Сингашта	руда	35,83	1,60	14,51	0,038	26,11	0,23	0,41	0,10	0,065	0,05	15,89	94,82	10	35	3	20	2	-1	77
1923	Тюбьяк	шлак	30,95	2,90	55,64	0,087	2,37	2,66	0,14	1,31	0,244	0,50	-3,44	93,36	212	111	19	8	36	2	124
1925	Тюбьяк	шлак	46,25	3,30	31,75	0,077	9,75	5,52	0,14	0,70	0,157	0,33	-2,39	95,59	329	121	4	13	37	-1	90
1937	Беретовское	шлак	17,21	2,84	19,19	0,043	0,98	5,12	0,37	1,05	0,145	1,58	3,32	51,85	115200	3740	11	3	59	-1	128
1941	Беретовское	шлак	36,35	5,39	11,90	0,052	1,01	3,73	1,11	0,88	0,266	1,10	5,48	67,25	42930	2554	12	7	143	-1	260
1942	Бирек I	шлак	35,71	5,11	10,32	0,063	1,07	4,32	1,04	0,92	0,250	1,32	7,36	67,48	43020	2645	12	8	130	1	231
1946	Сингашта	шлак	36,31	8,40	46,29	0,107	3,41	2,05	0,46	2,11	0,484	0,24	-2,73	97,13	1037	196	39	38	100	2	318
2027	Каргалы	руда	15,99	2,81	1,66	0,013	0,51	0,54	0,57	0,44	0,124	0,04	22,48	45,18	52580	3399	9	6	35	-1	32
2165	Дергамыш	руда	36,46	10,46	9,34	0,077	15,80	0,75	0,01	0,04	0,192	0,01	17,88	91,03	9	39	2	21	19	-1	77
2167	Ишкенино	руда	29,59	0,34	15,20	0,056	26,70	0,15	-0,01	0,06	0,008	0,01	15,66	87,79	4	3	-1	4	7	-1	9
2172	Ишкенино	руда	27,74	9,61	18,47	0,014	5,47	0,64	0,05	0,06	0,050	0,04	21,67	83,82	12	44	1	76	14	-1	124
2176	Воровская Яма	руда	21,09	1,08	20,43	0,798	0,13	17,47	-0,01	0,10	0,014	0,18	12,48	73,78	282	13	6	4	12	-1	60

Таб. 5-12

**Химические анализы шлака и руды, выполненные в химической лаборатории
Челябинской геолого-съемочной экспедиции (%)**

№	Памятник	Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	TiO ₂	MgO	K ₂ O	Cu
13	Петровка II	шлак	53,50	0	9,76	0	20,4	0	1,51	0	0			
46	Новоникольское	шлак	29,6	0	2,85	0	39,4	0	10,4	0	0			
54	Вишневка	шлак	23,6	0	2,52	0	46,9	0	7,36	0	0			
61	Синташта	шлак	43,6	0	1,65	0	29,3	0	1,2	0	0			
63	Синташта	шлак	34,5	0	2,2	0	39,6	0	2,77	0	0			
83	Синташта	шлак	10,8	0	0,4	0	0,21	0	0,42	0	0			
677	Аркаим	шлак	40,9	4,83	0	0,11	32,8	10,26	1,98	0,07	0,31			
678	Аркаим	шлак	31,1	4,35	0	0,19	43,7	7,53	2,66	0,09	0,28			
682	Аркаим	шлак	29,9	3,57	0	0,13	50,2	3,66	2,34	0,15	0,32			
686	Аркаим	шлак	30,8	3,57	0	0,12	47,8	4,85	2,39	0,15	0,32			
690	Аркаим	шлак	21,9	4,63	0	0,11	49,6	5,68	1,67	0,12	0,24			
2106	Никольское	руда	49,48	5,19		0,11		5,68	1,43	1,56		1,38	0,21	21,53
2126	Никольское	руда	30,64	5,94		0,07		17,67	1,43	0,13		9,5	0,07	17

типичны для этого поселения. Но эту гипотезу можно было проверить только химическим анализом.

Соотношение компонентов шихты

Все анализы были подвергнуты дополнительной статистической обработке и разделены на окислы, влияющие на повышение и понижение вязкости, и высчитан коэффициент основности (см. Введение, таб. 5-13). Для каждого образца была получена сумма этих окислов. В выборке приводятся не только синташтинские шлаки, но и образцы абашевские и петровские прилегающих районов, что позволяет делать сопоставление между ними.

При расчетах по формулам, изложенным во введении, мы получаем следующую картину группировки шлака и руды по химическому составу. Подавляющее большинство шлака синташтинского времени имеет основной состав. К средним, кислым и ультракислым относятся единичные образцы. В руде же синташтинских поселений и используемых рудников мы наблюдаем иную закономерность. Руда относится чаще к кислой или средней группе. Подобные изменения невозможны без специальной компоновки шихты или сортировки руды.

Соотношение кислотных и основных групп показано в таблице 5-13. К сожалению, в выборке было задействовано малое количество руды. Полученный коэффициент для руды варьировал в пределах 0,16—1,74. В шлаке синташтинских и абашевских (Тюбьяк) поселений этот коэффициент был выше, колеблясь в пределах 0,1—2,52. Средний коэффициент для руды составил 0,82, а для шлака 1,4. При этом, данная ситуация не могла быть выправлена добавкой в шихту чаграйского песчаника, для которого данный коэффициент составляет 0,78. Следовательно, в шихту могли добавляться иные компоненты, например, дробленые кости и оксиды железа. Использование дробленых костей в шихте в синташтинское время установлено. Однако они не могли столь резко изменить ситуацию, поскольку сумма K₂O и CaO в шлаке этого времени варьирует от 2,47 до 6,22%.

Интересную картину дает и расчет коэффициента соотношения железистых и магнезиальных компонентов (таб. 5-14). В плавку в эту эпоху активно использовались руды из серпентинитов, в которых магнезиальный компонент очень выражен. Действительно, в руде этот коэффициент обычно колеблется от 0,56 до 3,38. Выше он в образце из углесто-кремнистого сланца (10,15) и аномально высок в образце с рудника Воронья Яма (157,15). В шлаках же это соотношение колеблется в пределах 3,26—23,48. При

Таб. 5-13

Коэффициенты основности руды и шлака.

№	Памятник	Материал	Коэффициент основности	Группа
2176	Воровская Яма	Руда	1,74	Основная
1792	Аркаим	Шлак	2,52	Ультраосновная
1923	Тюбьяк	Шлак	1,80	Основная
1781	Аркаим	Шлак	1,78	Основная
1789	Аркаим	Шлак	1,83	Основная
1946	Синташта	Шлак	1,70	Основная
690	Аркаим	Шлак	2,13	Основная
54	Вишневка	Шлак	2,41	Основная
46	Новоникольское	Шлак	1,78	Основная
682	Аркаим	Шлак	1,67	Основная
686	Аркаим	Шлак	1,59	Основная
678	Аркаим	Шлак	1,51	Основная
1799	Синташта	Шлак	1,71	Основная
1798	Синташта	Шлак	1,55	Основная
2167	Ишкинино	Руда	1,41	Средняя
1822	Синташта	Руда	1,10	Средняя
1937	Береговское	Шлак	1,23	Средняя
63	Синташта	Шлак	1,29	Средняя
1925	Тюбьяк	Шлак	1,10	Средняя
2172	Ишкинино	Руда	0,66	Кислая
2165	Дергамыш	Руда	0,99	Кислая
1797	Синташта	Чаграйский песчаник	0,78	Кислая
1942	Бирск I	Шлак	0,61	Кислая
1941	Береговское	Шлак	0,64	Кислая
1787	Аркаим	Шлак	0,97	Кислая
677	Аркаим	Шлак	0,98	Кислая
61	Синташта	Шлак	0,74	Кислая
2126	Дергамыш	Руда	0,79	Кислая
2161	Ишкинино	Руда	0,68	Кислая
13	Петровка II	Шлак	0,59	Кислая
1795	Синташта	Руда в кремнистом сланце	0,30	Ультракислая
2106	Никольский	Руда	0,16	Ультракислая
83	Синташта	Шлак	0,10	Ультракислая

этом, среднее значение для руды составляет 1,2, а для шлака 12,14. То есть, в шлаке относительно руды соотношение железистых и магнезиальных компонентов резко меняется.

При обсуждении оптического анализа шлака мы отмечали, что магнетит в шлаке чаще формируется из какого-то железного оксида.

На первый взгляд, это указывает на использование железосодержащих флюсов. Но строгих археологических и аналитических данных в пользу этого нет. Исходя из вышеприведенной таблицы, таким флюсом с успехом мог бы выступать чаграйский песчаник, куски которого очень часто встречаются на синташтинских памятниках. Но в нем велика доля силикатного компонента, а от руды к шлаку мы наблюдаем неизменный дрейф от кислого к основному составу. Для этих целей можно было бы подобрать иные охристые породы. Не исключено, что данная ситуация объясняется тем, что синташтинские металлурги тщательно сортировали руду, отбирая рудные включения из более железистых оливинов. Обилие руды в магнезиальном хризотиловом серпентините на

поселении Синташта было, как раз, и связано с тем, что это были отходы, не поступавшие в плавку. В противоположность этому, на Аркаиме руда представлена редкими небольшими кусочками в железистых оксидах. Трудно объяснить, чем вызвана столь контрастная картина. В качестве гипотезы можно предположить, что население Аркаима более тщательно сортировало руду на рудниках, а население Синташты окончательную сортировку руды производило на поселениях. Это могло быть вызвано большей близостью Синташты к эксплуатируемым месторождениям по сравнению с Аркаимом, но, как мы увидим далее, это не так. Следовательно, проблема вызвана разницей в организации эксплуатации рудников.

В шлаках поселения Аркаим силикатный компонент варьирует от 22 до 51%, а в шлаках Синташты от 10 до 43%. Однако среднее значение для обоих памятников составляет 33%. Это довольно близко содержанию силикатного компонента на рудниках Ишкининский и Дергамыш, что тоже заставляет сомневаться в использовании железистых оксидов в качестве флюсов, и указывает на эксплуатацию месторождений данного типа.

Таб. 5-14

Коэффициент соотношения железистых и магниезальных компонентов

Образец	Памятник	Материал	FeO/MgO
1822	Синташта	руда	0,56
2167	Ишкинино	руда	0,57
2165	Дергамыш	руда	0,59
2161	Никольское	руда	0,82
2126	Никольское	руда	1,86
2027	Каргалы	руда	3,25
1925	Тюбьяк	шлак	3,26
2172	Ишкинино	руда	3,38
1799	Синташта	шлак	3,55
2106	Никольское	руда	4,12
1942	Бирск I	шлак	9,64
1795	Синташта	руда в сланце	10,15
1787	Аркаим	шлак	10,57
1789	Аркаим	шлак	10,71
1781	Аркаим	шлак	11,03
1941	Береговское	шлак	11,78
1792	Аркаим	шлак	13,28
1946	Синташта	шлак	13,57
1798	Синташта	шлак	15,17
1937	Береговское	шлак	19,58
1923	Тюбьяк	шлак	23,48
2176	Воровская Яма	руда	157,15
1797	Синташта	чаграйский песчаник	190

Содержание Al_2O_3 в шлаке по сравнению с рудой даже несколько снижается (4,79% в руде и 3,78% в шлаке) (таб. 5-15). В принципе, как мы видели из анализов экспериментальных работ, за счет протекания обмазки это содержание в шлаке увеличивается, но незначительно (если не рассматривать керамзитовые шлаки). Снижение же объясняется как сортировкой руды, так и добавками флюсов. Судя по всему, обмазка печей была достаточно качественной и редко оплавлялась.

В шлаке заметен рост содержания калия (0,15% в руде и 1,19% в шлаке). Но, как следует из наших экспериментальных работ, небольшой рост содержания кальция и калия в шлаке хорошо объясняется переходом его из золы.

Использование костей или кусочков кальцита в качестве флюсов имеет археологическое подтверждение. Это должно было оказывать воздействие на содержание такого элемента, как кальций, а использование костей также на содержание кальция и фосфора.

Содержание кальция в руде в среднем даже несколько выше, чем в шлаке (2,88 и 2,72%), но это обусловлено тем, что при небольшой выборке в руде учтен анализ из

Таб. 5-15

Среднее содержание оксидов алюминия, кальция, калия и фосфора (в %) в руде и шлаке синташтинского времени

	Al_2O_3	CaO	K_2O	P_2O_5
Руда	4,79	1,25	0,15	0,07
Шлак	3,78	2,72	1,19	0,59

Воровской Ямы с очень высоким содержанием этого компонента. Без него среднее содержание кальция в руде составляет 1,25%, и мы видим его небольшое увеличение в шлаке, что, в целом, соответствует ожидаемому результату. Однако рост кальция, как и калия, может быть объяснено переходом из золы, а также металлургическими переделами, так как в металл эти элементы не переходят, и рост их содержания в шлаке естественен. Но искусственность добавок кальция подтверждается ростом содержания фосфора (среднее значение 0,07% в руде и 0,59% в шлаке). При этом четкой зависимости между содержанием калия и фосфора не наблюдается, что указывает на то, что калий переходит в шлак из золы. А между содержанием кальция и фосфора такая зависимость прослеживается (рис. 5-16). Все это явно указывает на использование в качестве флюсов костей животных.

В шлаках поселения Аркаим содержится несколько больше оксида марганца, чем в шлаке Синташты, однако на данном этапе трудно объяснить эти различия. Скорее всего, они связаны с некоторыми различиями в рудной базе.

На основании обработки данных химических анализов можно говорить о правомерности сделанного ранее вывода об использовании металлургами средней бронзы

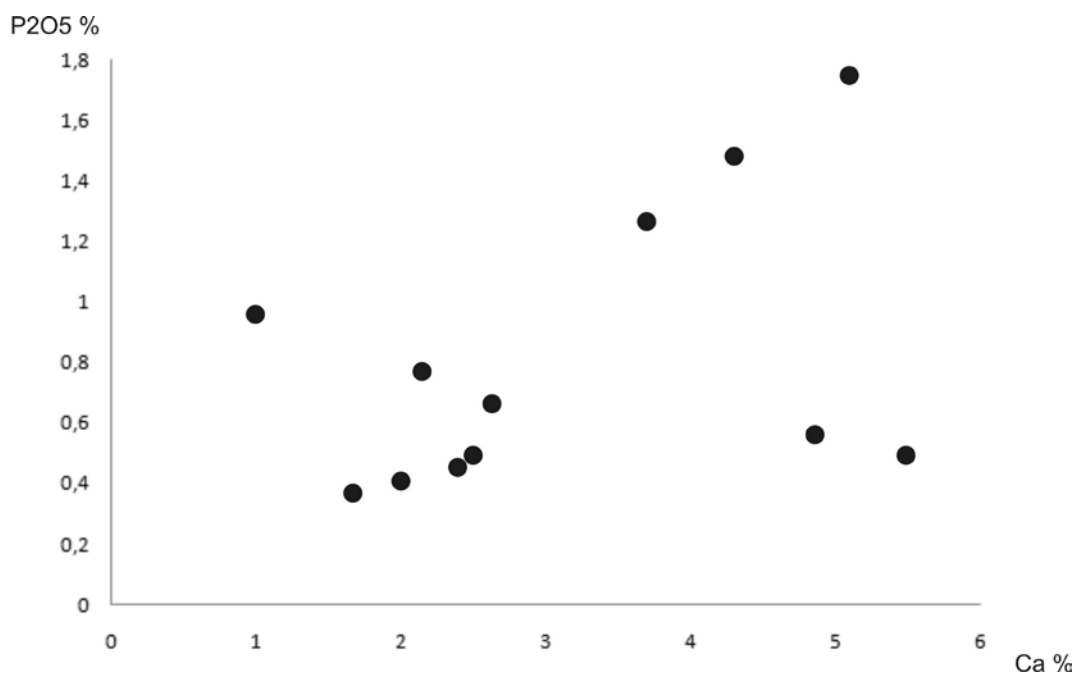


Рис. 5-16. Корреляция содержания кальция и фосфора в синташтинском шлаке на основе химических анализов

преимущественно руд из основных и ультраосновных пород. При этом ощущается разница в рудной базе металлургии Синташты и Аркаима. Металлурги Аркаима добывали руду из более ожелезненных пород, или осуществляли тщательную сортировку руды непосредственно в местах ее добычи. Металлурги Синташты приносили на поселение руду из хризотиловых серпентинитов и сортировкой руды занимались непосредственно на поселении. Большая часть образцов руды, обнаруженной на этом поселении, является, по-видимому, отходами производства.

Выявлена очевидная недостаточность использования чаграйского песчаника в качестве флюса металлургами Синташты. Данные же об использовании железосодержащих флюсов отсутствуют, вероятно, имела место тщательная сортировка руды. Более предпочтительны в качестве флюса были, вероятно, дробленые кости животных. Однако, даже если железистый компонент изначально присутствовал в рудовмещающей породе и был оставлен при сортировке, он был оставлен преднамеренно, поскольку металлурги понимали его полезность в плавильном процессе. С этой точки зрения, независимо от его происхождения, его можно рассматривать, все же, в качестве флюса.

В принципе, сходный химический состав шлаков зафиксирован на целом ряде анатолийских поселений Мургул, Невали Чори, Норшунтепе, на памятниках Омана, на Тепе Гиссар в Северо-восточном Иране. Памятники Леванта (Фейнан), а также Сиалк в Иране содержат менее железистые шлаки (Thornton, 2009, p. 315, fig. 6).

Рентгеноструктурный анализ

Дополнительные данные, позволившие осуществить реконструкцию технологии плавки, были получены с помощью рентгеноструктурного метода. Всего на сегодняшний день этому анализу было подвергнуто 40 образцов, но к синташтинско-петровскому времени относятся лишь 13 (таб. 5-17).

Этим методом определяется преимущественно фазовый состав вещества благодаря выяснению характеристик его кристаллической решетки. В шлаках были выявлены различные модификации окислов железа (вюстит, гематит, магнетит), медь и кварц. Особый интерес в данном случае представляет кварц, поскольку прочие вещества хорошо диагностируются под микроскопом. Изучение же кварца в отраженном свете не позволяет достоверно определить его модификацию. В ряде случаев было заметно, что кварц не однороден. Края зерен часто имели более светлую кайму. Однако отнести ее с уверенностью к тридимиту или кристобалиту не представлялось возможным.

Во всех образцах рудника Таш-Казган рентгеноструктурным анализом был выявлен кварц. Другие модификации не зафиксированы. То же можно сказать и об образцах № 5 и 83 поселения Синташта, относящихся к IV минералогической группе. В образцах № 1, 7, 43, 87 этого поселения, относящимся к I, II и III минералогическим группам, помимо кварца был выявлен тридимит. Наконец в образце с поселения Петровка кроме кварца и тридимита зафиксировано высокотемпературное перерождение кварца — кристобалит. Интересно, в данном случае то, что, начиная с эпохи поздней бронзы, кристобалит начинает стабильно присутствовать в шлаке, что указывает на то, что плавки были более высокотемпературными.

Технология плавки

Температуры плавки

Технологические характеристики шлаков I—III минералогических групп достаточно близки. Все они характеризуются наличием хорошо выкристаллизовавшихся кристаллов оливина. Это указывает на температуры, превышавшие 1209 °С. Во всех образцах, помимо расплавленной меди, присутствует расплавленный куприт, а в ряде случаев и

корольки халькозина и ковеллина. Корольки эти хорошо оформлены, имеют правильную округлую форму, что указывает на низкую вязкость расплава и может свидетельствовать о перегреве куприта, который обычно наступает, если в ходе плавки температуры почти достигали 1300 °С. Вместе с тем, не во всех случаях есть уверенность в том, что куприт не является результатом вторичного замещения медных минералов или меди в

Таб. 5-17

Рентгеноструктурные анализы шлака

Образец	Памятник	кварц	тридимит	кристобалит	вюстит	гематит	магнетит	медь
1	Синташта	X	X	?	?	?	X	X
5	Синташта	X				?	?	
7	Синташта	X	X			X	X	X
43	Синташта	X	X		X		X	X
83	Синташта	X		?	X	X	?	
87	Синташта		X			?	X	?
98	Таш-Казган	X						
99	Таш-Казган	X						
100	Таш-Казган	X						
101	Таш-Казган	X						
12	Петровка II	X	X	X	X	?		?
46	Новоникольское	X		X	X		X	
54	Вишневка		?	X	X	X		
44	Саргары	X	?	X		?		X
49	Тельмана XVI	X	X	X	X	?	X	?
27	Мыржик	X	X	X	X	X	?	X
19	Атасу				X			
53	Ак-Мустафа							
90	Шандаша	X	?	?	X			
91	Шандаша	?	?	X	X			
76	Убаган			X				
32	Кипель	X	X		X	?	X	?
81	Язеве III				X			
92	Бакр-Узьяк	X						
93	Бакр-Узьяк	?		X				
94	Бакр-Узьяк	?		X	X	X		
95	Бакр-Узьяк	X	X	X			?	
96	Бакр-Узьяк	X		?			X	
67	Коршуново I	X				X	X	
68	Воробьево	X		X				
69	Воробьево	X		X	X		X	
34	Даутовское I	X	X	X			X	X
35	Даутовское I			X	X	X		X
36	Даутовское I		?	X	X		X	X
37	Даутовское I							
38	Даутовское II	X	?					
39	Даутовское II	X		X		X	X	X
33	Бакальское	X			X	X	?	
97	Гумешки	X				?		
102	Ай-Бунар	X	X	X	?	X	X	

период пока шлак находился в культурном слое поселения. Если образование куприта происходит в поре, то это создает иллюзию расплавленного королька. Обращает на себя внимание отсутствие в шлаке иного оксида меди — тенорита (CuO), который при температуре 1026 °С переходит в куприт (Hauptmann et al., 1994, p. 6). Наличие в шлаке кристаллизующегося магнетита, по-видимому, не позволяет говорить о более высоких температурах, поскольку магнетитовые кристаллы образуются, прежде всего, за счет замещения зерен хромита или лимонита. Некоторое количество дендритов, скелетов и зародышей магнетитовой кристаллизации связано с выпадением из оливинового расплава при более низких температурах, чем точка плавления магнетита (Перепелицын, 1987, с. 84). В пользу этого свидетельствуют и небольшие размеры кристаллов. Подтверж-

дается это предположение также и тем, что в шлаках этих групп хорошо представлен тридимит, но полностью отсутствует кристобалит. Температуры, следовательно, не могли превысить 1470 °С. Все сказанное позволяет заключить, на первый взгляд, что температурные пределы плавки колебались в промежутке 1200—1400 °С. Причем, в зоне высоких температур плавка велась непродолжительное время, поскольку наряду с тридимитом во всех образцах представлен также кварц, не успевший полностью перейти в более высокотемпературную модификацию.

Определение температуры является довольно сложной задачей, однако большинство специалистов, занимавшихся этим вопросом, понимает, что само достижение высоких температур проблемой для древних металлургов не являлось. Более сложно было создать восстановительную атмосферу плавки (Hauptmann et al., 1994, p. 6). Экспериментальные работы, проведенные в Анатолии, показали, что можно получить даже температуру около 1600 °С (Caneva, Giardino, 1994, p. 454). В синташтинских шлаках фиксируемое расплавление и перегрев куприта, как будто, позволяют говорить об очень высоких температурах, достигавших или превышавших 1300 °С.

Это заключение может быть дополнено фазовой температурной диаграммой, построенной для оливинов синташтинских шлаков на основе микрозондового анализа (таб. 5-4; рис. 5-18). На кривой отвердевания все образцы расположены в зоне высокой температуры. Некоторые оливины (образцы 839, ан. 7, 8, 9; 846, ан. 1Wdh; 1870, ан. 5) затвердевали в температурном диапазоне 1200—1300 °С. Кроме того, два из них (обр. 839, ан. 7, 9) являлись периферией кристаллов и были сформированы в конце процесса плавки, затвердевая при температуре около 1200 °С. Таким образом, большая часть образцов демонстрирует температурный интервал 1270—1350 °С. Имеется один анализ (обр. 740, ан. 3), который показывает температуру отвердевания около 1500 °С. Это очень тонкий кристалл, насыщенный магнием. Это не слишком надежные данные, так как такие высокие температуры не могли быть достигнуты, что маркируется отсутствием в шлаке кристобалита. С другой стороны, процесс плавки не ограничен химическими и тепловыми реакциями. В шлаке присутствует также газовая фаза, и термодинамические процессы играют в нем важную роль. Это способствует уменьшению температуры плавления. Вероятно, этим объясняются два анализа расплавленного серпентинита, которые на кривой плавления показывают температуры 1415 °С и 1680 °С (обр. 1870, ан. 2 и 1780, ан. 4). Но почти все нерасплавленные оливины располагаются выше.

Слишком высоким температурам противоречит и наличие мышьяка в шлаке, не сохраняющегося там при температуре выше 1300 °С (Pollard et al., 1990, p. 130—132). Отдельные оплавленные частицы магнетита тоже не могут свидетельствовать в пользу высокой температуры, поскольку в процессе плавки они могли образоваться из вюстита, имеющего низкую точку плавления. В этом случае, мы можем говорить о температурах порядка 1200—1300 °С, хотя на некоторых стадиях плавки температура могла подниматься несколько выше. Это, в целом соответствует современным представлениям историков металлургии о температурах, достигаемых в древности в плавильном производстве.

Скорость остывания расплава

Снижение температуры проходило постепенно, так как скорость остывания расплава в большинстве случаев была явно невелика. Об этом можно судить хотя бы по тому, что оливин выкристаллизовался очень хорошо. Синташтинские шлаки, судя по микроструктуре, формировались непосредственно в печи. Технологически это стадия более ранняя, чем металлургический процесс с выпуском шлака. Последний зафиксирован в Палестине на объектах XIV—XI вв. до н. э. (Vachmann, 1980, p. 110). Для памятников ранней и средней

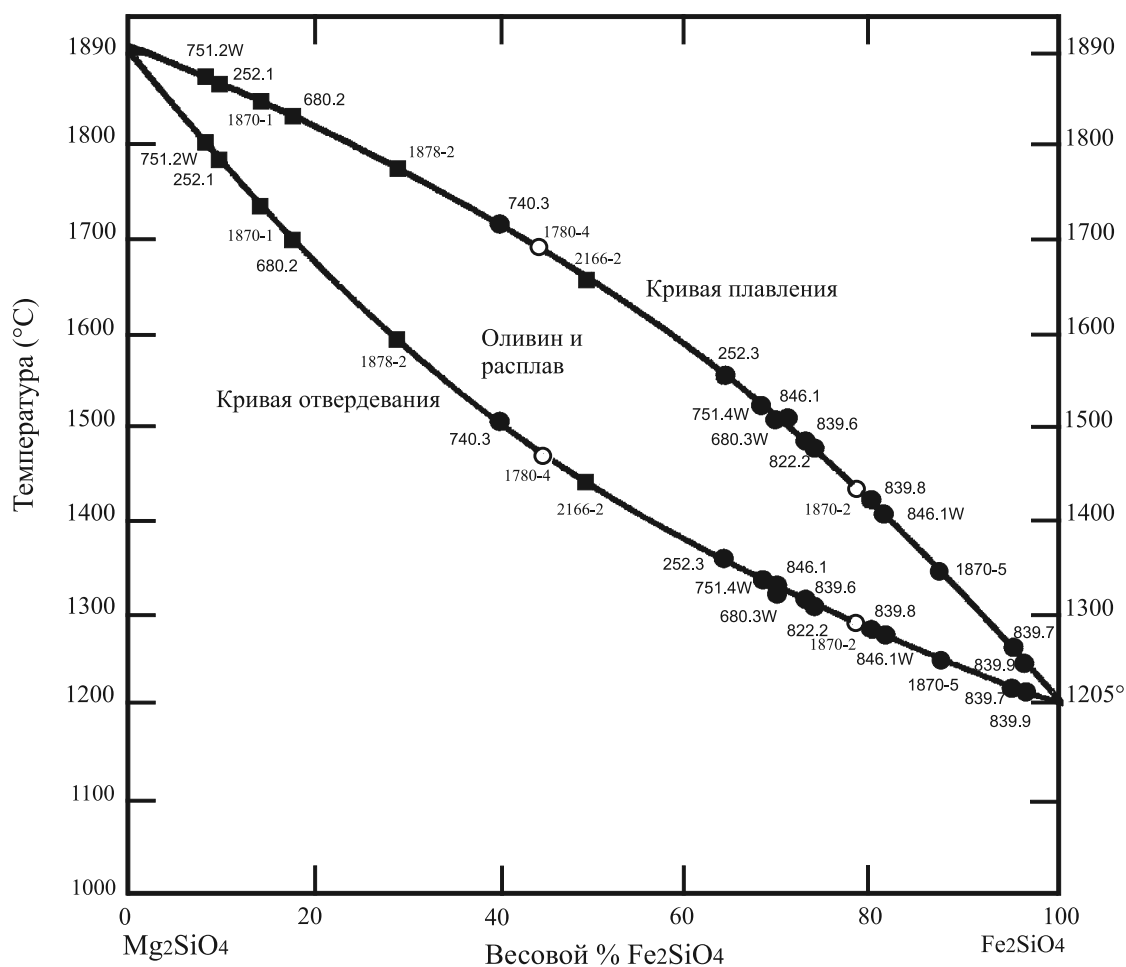


Рис. 5-18. Бинарная система форстерит — фаялит. Черные круги — кристаллы оливина, белые круги — расплавленный серпентинит, квадраты — зерна серпентинита

бронзы Анатолии был реконструирован способ плавки, близкий синташтинскому. Шлаки поселения Мургул, например, содержали довольно крупные кристаллы фаялита, свидетельствующие о достаточно медленной скорости остывания расплава, и о формировании этих шлаков непосредственно в печи при температуре около 1200 °C (Lutz et al., 1991, р. 64, 65). И хотя при прекращении дутья температура резко понижается (Hauptmann et al., 1994, р. 6), скорость остывания расплава все же значительно уступает скорости остывания выпущенного шлака, и крупные кристаллы фаялита успевают оформиться. Наличие в некоторых образцах мелкого игольчатого оливина объясняется их более кислым составом. Но принципиально та же схема плавки использовалась и в иных местах Ближнего Востока, например, в Северо-Восточном Иране, где уже в энеолите отошли от плавки в тиглях и стали плавить в печах.

Атмосфера плавки

Плавка проходила в восстановительной атмосфере. О последнем свидетельствует отсутствие в шлаке гематита и незначительное количество куприта.

Восстановительная атмосфера плавки весьма характерна для синташтинской технологии извлечения металла. Синташтинским металлургам удавалось добиваться ее в полной мере, несмотря на использование преимущественно окисленных руд и на довольно интенсивное дутье, без чего было невозможно достижение высоких

температур, необходимых для получения жидкого шлака при плавке руды в серпентините.

Вероятно, этому способствовала техника нагнетания воздуха в печь. Особенности синташтинского дутья, когда воздух идет по кругу вдоль стенок печи, способствовали более интенсивному образованию монооксида углерода (СО), который является очень важным восстановителем. Как восстановитель мог быть использован и фосфор, который легко реагирует с кислородом и удаляется из шихты. Его источником могли служить как кости животных, так и в отдельных случаях кости рыб, которые были зафиксированы в заполнении одной из печей.

В тех случаях, когда в шихту добавлялись и вторичные сульфиды, реакция восстановления проходила более успешно.

Однако мы не в состоянии судить о роли того или иного фактора в создании восстановительной атмосферы, поскольку нам не известны и вряд ли когда-нибудь будут известны объемы взаимодействовавших таким образом компонентов.

Потери металла и вязкость шлака

Технологию плавки можно оценить как достаточно совершенную. Потери меди были очень невелики. Обычно они колеблются в пределах 0,1—1%. Имеющие значительные параллели с синташтинскими, шлаки РБВ из Мургула содержат оксидов меди в пределах 1—2,7%, что близко синташтинской ситуации (Hauptmann et al., 1993, p. 551). Лишь в шлаках II группы синташтинской культуры потери меди могут быть несколько более высокими и достигать 2%. Объясняется это тем, что этот расплав был более вязок из-за присутствия в нем силикатов. Уменьшение вязкости достигалось, в первую очередь, путем тщательной сортировки руды, когда удалялись силикатные компоненты. Полностью исключать добавки железистых флюсов нельзя, но строгие данные, подтверждающие это, отсутствуют, что мы обсуждали при рассмотрении химических анализов.

Тем не менее, в пользу использования железистых флюсов говорит исследование серпентинита, оливина и стекла в шлаке, осуществленные с помощью электронного микроскопа. Как уже указывалось при описании минералогии шлака, в процессе плавки происходит резкое изменение состава оливина в сторону увеличения доли железа. При этом магний (содержащийся в серпентините) отсутствует в стекле исследуемых образцов. Следовательно, при компоновке шихты использовались оксиды железа в качестве флюса. Серпентиниты достаточно тугоплавки, и это было необходимо для снижения точки плавления и вязкости расплава. Первоначально происходило образование оливина, содержащего магний, что может указывать на довольно высокие температуры плавки. Затем по краям сформированных кристаллов шло образование фаялита. Вскоре вязкость расплава начинала резко повышаться, поскольку после удаления части железа образовывался расплав более силикатного состава, и в сформировавшемся стекле доля SiO_2 становилась выше доли FeO . Повышение доли этого компонента зафиксировано в очень многих образцах. Но тот же результат мог быть получен и при сортировке руды, когда железосодержащие компоненты породы перерабатывались и формировали оливиновый расплав, а затем кристаллы, в стекле их не оставалось, а переработанные магнезиальные остатки не говорят о первоначальном составе шихты.

Не исключена также возможность, что добавлялся кальцит, обнаруженный возле одной из печей поселения Аркаим. Но чаще кальцит заменяли мелкими костями, повсеместно встречаемыми в заполнении печей. Обнаружены также мелкие фрагменты пережженных костей, заключенных в шлак.

На использование в качестве флюсов, содержащих кальций, костей животных или кальцита может указывать присутствие в отдельных шлаках повышенных концентраций

данного элемента. Однако данный вид флюсования не был, по-видимому, обязательным, так как высокие концентрации кальция зафиксированы не во всех образцах. К тому же часть кальция могла поступать из золы.

Тем не менее, приведенных данных в пользу того, что при компоновке шихты синташтинские металлурги широко пользовались флюсами, на сегодняшний день пока недостаточно. При этом надо отметить, что чисто теоретически это вполне допустимо, поскольку флюсы в металлургии использовались, возможно, с IV тыс. до н. э. (Tylecote, 1980a, p. 5). Однако эта ситуация не была всеобщей. Все зависело, по-видимому, от характера поступающей в плавку руды. Так, в районе Фейнана в Палестине, в энеолитическое время использовали в плавку малахит в лимонитовой породе, и флюсовые добавки не зафиксированы. Железистый компонент поступал в шихту непосредственно из руды. В РБВ этого региона перешли на эксплуатацию медно-марганцевых руд, которые тоже можно рассматривать, как самофлюсующиеся (Hauptmann, 1987, p. 123, 129—131; он же, 1994, p. 4, 5). Экспериментальная плавка, проведенная из руды, собранной в районе Арслантепе в Восточной Анатолии позволила сделать вывод о том, что эту руду можно плавить без каких-либо флюсов (Palmieri et al., 1993, p. 588). Поэтому, в случае использования руды в лимоните (а таковая, например, зафиксирована на Аркаиме), флюсы могли и не использоваться. Вместе с тем, исследования металлургических остатков Синайского полуострова и пустыни Негев, датируемых XIV—XI вв до н. э. позволили сделать вывод о том, что здесь, в зависимости от характера руды, в качестве флюсов использовались силикаты или оксиды железа (Bachmann, 1980, p. 110). Добавки кварца и окислов железа для создания фаялитового расплава имело место и в энеолитическом слое поселения Мургул в Северо-восточной Анатолии (Lutz et al., 1991, p. 64). На Кипре, где использовались руды, близкие синташтинским рудам Зауралья, найдены кучи обожженных костей, которые, вероятно, использовались как флюс (Tylecote, 1982, p. 81).

Для синташтинской металлургии использование в качестве флюсов кварца сомнительно, поскольку в шлаках второй и третьей минералогических групп кварц часто ассоциируется с рудой, что указывает на то, что он был в руде, а серпентиниты, служившие основой для получения шлака I минералогической группы, содержат достаточно много силикатов.

На другом восточноанатолийском поселении Норшун Тепе зафиксировано использование в качестве флюсов хлорида (Zwicker, 1980, p. 17). Исследование выпущенного кнебелитового шлака с юга Палестины выявило употребление марганцевых флюсов, которые позволяли получать жидкотекучий шлак при температуре около 1300 °C (Bachmann, 1980, p. 111).

Низкая вязкость расплава была подтверждена расчетами. Для синташтинских шлаков при температуре 1400 °C вязкость колеблется от 0 до 5,94 Pa·s, со средним значением 2,82 Pa·s (табл. 5-19). Приуральские шлаки этого времени более вязки: от 2,18 до 9,91 Pa·s (среднее значение 5,88 Pa·s). Шихта, полученная из руды Дергамышского и Ишкининского месторождений в ультрабазитах, при расплавлении имела бы вязкость 3,46 и 4,50 Pa·s, что чуть выше средних синташтинских значений и компенсировалось, вероятно, сортировкой и незначительными добавками флюсов. Руда Никольского рудника в кварцевой породе давала бы максимальную вязкость.

Вес шихты и получаемой меди

Форма шлака I и II групп (рис. 5-1) позволяет высчитывать массу загружаемой в печь шихты и получаемого конечного продукта. При значительном количестве фрагментов шлака на поселениях не было обнаружено ни одной целой шлаковой лепешки, поскольку металл извлекался после полного остывания печи, когда шлак успевал застыть и захватить краями слиток. Поэтому для извлечения металла шлаковые лепешки

Соотношение окислов снижающих вязкость (TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO , K_2O , CaO , Na_2O) к окислам, повышающим ее (SiO_2 , Al_2O_3) — коэффициент K_z и коэффициент вязкости (η Pa·s) при температуре 1400°C , рассчитанный по Bachmann и.а., 1987.

№	Памятник	Материал	K_z	η 1400 (Pa·s)
1781	Аркаим	шлак	1,83	0,00
1792	Аркаим	шлак	2,57	1,46
1789	Аркаим	шлак	1,86	2,19
1799	Синташта	шлак	1,53	2,76
1946	Синташта	шлак	1,23	3,52
1798	Синташта	шлак	1,14	3,85
1787	Аркаим	шлак	0,77	5,94
1923	Тюбяк	шлак	1,86	2,18
1937	Береговское	шлак	1,42	3,00
1925	Тюбяк	шлак	0,98	4,56
1941	Береговское	шлак	0,48	9,75
1942	Бирск I	шлак	0,47	9,91
2126	Дергамыш	руда	1,25	3,46
2161	Ишкинино	руда	0,99	4,50
2106	Никольский	руда	0,58	7,95

приходилось разбивать. Обломки имеют разные размеры и толщину. Однако удалось выяснить, что диаметр шлаковых лепешек чаще всего колебался в пределах 13—15 см, иногда — в пределах 10—17 см, вес составлял 300—900 г, но, как правило, 400—600 г. Диаметр и толщина медных слитков были получены путем вычитания от размеров диаметра и толщины шлака соответствующих показателей валиковых утолщений по краям. Диаметр медных слитков колебался в пределах 8—13 см, а толщина — 0,5—1 см. С учетом того, что плотность меди составляет 8,9 г/куб. см. (Гуляев, 1986, с. 509), вес слитков укладывается в промежуток 50—130 г. Суммируя его с весом шлака, мы можем констатировать, что вес шихты колебался в пределах 0,5—1 кг. Таким образом, медь составляла 10—15% шихты. Безусловно, руда до обогащения была значительно беднее. Условия минерализации серпентинитов таковы, что оруденение является прожилково-вкрапленным.

Выше уже было упомянуто, что идентичные по форме шлаки известны на Ближнем Востоке. Некоторые из них, например, шлаки из Мургула в Восточной Анатолии, отличаются большей толщиной и весом, достигающим до 1,5—3 кг, что обусловлено интенсивным использованием флюсов. Однако сам объем получаемой в Мургуле меди был вполне сопоставим с количеством меди, получаемой синташтинскими металлургами. Он составлял около 100 г (Lutz et al., 1991, p. 60).

Выяснив объем шихты, мы можем предположительно говорить и о количестве угля, необходимого для одной плавки. Экспериментальные плавки в печах небольшого диаметра показали, что соотношение руды и топлива должно быть 2:1 (Bamberger, 1992, p. 157; Bamberger, Wincierz, 1990, p. 123). Следовательно, для одной синташтинской плавки, учитывая сравнительно больший диаметр печей, требовалось около 0,3—0,7 кг древесного угля.

Медь, полученная при плавке руды, требовала рафинирования из-за содержащихся в ней порой примесей железа. Однако археологические следы такого рафинирования не известны.

Второй технологический тип

Таким образом, шлаки I—III минералогических групп можно отнести к одному технологическому типу. На их фоне резко отличаются шлаки IV минералогической группы, характеризующиеся насыщенностью расплава купритом. Это свидетельствует об окислительной атмосфере в печи и более высокой интенсивности дутья, что приводило к большим потерям меди. Мириться с подобными потерями можно было лишь в случае использования более богатых руд.

Температуры, получаемые в ходе плавки, были близки 1200—1300 °С. На это указывают зародыши оливиновой кристаллизации и расплавленный куприт. Однако в некоторых случаях они не превышали 1000 °С. Подтверждением этому служит то, что в двух образцах поселения Синташта рентгеноструктурным анализом не были выявлены высокотемпературные модификации кварца. На низкие температуры некоторых плавок Синташты и Синташты XIII указывает также то, что медь и куприт здесь редко образуют правильные корольки. Чаще они деформированы или представлены и вовсе частицами. Поэтому наиболее вероятно, что эта группа шлаков Синташты является продуктом металлообработки.

На таких памятниках, как Тюбьяк, Устье, Семиозерки II, температуры, достигаемые при плавке, давшей шлаки этой группы, значительно выше. Как уже говорилось, они колебались в пределах 1200—1300 °С.

Вязкость шлака была более высокой. Для шлаков поселения Синташта это объясняется более низкими температурами, для шлаков других памятников — наличием более тугоплавких составляющих в виде куприта и силикатным расплавом. Это вело и к более высокой скорости затвердевания расплава.

Почти полное отсутствие оливина говорит о том, что флюсовые добавки почти не употреблялись, хотя плавка кварцевых пород, в отличие от плавки ультраосновных, этого требует.

В целом об этой технологии можно говорить как о несовершенной. Переход на новое, более тугоплавкое сырье привел к попытке решить проблему путем интенсификации дутья и увеличения температуры, что вызывало большие потери меди. В определенной степени, это разрыв с прежней технологической традицией.

Металлургам петровских поселений Северного Казахстана, по-видимому, удалось решить эту проблему. Достигаемые здесь температуры очень велики, поскольку во всех образцах присутствует кристобалит. Они достигали, возможно, 1500 °С. Это было возможно лишь при очень интенсивном дутье. Тем не менее, атмосфера в печи была восстановительная. Куприт практически не выявлен. Шихта была хорошо подобрана. Соотношение окислов железа и кремнезема давало возможность формировать хороший фаялитовый расплав. Благодаря этому, а также высоким температурам, печи остывали очень медленно, позволяя выкристаллизовываться крупным кристаллам фаялита и оседать частицам меди. Потери меди, в результате, оказывались мизерными. Чуть выше (2,98%) они на Петровке II, где это объясняется слишком высоким содержанием кремнезема (53,46%). Однако и в этом случае из-за высоких температур расплав не был слишком вязким.

Самой представительной минералогической группой образцов во всем массиве материала является первая (44,1%). Образцов других групп значительно меньше (таб. 5-20). Так, вторая группа представлена 15,2% образцов, третья — 23,3%, четвертая — 15,9%. Преобладание групп I и III в этой выборке обусловлено преобладанием их на синташтинских памятниках (таб. 5-21), где образцы I группы составляют 59,2%, а вместе с образцами III группы, тоже содержащей хромиты, 81,6%. При этом, следует учитывать то, что кварц не обязательно попадал в руду исключительно с рудонесущей породой, и далеко не во всех образцах выявлены его ассоциации с рудой. Поэтому доля шлаков I

группы была, видимо, выше, что для данной проблемы не столь принципиально, так как не сказывается на соотношении со шлаками II группы, которые маркировались, главным образом, отсутствием в их составе хромитов. Шлаки четвертой минералогической группы на чисто синташтинских памятниках не выявлены.

На синташтинско-петровских поселениях соотношение минералогических групп изменяется. До 37,1% уменьшается количество шлака I группы. Между тем, объем шлака II и III групп либо не изменяется, либо даже слегка возрастает. Metallурги все больше обращаются к руде в кварце. Она могла быть представлена как отдельными рудными источниками, так и включениями на месторождениях в ультраосновных породах. Этот вопрос очень сложно разрешим, однако выявленная тенденция очевидна. На нее же указывает и появление на синташтинско-петровских памятниках шлаков IV минералогической группы, перенасыщенных купритом (17,6%).

Использование иных источников сырья начинается на петровских поселениях. С эксплуатацией руд в ультраосновной породе здесь связано 13% шлаков. Остальная руда происходит, прежде всего, из кварцевых пород.

Выявленная тенденция в распределении сырьевых групп дублируется тяготением к определенным культурным типам памятников определенных технологических схем.

Таб. 5-20

Распределение минералогических групп шлака по памятникам

Памятники	Минералогические группы				
	I	II	III	IV	прочие
Аркаим	$\frac{35}{58,3\%}$	$\frac{10}{16,7\%}$	$\frac{15}{25\%}$		
Синташта	$\frac{17}{38,6\%}$	$\frac{3}{6,8\%}$	$\frac{13}{29,6\%}$	$\frac{10}{22,7\%}$	$\frac{1}{2,3\%}$
Устье	$\frac{19}{35,8\%}$	$\frac{11}{20,8\%}$	$\frac{16}{30,2\%}$	$\frac{7}{13,2\%}$	
Кривое Озеро	$\frac{4}{100\%}$				
Ольгино	$\frac{2}{66,6\%}$		$\frac{1}{33,3\%}$		
Сакрын-Сакла	$\frac{1}{100\%}$				
Аландское	$\frac{1}{100\%}$				
Ягодный Дол			$\frac{1}{100\%}$		
Мало-Кизильское		$\frac{2}{100\%}$			
Утевка VI	$\frac{2}{100\%}$				
Таш-Казган		$\frac{4}{100\%}$			
Родники			$\frac{2}{66,6\%}$	$\frac{1}{33,3\%}$	
Синташта XIII				$\frac{6}{100\%}$	
Семиозерки	$\frac{3}{27,3\%}$			$\frac{8}{72,7\%}$	
Конезавод		$\frac{1}{100\%}$			
Петровка					$\frac{1}{100\%}$
Новоникольское					$\frac{1}{100\%}$
Ургун	$\frac{6}{100\%}$				
Всего	$\frac{90}{44,1\%}$	$\frac{31}{15,2\%}$	$\frac{48}{23,3\%}$	$\frac{32}{15,9\%}$	$\frac{3}{1,5\%}$

Таб. 5-21

Распределение минералогических групп шлака по культурным группам

Культурные группы	Минералогические группы					
	I	II	III	IV	прочие	всего
Синташтинская	$\frac{45}{59,2\%}$	$\frac{12}{15,8\%}$	$\frac{17}{22,4\%}$		$\frac{2}{2,6\%}$	$\frac{76}{100\%}$
Синташтинско-петровская	$\frac{36}{37,1\%}$	$\frac{14}{14,4\%}$	$\frac{29}{29,9\%}$	$\frac{17}{17,6\%}$	$\frac{1}{1\%}$	$\frac{97}{100\%}$
Петровская	$\frac{3}{13\%}$	$\frac{1}{4,4\%}$	$\frac{2}{8,7\%}$	$\frac{15}{65,2\%}$	$\frac{2}{8,7\%}$	$\frac{23}{100\%}$
Прочие	$\frac{6}{60\%}$	$\frac{4}{40\%}$				$\frac{10}{100\%}$
Всего	$\frac{90}{43,7\%}$	$\frac{31}{15,1\%}$	$\frac{48}{23,3\%}$	$\frac{32}{15,5\%}$	$\frac{5}{2,4\%}$	$\frac{206}{100\%}$

Наиболее однородны в этом отношении синташтинские памятники (таб. 5-22). Практически все образцы шлака (97,3%) этих поселений получены при плавках, относимых к I технологическому типу. На поселениях, содержащих как синташтинские, так и петровские слои, технология I типа остается преобладающей, но возникает технология II типа с ее выраженным стремлением увеличить температуру за счет интенсификации дутья. Доля этой технологии составляет 17,5%, причем, по-видимому, можно утверждать, что относится она к петровскому периоду существования поселения. На петровских же памятниках технологическая схема II типа становится основной. Однако можно говорить и о дальнейшем развитии металлургического производства, связанного с появлением на петровских памятниках Северного Казахстана технологии III типа.

Таб. 5-22

Распределение технологических типов по культурным группам

технологические типы / культурные группы	I	II	III	прочие	всего
	Синташтинская	$\frac{74}{97,3\%}$			$\frac{2}{2,7\%}$
Синташтинско-петровская	$\frac{79}{81,5\%}$	$\frac{17}{17,5\%}$	$\frac{1}{1\%}$		$\frac{97}{100\%}$
Петровская	$\frac{6}{24\%}$	$\frac{17}{68\%}$	$\frac{2}{8\%}$		$\frac{25}{100\%}$
Всего	$\frac{159}{80,3\%}$	$\frac{34}{17,2\%}$	$\frac{3}{1,5\%}$	$\frac{2}{1\%}$	$\frac{198}{100\%}$

Химические группы шлака

Для определения характеристики рудной базы, наряду с уже описанным минералогическим определением шлакового материала, был проведен спектральный анализ (таб. 5-23). Целью его было выделение химических групп шлака и попытка соотнесения их с группами, выделенными на рудном материале. Здесь возникли еще большие осложнения, чем при соотнесении рудных групп. Связано это с тем, что на проблемы, возникающие при анализе руд и уже описанные выше, накладываются проблемы, обусловленные металлургическими переделами. Суть их сводится к нескольким моментам. На химический состав шлака может оказывать воздействие использование различных флюсов, компоновка шихты из различной руды, обмазка печи, изменение химического состава шлака при металлургических переделах. Значительно облегчало работу наличие сведений о минеральном составе шлака.

Эмиссионный спектральный анализ шлака (%)
Анализ выполнен прибором ISP-30, №740521 в Челябинской геологической экспедиции

Памятник	Образец	Классиф.	Группа	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ca	Y	Yb
Сингашта	1	6	2	0.0015	0.015	<0.001	0.005	<0.001	0.02	<0.0005	<0.0003	0.015	0.005	0.0005	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	0.002	0.0007	<0.01	<0.01	<0.001	0.0015	0.03	<0.001	0.0005	<0.001	0.0002
Сингашта	42	6	6	0.0015	0.0015	0.05	0.2	0.007	0.2	<0.0005	<0.0003	1	0.05	0.003	0.002	0.005	0.7	<0.001	0.001	0.0005	0.15	0.01	<0.001	<0.0005	0.0015	nd	0.001	0.003	0.00015
Петроля	58	6	6	0.1	0.01	0.002	0.05	0.005	0.2	<0.0005	<0.0003	0.7	0.01	0.015	0.001	0.005	0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.05	0.01	<0.001	0.02	0.0001	nd	0.0005	0.001	0.00015
Сингашта	62	6	4	0.003	0.0015	0.015	0.15	0.015	0.3	0.002	0.0003	1	0.05	0.007	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.02	<0.001	0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.01	0.0007
Сингашта	83	6	4	0.02	0.003	0.001	0.05	0.0015	0.005	<0.0005	0.0003	0.1	0.2	0.0007	0.00005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.01	0.01	<0.001	0.0007	0.00007	0.0015	<0.0005	<0.001	<0.0001
Сингашта	86	6	6	0.005	0.002	0.01	0.1	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	0.15	0.02	0.03	0.00015	0.001	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.07	0.02	<0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.0015	0.003	0.0003
Сингашта	87	5b	0.01	0.003	0.07	0.07	0.07	0.007	0.2	0.0015	<0.0003	0.3	0.01	0.0015	0.0001	0.05	0.0015	<0.001	<0.001	0.0015	0.1	0.01	<0.001	0.001	0.0002	0.01	0.001	0.003	0.0002
Сингашта	88	5a	4	0.005	0.002	0.2	0.03	0.01	0.3	0.0015	<0.0003	0.05	nd	0.0003	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.1	0.01	<0.001	0.0005	0.00015	0.007	<0.0005	0.002	0.0002
Таш-Казган	100	5b	2	0.07	0.002	0.015	0.15	0.01	0.5	0.001	0.00015	0.2	0.1	0.003	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.05	<0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.0015	0.002	0.0002
Таш-Казган	101	6	2	0.003	0.002	0.007	0.15	0.0015	0.3	<0.0005	<0.0003	0.2	0.005	0.0007	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.2	0.07	<0.001	<0.0005	0.0002	0.01	0.001	<0.001	0.0001
Коньезд	220	6	2	0.015	0.005	0.02	0.05	0.007	0.2	0.0005	0.00015	0.5	0.015	0.003	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.05	0.01	<0.001	0.003	0.00015	0.01	0.0015	0.001	0.00015
Семюзерки	221	4b	2	0.03	0.02	0.03	0.5	0.007	0.2	<0.0005	0.00015	1	0.3	0.07	0.0001	0.02	0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.07	0.05	<0.001	0.01	0.0005	0.007	0.0015	0.03	0.003
Семюзерки	252	5a	1	0.02	0.007	0.1	0.07	0.0015	0.1	<0.0005	0.00015	0.2	0.007	0.0007	0.00005	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.05	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.001	<0.0005	0.002	0.0002
Семюзерки	260	4b	2	0.007	0.01	nd	1	0.007	0.3	0.001	<0.0003	1	1	1	0.0002	0.03	0.005	0.002	<0.001	0.00015	0.5	0.15	<0.001	0.001	0.002	0.01	0.001	0.015	0.001
Сингашта	279	6	1	0.005	0.0015	0.01	0.05	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	0.1	0.007	0.001	0.00007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.1	0.07	0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.001	0.005	0.0002
Сингашта	280	5b	3	0.02	0.007	0.15	0.03	0.01	0.3	0.002	0.00015	0.5	0.007	0.0015	0.00005	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.15	0.015	<0.001	0.0007	0.00015	0.01	0.001	0.005	0.0003
Сингашта	285	5b	1	0.03	0.007	0.15	0.05	0.005	0.1	<0.0005	0.00015	1	0.01	0.002	0.0001	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	0.0005	0.00007	nd	0.001	<0.001	0.00015
Сингашта	286	5a	1	0.005	0.001	0.1	0.15	0.01	0.3	0.0015	<0.0003	0.2	0.01	0.0015	0.00007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.07	0.015	<0.001	0.0005	0.0005	0.007	0.001	0.003	0.0003
Сингашта	298	6	4	0.001	<0.0005	0.0015	0.1	0.0015	0.2	<0.0005	<0.0003	0.07	0.015	0.001	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.03	0.01	<0.001	<0.0005	0.00015	0.001	0.0015	<0.001	0.0001
Сингашта	299	6	1	0.001	<0.0005	0.001	0.001	0.01	<0.0005	<0.0003	0.03	0.01	0.001	0.001	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	0.0015	<0.001	<0.001	<0.0001
Сингашта	300	4c	0.03	0.005	0.01	0.03	0.003	0.15	<0.0005	0.0007	1	0.2	0.2	0.15	0.003	0.1	0.003	<0.001	0.001	0.0003	0.015	0.01	<0.001	0.005	0.0002	nd	0.0015	0.001	0.0001
Сингашта	301	5a	0.01	0.007	0.07	0.1	0.007	0.2	0.001	0.0005	0.00015	1	0.01	0.0005	0.00015	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.07	0.01	<0.001	<0.0005	0.0002	0.007	<0.0005	0.0015	0.00015
Сингашта	302	5b	0.03	0.01	0.07	0.05	0.01	0.3	0.0005	0.00015	1	0.05	0.005	0.0005	0.0005	0.0005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.07	0.02	<0.001	0.0015	0.0002	0.007	0.001	0.003	0.0002
Сингашта	305	5a	1	0.005	0.001	0.15	0.1	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.15	0.007	0.0005	0.00003	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.07	0.02	<0.001	0.0007	0.00005	0.007	<0.0005	0.001	0.0001
Аршам	308	4	2	0.007	0.005	0.005	0.15	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	1	0.15	0.0015	0.0005	0.0003	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0003	0.03	0.01	<0.001	0.0015	0.00003	nd	0.0005	0.001	0.0001
Аршам	311	5a	1	0.015	0.01	0.1	0.2	0.003	0.15	<0.0005	0.00015	0.7	0.015	0.002	0.0002	0.007	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.001	0.0005	<0.001	0.0001
Аршам	312	5a	1	0.01	0.015	0.1	0.03	0.01	0.3	0.0015	0.00015	0.7	0.007	0.002	0.0003	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.2	0.01	<0.001	0.0005	0.00015	0.007	0.001	<0.0015	0.00015
Аршам	313	5a	1	0.01	0.005	0.2	0.2	0.002	0.1	<0.0005	<0.0003	0.2	0.01	0.001	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.03	0.01	<0.001	0.0005	0.0003	0.003	0.0005	0.001	0.00015
Родник	322	5b	3	0.01	0.003	0.1	0.05	0.007	0.3	0.001	<0.0003	0.7	0.007	0.005	0.0002	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.1	0.015	<0.001	0.0005	0.00015	0.007	0.001	0.002	0.0002
Тюбик	426	3	2	0.0015	0.0003	0.005	0.05	0.003	0.1	<0.0005	0.00015	1	0.01	0.002	0.003	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	0.03	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.0001
Тюбик	427	2	3	0.01	0.002	0.07	0.005	0.001	0.07	<0.0005	0.0003	1	0.02	0.003	0.0015	0.3	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.01	0.01	<0.001	0.0003	<0.00003	0.001	0.0005	<0.001	0.0001
Тюбик	428	2	1	0.003	0.001	0.07	0.02	0.0015	0.07	<0.0005	0.00015	1	0.01	0.0015	0.001	0.05	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.02	0.015	<0.001	<0.0005	<0.00003	0.001	0.0005	<0.001	0.0001
Тюбик	429	2	1	0.007	0.0015	0.07	0.01	0.003	0.03	<0.0005	0.0003	1	0.03	0.003	0.003	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.01	0.01	<0.001	<0.0003	0.001	0.0015	<0.001	<0.001	0.0001
Тюбик	431	2	3	0.015	0.002	0.15	0.03	0.0015	0.1	<0.0005	0.0002	1	0.03	0.002	0.0015	0.2	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	0.001	0.001	<0.001	<0.0001
Тюбик	445	1	1	0.007	0.002	0.03	0.05	0.015	0.3	0.001	0.003	1	nd	0.05	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	3	0.5	<0.001	0.0003	0.0002	0.02	0.0015	0.002	0.0001
Тюбик	446	1	2	0.005	0.001	0.015	0.05	0.015	0.2	0.001	0.0015	1	0.007	0.02	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	3	0.3	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.0015	<0.0001
Тюбик	447	1	2	0.005	0.002	0.015	0.03	0.015	0.2	0.0005	0.007	1	nd	0.03	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	3	0.3	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.0015	0.0015	0.00015
Тюбик	448	1	2	0.005	0.003	0.02	0.05	0.015	0.2	0.0015	0.007	1	nd	0.03	0.003	0.003	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	3	0.5	<0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.0015	0.003	0.00015
Тюбик	449	1	4	0.01	0.0015	0.03	0.03	0.01	0.3	0.001	0.0015	1	0.007	0.015	0.002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.7	0.15	0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.00015	0.002	<0.0001
Тюбик	450	2	3	0.015	0.0015	0.1	0.07	0.007	0.1	0.0005	<0.0003	1	0.02	0.007	0.002	0.1	<0.003	<0.001											

Продолжение Таб. 5-23

Памятник	Образец	Классиф.	Група	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Архив	684	5a	1	0.007	0.003	0.15	0.1	0.007	0.2	0.001	0.0003	0.5	0.007	0.0005	0.0002	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.15	0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	0.01	0.0005	0.0001		
Архив	685	5b	1	0.1	0.007	0.15	0.1	0.005	0.15	<0.0005	0.0003	1	0.015	0.0015	0.0005	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.05	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.003	0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	687	5b	1	0.07	0.015	0.15	0.1	0.005	0.15	<0.0005	0.0005	1	0.03	0.003	0.0007	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.03	0.01	<0.001	0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	688	5b	1	0.2	0.015	0.15	0.1	0.005	0.15	<0.0005	0.0003	1	0.02	0.0015	0.00015	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	0.0015	0.00005	nd	<0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	689	5a	3	0.007	0.007	0.1	0.1	0.005	0.2	0.0005	<0.0003	0.1	0.007	0.0005	0.00005	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.07	0.015	<0.001	0.0003	0.00007	0.007	0.0005	0.002	0.00015	
Архив	691	5a	3	0.005	0.003	0.1	0.05	0.007	0.2	0.0015	0.00015	0.5	0.007	0.0003	0.03	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.05	0.01	<0.001	0.0003	0.00002	0.007	0.0005	0.003	0.00015	
Архив	692	4a	2	0.005	0.003	0.003	0.3	0.007	0.2	0.0005	0.00015	1	0.2	0.005	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	nd	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	693	5b	1	0.015	0.005	0.07	0.1	0.01	0.15	0.0005	0.0003	0.7	0.02	0.002	0.0005	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	0.0003	0.00002	nd	0.0015	0.001	0.0001	
Архив	695	6	0.007	0.0015	0.02	0.15	0.015	0.015	0.015	0.0015	<0.0003	0.05	0.007	0.003	0.00005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.05	<0.001	<0.0005	0.0002	0.01	0.0015	0.003	0.0002	
Архив	725	4a	2	0.005	0.003	0.003	0.2	0.005	0.15	<0.0005	0.00015	1	0.15	0.005	0.002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.015	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	726	5b	1	0.015	0.002	0.07	0.15	0.003	0.07	0.0005	0.00015	0.7	0.02	0.0015	0.0003	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	0.003	0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	727	5a	1	0.003	0.0015	0.07	0.1	0.007	0.15	0.001	<0.0003	0.2	0.01	0.007	0.0003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.007	0.0005	0.001	0.00015	
Архив	728	6	2	0.003	0.003	0.02	0.2	0.005	0.15	0.0005	<0.0003	0.5	0.03	0.001	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	nd	0.0005	0.001	0.0002	
Архив	729	4a	2	0.01	0.01	0.007	0.3	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	1	0.15	0.005	0.0015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00015	0.005	0.0005	0.001	0.00015	
Архив	730	5a	3	0.007	0.002	0.05	0.15	0.007	0.5	0.0015	<0.0003	0.1	0.01	0.007	0.0003	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.1	0.01	<0.001	0.0003	0.00002	0.01	0.0005	0.005	0.0003	
Архив	731	5b	1	0.01	0.005	0.03	0.15	0.003	0.1	0.0005	0.00015	1	0.03	0.001	0.0002	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.0015	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	732	5b	0.007	0.003	0.05	0.07	0.007	0.1	0.0005	<0.0003	0.5	0.015	0.02	0.001	0.0001	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.0005	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	733	5a	3	0.005	0.002	0.3	0.1	0.007	0.1	0.0005	<0.0003	0.7	nd	0.003	0.0001	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.003	0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	734	5b	3	0.015	0.003	0.3	0.07	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	0.3	nd	<0.0003	0.00005	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.07	0.015	<0.001	0.0005	0.00001	nd	0.0015	0.001	0.00015	
Архив	735	5a	1	0.007	0.002	0.03	0.02	0.001	0.07	<0.0005	0.00015	0.5	0.007	0.001	0.0001	<0.001	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.01	0.015	<0.001	0.0003	<0.00003	0.0015	0.001	<0.001	<0.0001	
Архив	736	5a	3	0.005	0.003	0.07	0.1	0.0015	0.1	<0.0005	<0.0003	0.7	0.01	0.007	0.0003	<0.001	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.15	0.015	<0.001	0.0005	0.00003	0.001	0.0015	<0.001	0.00015	
Архив	737	5a	1	0.01	0.003	0.07	0.1	0.005	0.1	0.0005	0.00015	0.5	0.01	0.001	0.00007	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.02	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.001	0.0015	<0.001	0.00015	
Архив	738	4a	2	0.007	0.007	0.007	0.3	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	1	0.15	0.007	0.002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.0015	0.05	0.01	<0.001	0.0005	0.0001	nd	0.0015	0.001	0.00015
Архив	739	4a	2	0.007	0.003	0.005	0.2	0.007	0.2	<0.0005	0.00015	1	0.15	0.005	0.001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.05	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	0.007	0.0015	0.001	0.00015	
Архив	740	4a	3	0.005	0.003	0.007	0.5	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	1	0.15	0.005	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00007	0.005	0.001	0.001	0.0001	
Архив	741	6	1	0.0015	0.002	0.01	0.15	0.015	0.3	0.0015	<0.0003	0.5	0.2	0.0005	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.03	0.015	<0.001	0.0003	0.00007	0.005	0.0005	0.002	0.00015	
Архив	742	5b	3	0.015	0.003	0.15	0.07	0.007	0.15	<0.0005	0.0003	0.7	0.03	0.0005	0.0001	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.015	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.0015	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	743	5b	3	0.07	0.007	0.2	0.1	0.007	0.15	0.0005	0.0003	1	nd	0.0005	0.0001	0.3	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	0.01	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	744	5b	1	0.005	0.003	0.02	0.05	0.01	0.3	0.0015	<0.0003	0.3	0.007	0.0007	0.00015	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.05	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	0.005	0.001	0.007	0.0007	
Архив	745	6	1	0.1	0.015	0.01	0.07	0.0015	0.07	<0.0005	0.0015	0.5	0.01	0.001	0.0001	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.01	0.01	<0.001	0.0003	<0.00003	nd	<0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	746	5b	1	0.007	0.003	0.1	0.05	0.007	0.3	0.0015	<0.0003	0.3	nd	0.003	0.00007	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.01	<0.001	0.0003	0.0002	0.01	0.001	0.005	0.00015	
Архив	747	5b	3	0.03	0.007	0.1	0.1	0.005	0.1	0.0005	0.00015	0.7	0.007	0.0007	0.0001	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.05	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.005	0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	748	5a	3	0.007	0.003	0.2	0.07	0.003	0.15	0.0005	<0.0003	0.15	nd	0.0003	0.00003	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	0.005	<0.0005	<0.001	0.0001	
Архив	749	5a	3	0.005	0.003	0.1	0.07	0.01	0.15	0.0005	<0.0003	0.3	nd	0.0005	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.005	0.0005	0.001	0.0001	
Архив	750	5a	1	0.005	0.01	0.05	0.07	0.007	0.1	<0.0005	<0.0003	0.5	0.015	0.0007	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.005	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	751	5a	3	0.007	0.01	0.03	0.1	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	0.5	0.05	0.0015	0.00005	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.015	<0.001	0.0003	0.00005	0.007	0.001	0.002	0.00015	
Архив	752	5b	1	0.03	0.01	0.02	0.07	0.0015	0.07	<0.0005	0.00015	1	0.03	0.003	0.0002	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.01	0.01	<0.001	0.0003	0.00007	0.0015	0.001	0.001	0.0001	
Архив	753	4a	1	0.003	0.007	0.01	0.05	0.007	0.2	0.0005	0.00015	1	1	0.02	0.0002	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.015	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	nd	0.0015	0.001	0.00015	
Архив	754	5a	1	0.007	0.005	0.05	0.07	0.001	0.02	<0.0005	0.00015	1	0.015	0.007	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.01	0.01	<0.001	0.0003	<0.00003	nd	0.001	<0.001	0.0001	
Архив	755	6	2	0.005	0.003	0.007	0.1	0.007	0.2	0.0005	0.00015	0.5	0.15	0.003	0.00007	0.015	0.015	<0.003	<0.001	0.0007	0.015	0.01	<0.001	<0.0005						

Продолжение Таб. 5-23

Памятник	Образец	Классиф.	Группа	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Архам	825	3	0,007	0,003	0,1	0,05	0,015	0,2	0,002	<0,0003	0,3	nd	0,0003	0,00005	0,00005	0,05	<0,003	<0,001	0,0007	0,00015	0,0007	0,01	<0,001	0,0003	0,00015	0,001	0,002	0,0002	
Архам	826	5a	2	0,01	0,003	0,15	0,1	0,01	0,15	0,0015	<0,0003	0,2	nd	0,0003	0,0001	0,03	<0,003	<0,001	0,0003	0,0001	0,007	0,01	<0,001	0,0003	0,0001	0,007	0,0005	0,002	0,0002
Ольгино	828	5b	1	0,007	0,002	0,1	0,03	0,007	0,15	0,0015	0,0003	0,3	nd	0,0007	0,00007	0,02	<0,003	<0,001	0,0003	0,0003	0,005	0,01	<0,001	0,0003	0,0002	0,005	0,0005	0,0015	0,00015
Ольгино	829	5b	1	0,015	0,015	0,015	0,02	0,003	0,1	<0,0005	0,0003	1	0,03	0,0015	0,0001	0,005	<0,003	<0,001	0,0001	0,002	0,01	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	nd	0,001	<0,001	0,0001
Кривое озеро	830	5a	1	0,005	0,005	0,2	0,05	0,003	0,1	<0,0005	0,0003	0,5	0,02	0,0007	0,0002	0,015	<0,003	<0,001	0,0002	0,002	0,01	0,01	<0,001	<0,00005	<0,00003	0,001	0,001	<0,001	0,0001
Кривое озеро	831	5b	1	0,015	0,005	0,05	0,2	0,0015	0,07	0,0005	0,0003	0,7	0,03	0,0015	0,0003	0,02	<0,003	<0,001	0,0001	0,0002	0,01	0,01	<0,001	0,0002	0,0007	0,001	0,001	<0,001	0,0001
Кривое озеро	832	1	0,01	0,007	0,002	0,1	0,1	0,007	0,07	<0,0005	0,00015	0,7	0,7	0,0015	0,0005	0,03	<0,003	<0,001	0,0002	0,01	0,01	0,01	<0,001	<0,00005	0,0001	0,001	0,0005	<0,001	0,0001
Кривое озеро	833	5a	1	0,003	0,002	0,5	0,02	0,007	0,15	0,0005	<0,0003	1	nd	0,0005	0,0005	0,015	<0,003	<0,001	0,00015	0,0015	0,015	0,01	<0,001	<0,00005	0,00003	0,001	0,0005	<0,001	0,00015
Ягодный Дол	836	5b	3	0,03	0,015	0,15	0,1	0,003	0,2	0,001	<0,0003	0,5	nd	0,0007	0,00005	0,05	<0,003	<0,001	0,0003	0,0003	0,1	0,015	<0,001	<0,00005	0,0002	0,003	0,0005	0,001	0,0002
Родники	837	4b	2	0,015	0,015	0,01	1	0,015	0,5	0,002	<0,0003	1	0,2	1	0,00007	0,00005	<0,003	0,001	0,0005	0,0005	1	0,05	<0,001	<0,00005	0,0003	nd	0,0005	0,03	0,0003
Родники	838	5a	3	0,005	0,003	0,1	0,15	0,01	0,2	0,0015	<0,0003	0,3	nd	0,0007	0,00007	0,03	<0,003	<0,001	0,0001	0,0015	0,1	0,015	<0,001	0,0003	0,0001	0,007	0,001	0,003	0,0003
Устье	839	5b	1	0,07	0,002	0,1	0,07	0,005	0,15	<0,0005	0,0003	0,5	0,015	0,0007	0,00007	0,02	<0,003	<0,001	0,0015	0,0002	0,01	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	0,0015	0,001	<0,001	0,00015
Устье	840	4c	1	0,005	0,0015	0,001	0,1	0,001	0,1	<0,0005	0,0003	0,7	0,2	0,02	0,0015	0,0005	<0,003	<0,001	0,00015	0,0002	0,015	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	0,0015	0,001	<0,001	0,00015
Устье	841	5a	2	0,005	0,003	0,007	0,1	0,003	0,2	0,0005	<0,0003	0,2	0,1	0,0005	0,00003	0,015	<0,003	<0,001	0,0001	0,00015	0,015	0,01	<0,001	<0,00005	0,0002	0,007	0,001	0,003	0,0003
Устье	842	5b	3	0,005	0,002	0,03	0,1	0,007	0,3	0,001	<0,0003	0,7	0,007	0,0007	0,001	0,07	<0,003	<0,001	0,0001	0,001	0,15	0,01	<0,001	<0,00005	0,0002	0,007	0,001	0,005	0,0005
Устье	843	5a	3	0,005	0,002	0,15	0,07	0,005	0,2	0,0005	<0,0003	0,2	nd	0,0003	0,0003	0,015	<0,003	<0,001	0,0001	0,00015	0,07	0,01	<0,001	0,0003	0,0001	0,003	0,0005	0,001	0,00015
Устье	844	5a	3	0,005	0,003	0,07	0,1	0,007	0,3	0,0005	<0,0003	0,7	0,007	0,001	0,00005	0,07	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,1	0,01	<0,001	0,0003	0,0002	0,005	0,001	0,003	0,0002
Устье	845	5b	3	0,07	0,015	0,1	0,05	0,007	0,3	0,001	0,0003	0,7	0,01	0,001	0,0001	0,1	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,07	0,01	<0,001	0,0003	0,0002	0,003	0,001	0,003	0,0002
Устье	846	6	1	0,03	0,015	0,07	0,15	0,005	0,2	0,0005	0,0015	1	0,03	0,005	0,001	0,07	<0,003	<0,001	0,0001	0,0005	0,03	0,01	<0,001	0,0002	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,00015
Устье	847	5b	1	0,015	0,007	0,1	0,03	0,0015	0,05	<0,0005	0,00015	1	0,05	0,005	0,00007	0,03	<0,003	<0,001	0,0002	0,0002	0,01	0,01	<0,001	<0,00003	0,0002	0,001	0,001	<0,001	<0,001
Устье	848	4c	1	0,007	0,0015	0,002	0,15	0,0015	0,15	<0,0005	0,0003	0,7	0,2	0,015	0,001	0,01	<0,003	<0,001	0,0003	0,0003	0,02	0,01	<0,001	0,002	0,0002	0,001	0,001	0,0015	0,0001
Устье	849	6	1	0,005	0,0015	0,01	0,3	0,0015	0,1	<0,0005	0,00015	0,5	0,01	0,005	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	0,0001	0,0002	0,1	0,01	<0,001	0,002	0,0002	0,001	0,001	0,0015	0,00015
Устье	850	4c	1	0,007	0,0015	0,002	0,2	0,0015	0,05	<0,0005	0,00015	1	0,07	0,015	0,0003	0,01	<0,003	<0,001	0,00015	0,00015	0,02	0,01	<0,001	0,1	0,00015	0,001	0,0005	<0,001	<0,001
Устье	851	5a	3	0,005	0,007	0,2	0,1	0,01	0,2	0,001	<0,0003	0,7	nd	0,0005	0,00007	0,07	<0,003	<0,001	0,0001	0,00015	0,015	0,015	<0,001	0,0003	0,0002	0,005	0,001	0,003	0,0003
Устье	852	6	0,003	0,0015	0,005	0,5	0,005	0,2	0,0005	<0,0003	0,7	0,015	0,001	0,001	0,0001	0,0005	<0,003	<0,001	0,0001	0,002	0,1	0,03	0,001	<0,00005	0,00007	0,007	0,001	0,001	<0,0001
Устье	853	5a	3	0,005	0,002	0,015	0,15	0,007	0,5	0,0015	<0,0003	0,7	0,015	0,002	0,00005	0,02	<0,003	<0,001	0,00015	0,00015	0,07	0,01	<0,001	0,0003	0,00015	0,007	0,001	0,005	0,0003
Устье	854	5a	3	0,003	0,002	0,02	0,3	0,01	0,3	0,0015	<0,0003	1,5	0,01	0,001	0,0003	0,01	<0,003	<0,001	0,0001	0,0003	0,15	0,015	<0,001	0,0003	0,0002	0,007	0,0005	0,01	0,0005
Устье	855	5a	3	0,005	0,001	0,05	0,15	0,01	0,3	0,001	<0,0003	0,1	0,015	0,002	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,07	0,015	<0,001	0,0003	0,0003	0,007	0,0005	0,01	0,0005
Устье	856	5a	3	0,01	0,005	0,03	0,15	0,007	0,3	0,001	<0,0003	0,5	0,01	0,0015	0,00003	0,02	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,1	0,01	<0,001	0,0003	0,0002	0,007	0,001	0,007	0,0005
Устье	857	6	1	0,005	0,0015	0,015	0,3	0,003	0,15	<0,0005	0,0003	0,7	0,01	0,002	0,00003	0,03	<0,003	<0,001	0,0001	0,0003	0,07	0,01	<0,001	0,0015	0,0002	0,002	0,0005	0,002	0,0003
Устье	858	2	1	0,007	0,0015	0,02	0,1	0,005	0,15	0,001	0,00015	1	0,05	0,002	0,0003	0,05	<0,003	<0,001	0,0001	0,0005	0,02	0,01	<0,001	0,0003	0,0001	0,0015	0,001	0,0015	0,0001
Устье	859	5a	1	0,003	0,0007	0,07	0,1	0,01	0,2	<0,0005	<0,0003	0,5	0,0015	0,0003	0,00015	0,03	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,03	0,01	<0,001	0,0003	0,00015	0,003	0,0005	0,003	0,0002
Устье	860	6	2	0,005	0,003	0,03	0,1	0,01	0,3	0,001	<0,0003	0,7	0,02	0,007	0,0002	0,02	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,1	0,02	<0,001	0,0003	0,0003	0,005	0,001	0,007	0,0005
Устье	861	4b	2	0,015	0,015	0,007	1	0,007	0,5	0,002	0,00015	1	0,15	0,03	<0,0003	0,01	<0,003	<0,001	0,0001	0,0001	0,3	0,015	<0,001	<0,00005	0,0007	0,015	0,001	0,005	0,0002
Устье	862	6	1	0,003	0,002	0,01	0,15	0,015	0,2	0,0015	<0,0003	0,5	0,07	0,005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	0,0001	0,0007	0,03	0,015	<0,001	0,0003	0,0002	0,003	0,0005	0,015	0,0015
Устье	863	5a	1	0,003	0,003	0,2	0,2	0,007	0,15	0,001	<0,0003	0,07	nd	0,0003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,02	<0,001	0,0003	0,00007	0,003	<0,0005	0,001	0,00015
Устье	864	6	2	0,003	0,001	0,002	0,07	0,0015	0,1	<0,0005	<0,0003	1	0,01	0,002	0,00005	0,01	0,001	<0,001	0,0001	0,0003	0,05	0,01	<0,001	<0,00005	0,00007	0,001	<0,0005	0,001	<0,0001
Устье	865	3	2	0,003	0,002	0,0015	0,3	0,003	0,1	<0,0005	<0,0003	1	0,015	0,015	0,002	0,01	<0,003	<0,001	0,0003	0,03	0,03	0,015	<0,001	0,0003	0,0003	0,0015	0,001	0,01	0,0007
Устье	866	3	2	0,002	0,001	0,002	0,15	0,0015	0,07	<0,0005	<0,0003	1	0,01	0,005	0,003	0,015	<0,003	<0,001	0,0002	0,015	0,1	0,015	<0,001	<0,00005	0,0002	0,0015	0,001	0,00015	0,00015
Устье	867	4b	2	0,015	0,015	0,007	1	0,003	0,5	0,0015	0,00015	1	0,1	0,02	<0,0003	0,015	<0,003	<0,001	0,0001	0,001	0,5	0,015	<0,001	<0,00005	0,0007	0,01	0,0015	0,003	0,0002

Окончание Таб. 5-23

Памятник	Образец	Классификация	Группа	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Бурли	889	4с		0,002	0,002	0,002	0,03	0,001	0,05	<0,0005	0,001	1	1	0,15	0,0005	0,2	0,03	0,002	<0,001	0,0003	0,01	0,01	<0,001	<0,0005	0,00015	nd	<0,0005	0,005	0,0002	
Сергеевка	1109	4с		0,007	0,002	0,007	0,15	0,01	0,3	<0,0005	0,001	1	0,3	0,02	0,0015	0,07	<0,0003	0,001	0,003	0,0001	0,02	0,01	<0,001	0,05	0,00003	0,007	0,001	<0,001	<0,0001	
Сергеевка	1111	4с		0,015	0,002	0,007	0,15	0,0015	0,2	<0,0005	0,0007	1	0,2	0,03	0,002	1	<0,0003	<0,001	0,01	0,0001	0,1	0,01	<0,001	0,07	<0,00003	<0,001	0,0005	0,001	<0,0001	
Чувствительность анализа				Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
				0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,0003	0,00003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,001	0,0001

В результате минералогического анализа шлак был разделен на три основные группы, различающиеся по признаку получения шлака из руд, содержащихся в различных рудовмещающих породах. К группе I отнесены шлаки, полученные при плавке руды в серпентинизированных ультраосновных породах; к группе II — при плавке руды в кварцевых породах; к III группе — шлаки, в которых присутствовали как ультраосновные породы, так и кварц.

Как и выборка рудных образцов, обработка данных по шлаку была осуществлена с использованием Brookhaven Date Handling Programs. Для этой работы были использованы Ti, Mn, As, Ba, Sr, Ni, Co, Cr, V, Pb, Sn, Ga, Ge, Ag и Mo.

В целом, было выделено шесть кластеров, но кластер 4 был разделен на три подкластера, а кластер 5 на два подкластера (таб. 5-23, 5-24). Принимая во внимание, что могло иметь место использование легирующих компонентов (руды или других минералов), мы можем допустить, что химическая картина могла сильно измениться. Если для такого легирования использовались руды из серпентинитов, это должно было привести к увеличивающимся концентрациям мышьяка, хрома и некоторых других элементов. Поэтому, была сделана дополнительная обработка теми же программами. Я не использовал элементы, имеющие большие интервалы распределения во всех прежних кластерах. В результате, для обработки использовался другой набор элементов: Ti, Zn, Sr, Ni, V, Sc, Sn, Ga, Y, Ge, Ag, Mo, Be. Это позволило выделить тринадцать кластеров. Корреляция между первыми и вторыми кластерами показывает очень интересные результаты. Кластеры 1, 2, 3, 4a, 4b и 4c демонстрируют довольно хорошую корреляцию с кластерами 1-6. Лишь единичные образцы из нее выпадают (таб. 5-25).

Кластеры 5a, 5b и 6 демонстрируют иную картину. Образцы этих кластеров нерегулярно распределены по группам 7—13. Наиболее вероятно, шлак этих кластеров был получен или в результате плавки смешанных руд или благодаря более интенсивному использованию легирующих компонентов.

Таб. 5-24

Распределение химических кластеров шлака по памятникам

Кластеры	1	2	3	4a	4b	4c	5a	5b	6
Памятники									
Тюбьяк	6	8	2						
Устье		1	5		5	3	13	6	8
Аркаим				8			21	19	7
Синташта						1	3	2	8
Кривое Озеро							2	1	
Ягодный Дол								1	
Ольгино							1	1	
Утевка							1	1	
Бурли						1			
Сергеевка						2			
Семиозерки					2		1		
Родники					1		1	1	
Таш-Казган								1	1
Петровка									1
Синташта XIII									3
Конезавод									1
Всего	6	9	7	8	8	7	43	33	29

Корреляция между кластерами I (ti, mn, zn, as, ba, sr, ni, co, cr, v, pb, sn, ga, ge, ag, mo) и кластерами II (ti, zn, sr, ni, v, sc, sn, ga, y, ge, ag, mo, be)

Кластеры	1	2	3	4a	4b	4c	5a	5b	6
1	6								
2		7	1				1		
3			6						
4		1		8			2		3
5					8		1		
6						7			
7							16	2	
8							1	6	3
9							4	8	7
10							7	5	2
11							11	1	9
12								11	
13									5

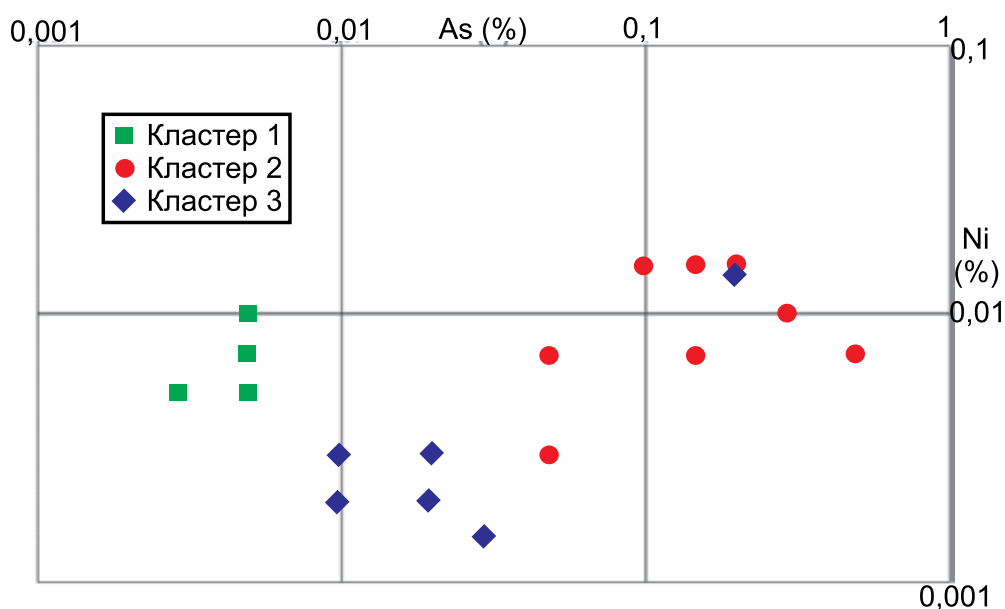


Рис. 5-26. Корреляция концентраций As — Ni в шлаке 1—3 химических кластеров

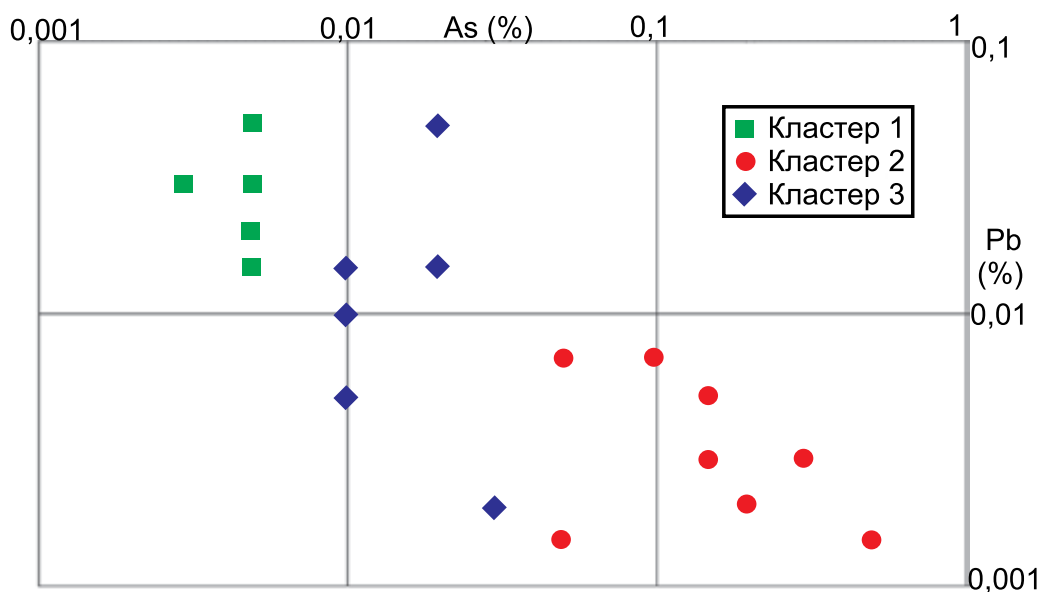


Рис. 5-27. Корреляция концентраций As — Pb в шлаке 1—3 химических кластеров

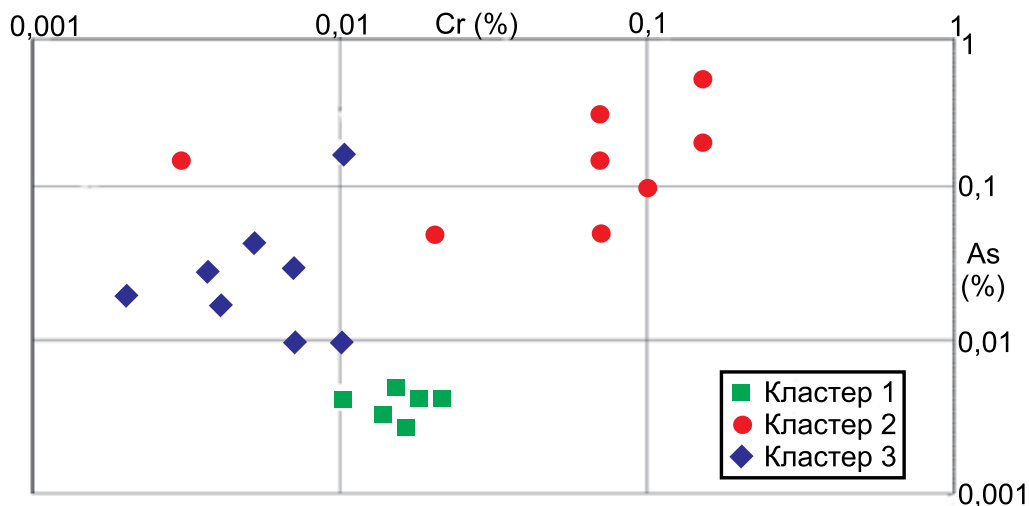


Рис. 5-28. Корреляция концентраций Cr — As в шлаке 1—3 химических кластеров

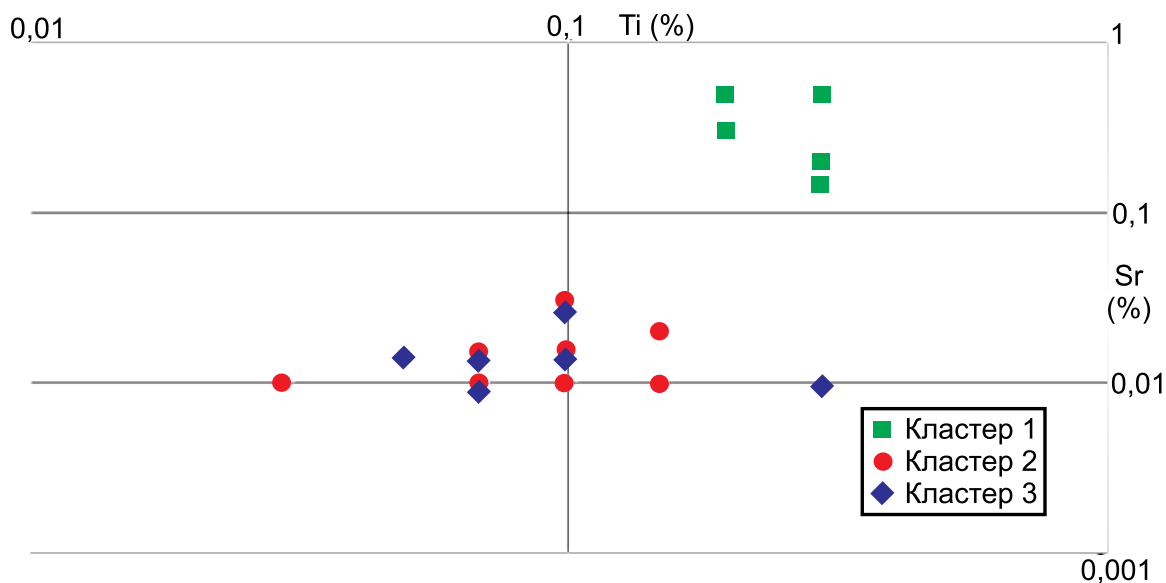


Рис. 5-29. Корреляция концентраций Ti — Sr в шлаке 1—3 химических кластеров

Таб. 5-30

Корреляция между химическими кластерами и минералогическими группами шлака

Минерал. группы \ Кластеры	Кластеры									
	1	2	3	4a	4b	4c	5a	5b	6	
1	1	6	1	1		3	19	20	10	
2	3		4	6	8		2	2	7	
3		3	1	1			19	10		
4	2		1				1		2	
n. d.						4	2	3	10	

Кластеры 1, 2 представлены шлаком, обнаруженным на абашевском поселении Тюбьяк. В кластер 2 попал лишь один образец поселения Устье. Кластер 3 представлен пятью образцами Устья и двумя Тюбьяка (таб. 5-24). В настоящее время трудно сказать использовали ли металлурги обоих этих поселений одни рудные источники или различные рудники, имевшие сходные химические характеристики. Первая гипотеза кажется странной, поскольку эти поселения друг от друга разделены большим расстоянием. Однако, до получения других данных эту гипотезу можно обсуждать.

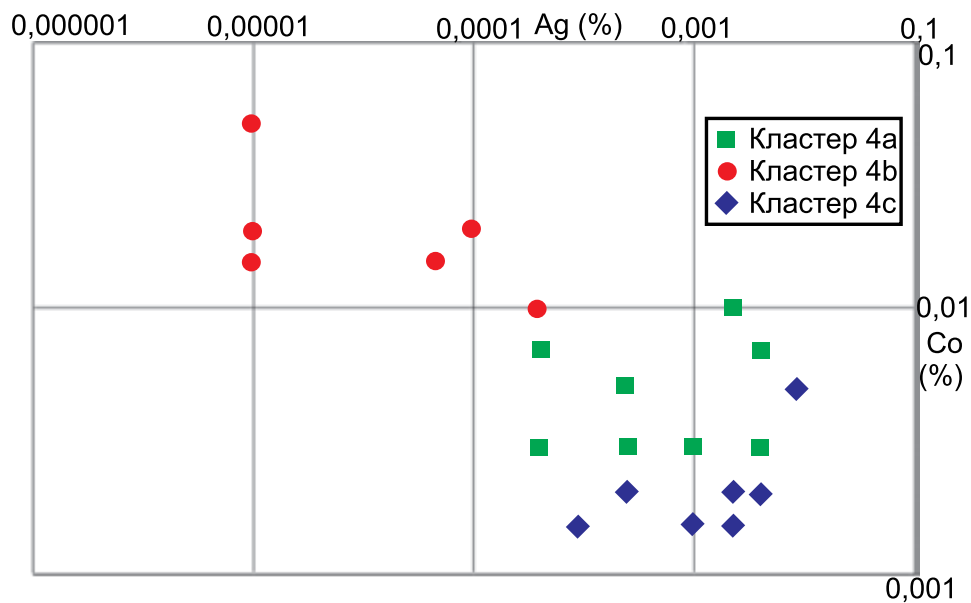


Рис. 5-31. Корреляция концентраций Ag — Co в шлаке 4 химического кластера

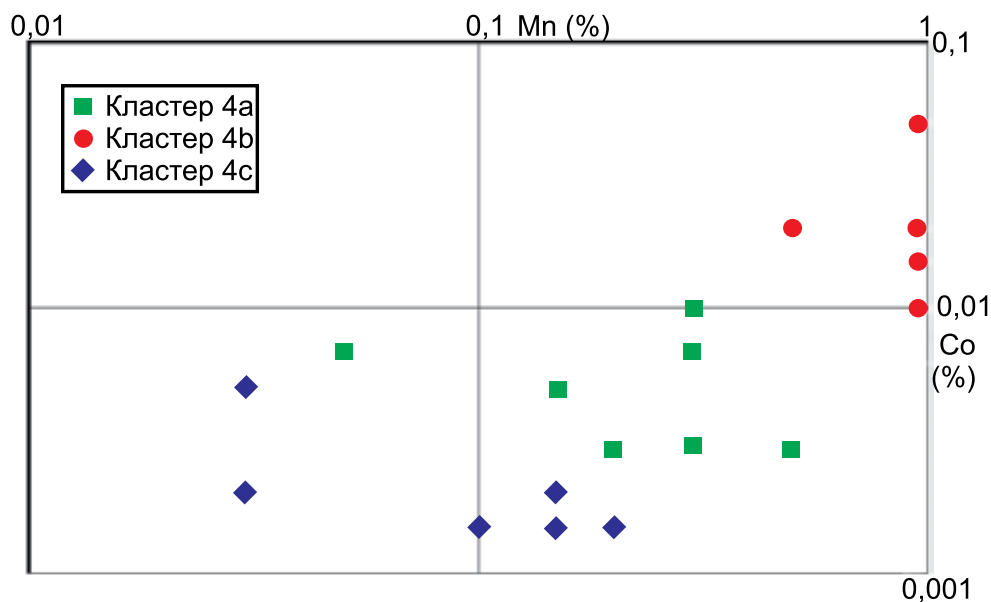


Рис. 5-32. Корреляция концентраций Mn — Co в шлаке 4 химического кластера

Таб. 5-33

Распределение химических кластеров шлака и их доля в различных культурных группах

Культурные группы \ Кластеры	1	2	3	4a	4b	4c	5a	5b	6	Всего
Синташтинская				8 (11,9%)		4 (6%)	25 (37,3%)	23 (34,3%)	7 (10,5%)	67 (100%)
Синташтинско-петровская		1 (2,2%)	5 (10,8%)				16 (34,8%)	8 (17,4%)	16 (34,8%)	46 (100%)
Петровская					8 (50%)		2 (12,5%)	1 (6,2%)	5 (31,3%)	16 (100%)
Абашевская	6 (37,5%)	8 (50%)	2 (12,5%)							16 (100%)
Прочие						3 (60%)		1 (20%)	1 (20%)	5 (100%)
Всего	6 (4%)	9 (6%)	7 (4,7%)	8 (5,3%)	8 (5,3%)	7 (4,7%)	43 (28,7%)	33 (22%)	29 (19,3%)	150 (100%)

Эти кластеры характеризуются очень высокими концентрациями серебра и мышьяка (за исключением кластера 1) и низкими концентрации кобальта, а кластеры 1, 3 также низкими концентрациями никеля (рис. 5-26, 5-27, 5-28). Различие между обоими последними кластерами видно на графике Ti — Sr (рис. 5-29) и, в меньшей степени, на графике As — Pb (рис. 5-27). Кроме того, кластер 3 характеризуется более высокими концентрациями свинца, который типичен, в целом, для руды Устья (таб. 4-10, рис. 4-4, 4-9). За исключением одного образца, шлак кластера 1 относится ко II и IV минералогическим группам, и был получен при плавке руды из кварцевой породы (таб. 5-30). Кластер 3 попадает, в целом, в те же самые минералогические группы, но один образец относится к I группе (из серпентинитов и ультраосновных пород) и еще один к III группе, которая демонстрирует использование руд из обоих типов пород: серпентинита и кварца. Первый из этих образцов может быть объяснен аналитической или статистической ошибкой. Именно поэтому образцы кластера 2 отличаются от двух других групп более высокими концентрациями хрома (рис. 5-28). Химически кластер 3 сопоставим с рудой Таш-Казгана из-за низких концентраций никеля, кобальта, свинца, цинка, хрома и высоких концентраций серебра и мышьяка. Образцы этих кластеров относятся к синташтинско-абашевскому времени.

Подкластеры 4а, 4б, 4с очень похожи, и это не позволяет выделить на этом основании три разных кластера (рис. 5-31, 5-32). Их членение было получено на незначительных различиях, которые, тем не менее, в других случаях не позволяли выделять подкластеры. Эта группа характеризуется высокими концентрациями свинца, цинка, марганца и низкими концентрациями хрома. Кроме того, подкластер 4а характеризуется высокими концентрациями кобальта и серебра и низкими концентрациями никеля, подкластер 4б — высокими концентрациями кобальта и бария, подкластер 4с — высокими концентрациями германия, серебра и мышьяка и относительно низкими концентрациями кобальта и никеля.

Кроме того, в данном случае полученные подкластеры хорошо коррелируют с памятниками и периодами (таб. 5-33, 5-34). Подкластер 4а представлена восемью образцами Аркаима. Поэтому, все эти образцы относятся к синташтинскому периоду. Подкластер 4б состоит из восьми образцов: пять Устья, два Семиозерок и один Родников. Кроме того, все образцы Устья были найдены в петровском слое этого поселения. Поэтому, все образцы датированы петровским периодом¹. Подкластер 4с состоит из семи образцов: три из синташтинского слоя поселения Устье, один с Синташты, один с Бурлей и два с Сергеевки. Это означает, что этот подкластер относится к синташтинскому времени.

Подкластеры 4а, 4б принадлежат, главным образом, ко II минералогической группе, и данный шлак был получен при плавке руд из кварцевой породы. Исследованные минералогически образцы подкластера 4с (все с Устья) относятся к I группе, но они, несколько отличаются от других образцов этой группы, потому что вместо зерен хромита они включали схожей формы зерна магнетита (таб. 5-30). Таким образом, руда могла происходить из месторождений любого типа, но наиболее вероятно из ультраосновных пород.

Химически весь этот кластер близок кластерам 5, 6, выделенным для руды. Распределение образцов шлака и руды по памятникам позволяет нам связывать кластер 4а (шлак) с кластером 5 (руда), а кластер 4с (шлак) с кластером 6 (руда), за исключением образцов с Таш-Казгана, отнесение которых к этой группе остается под вопросом (таб. 4-10, 5-24). Однако, это вполне возможно, так как руды кластеров 5, 6 представлены малахитом и малахитом в лимоните, что не позволяет связать их с каким-то конкретным типом месторождений (таб. 4-11). И, как мы видели, шлак описанного кластера или был

¹ Мы помним также, что рудный кластер 4, представленный рудой Устья, тоже демонстрирует более высокое содержание бария, марганца и свинца.

связан или может быть связан с месторождением в кварцевых породах. Только низкие концентрации свинца и цинка в рудах Таш-Казгана противоречат такой гипотезе. Таким образом, мы можем говорить в этом случае об использовании рудника Таш-Казган и (или) одного или двух рудников с похожими химическими характеристиками.

Кластер 5 имеет очень широкое распределение элементов и был получен, вероятно, в результате смешивания различных руд. Этот кластер является самым крупным во всей произведенной выборке и состоит из 76 образцов (рис. 5-35, 5-36, 5-37). Образцы этого кластера присутствуют на всех синташтинских памятниках (таб. 5-24). Они демонстрируют высокие концентрации хрома, что может быть объяснено тем, что все они принадлежат минералогическим группам I и III, и этот шлак был получен из руд в серпентинитах и ультраосновных породах (таб. 5-30).

В рамках этого кластера было выделено два подкластера. Подкластер 5a характеризуется низкими концентрациями свинца, цинка и серебра. Подкластер 5b показывает высокие концентрации никеля и кобальта и относительно высокие концентрации мышьяка. Это может объясняться более интенсивными добавками минералов, имеющих высокие концентрации этих элементов.

Кластер 6 отличается от кластера 5 более низкими концентрациями никеля, кобальта, хрома, серебра и мышьяка (рис. 5-37). Как и в случае с рудой, надежность выделения этого последнего кластера невелика, так как программа относит к нему те образцы, отнесение которых к иным кластерам вызывает затруднение. Кластер включает образцы, минералогически по происхождению отнесенные к серпентинитам и кварцевым породам (таб. 5-30). Поэтому, вполне вероятно то, что часть образцов должна быть отнесена к кластеру 5.

Таким образом, только кластеры 1, 2, 3 и 4 могут быть связаны в будущем с определенными месторождениями или группами месторождений. Кластеры 5 и 6 являются, вероятно, результатом плавки смешанной руды (например, медной и каких-то минералов с мышьяком). Кроме того, эти кластеры включают большинство шлаковых материалов (70%) (таб. 5-33).

Кластеры 1 и 3, являющиеся химически сопоставимыми с рудой Таш-Казгана, позволяют нам обсуждать возможность использования этой руды металлургами поселений Тюбяк и Устья. Два образца руды Устья попали в тот же кластер, что и руда Таш-Казгана. Кроме того, в этот кластер были включены образцы руды Бурлей и Сергеевки, хотя их отличают большие концентрации цинка. Поэтому, необходимо обратить внимание на то, что подкластер 4с, выделенный для шлака, тоже включает образцы Устья, Сергеевки и

Таб. 5-34

Распределение химических кластеров шлака по культурным группам

Кластеры \ Культурные группы	1	2	3	4a	4b	4c	5a	5b	6
Синташтинская				8 (100%)		4 (57,1%)	25 (58,1%)	23 (70%)	7 (24,1%)
Синташтинско-петровская		1 (11,1%)	5 (71,4%)				16 (37,2%)	8 (24%)	16 (55,2%)
Петровская					8 (100%)		2 (4,7%)	1 (3%)	5 (17,2%)
Абашевская	6 (100%)	8 (88,9%)	2 (28,6%)						
Прочие						3 (42,9%)		1 (3%)	1 (3,5%)
Всего	6 (100%)	9 (100%)	7 (100%)	8 (100%)	8 (100%)	7 (100%)	43 (100%)	33 (100%)	29 (100%)

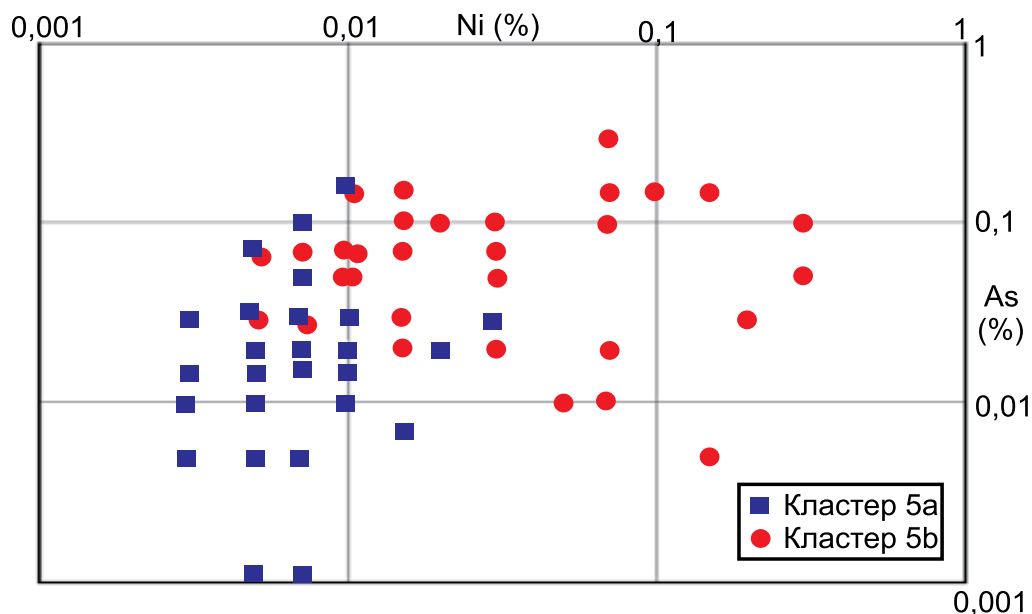


Рис. 5-35. Корреляция концентраций Ni — As в шлаке 5 химического кластера

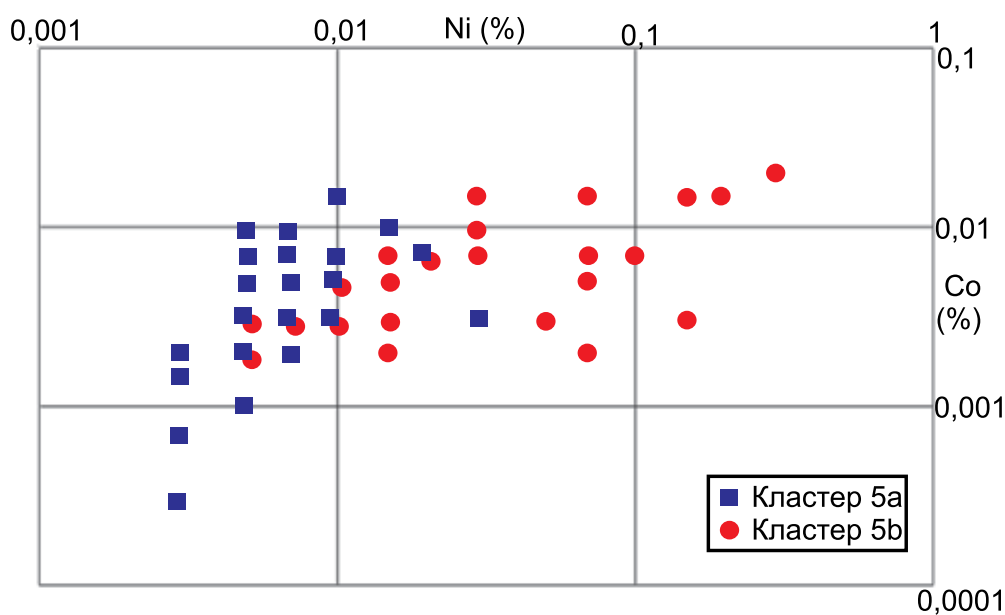


Рис. 5-36. Корреляция концентраций Ni — Co в шлаке 5 химического кластера

Бурлей (таб. 5-24). Таким образом, использование руд Таш-Казгана или какого-то рудника на востоке со схожей геохимией вполне допустимо. Наконец, мы можем говорить о связях между металлургией поселения Устье синташтинского времени с металлургией энеолита (Бурли) и раннего бронзового века (Сергеевка) в Казахстане, что вполне объяснимо восточной локализацией поселения Устье в ареале синташтинской культуры и импульсами этой культуры на восток, которые привели к формированию петровской культуры в Казахстане.

Присутствие шлака того же подкластера (4b) в петровских слоях Зауралья (Устье, Родники) и Казахстана (Семиозерки) указывают на сохранение этих связей, хотя это можно также объяснить импульсами из Казахстана во время формирования петровской культуры Зауралья, что имело место, прежде всего, в бассейне Тобола.

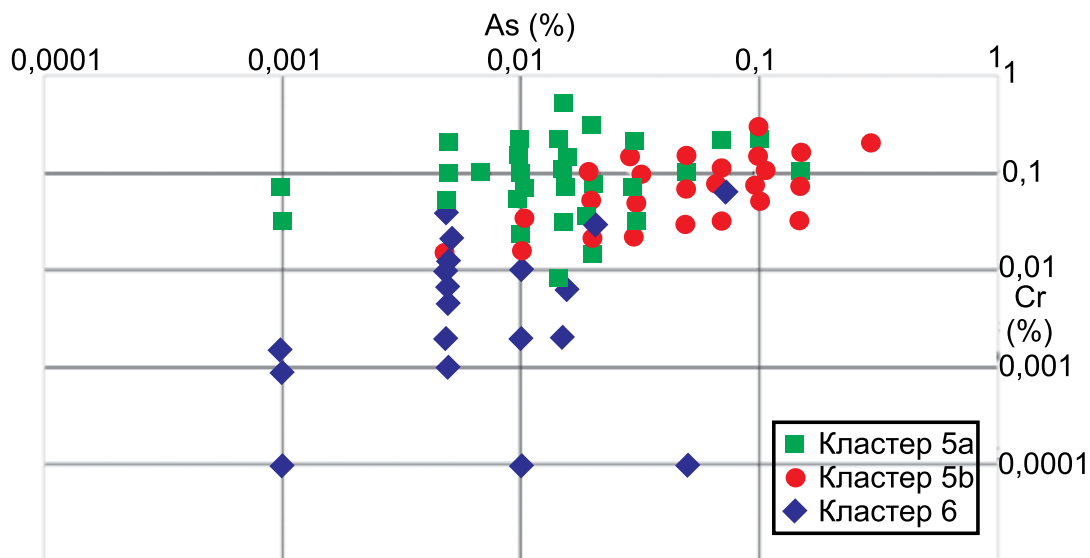


Рис. 5-37. Корреляция концентраций As — Cr в шлаке 5, 6 химических кластеров

Обсуждая распределение различных кластеров по культурным группам, мы можем отметить, что кластеры 1-3, 4а, 4с, 5 и 6 были наиболее характерны для синташтинско-абашевского времени. Кластеры 4b, 5 и 6 были уже типичны для петровского периода. Последние два кластера позволяют нам подчеркивать определенную преемственность между синташтинской и петровской металлургией, хотя последняя базировалась уже на иных технологических принципах (таб. 5-33, 5-34).

Не исключено также, что мы вправе поставить вопрос о дальнедистанционных связях между металлургами Тюбьяка и Устья. Шлак кластеров 2 и 3 характерен для обоих этих поселений. Кроме того, шлак подкластера 4b (Устье и некоторые другие памятники) демонстрирует высокие концентрации бария, который не типичен для других кластеров, за исключением кластера 1, представленного шлаком Тюбьяка. К сожалению, руда с этого поселения не была исследована спектральным анализом, но исследование образца руды Тюбьяка на электронном микроскопе (таб. 5-4, 5-5, обр. 1921, ан. 1) выявило минерал с 16,79% этого элемента. Но на этой стадии мы не в состоянии объяснить эту вероятную связь.

Выводы

Проведенный анализ позволяет нам пока в наиболее общих чертах показать несколько закономерностей. Руды в ультраосновных серпентинизированных породах являлись главным сырьевым источником в синташтинское время. Наряду с ними на всех поселениях региона эксплуатировались небольшие рудные источники в кварце, а на поселении Устье и в охристых породах. На сегодняшний день весьма затруднительно связать какие-либо выделенные кластеры с конкретными рудниками. Вероятно, необходимо отказаться от рудника Майлы-Юрт как главного источника руды в серпентините. Как показали исследования руд, использованных на поселении Синташта, эксплуатируемое месторождение относилось к медно-порфировому типу. Соответственно, минерализация на таких месторождениях незначительна, что отразилось бы в обилии пустой породы, а отвалы рудника Майлы-Юрт незначительны. Только рудный кластер 3 может быть связан с этим рудником, и мы можем допускать, что население поселения Синташта эксплуатировало его. Но более оправдано искать главные источники руды в серпентинитах в Зауралье: в южной зоне Челябинской области или прилегающих областях.

Источники, послужившие сырьем для других групп шлака, очевидно, очень невелики и были, возможно, расположены неподалеку от поселений. Одним из подобных источников был рудник Воровская Яма (Зайков и др., 1995). Согласно расчетам, оттуда было получено приблизительно десять тонн меди, хотя эта цифра представляется очень завышенной. По тем же вычислениям, коэффициент извлечения металла из руды этого рудника составлял 10%, что соответствует данным, полученным в этой работе на основе исследования шлака. Вполне возможно и то, что с этим рудником была связана не одна группа шлака, поскольку на его разных глубинах характер руды и рудовмещающей породы изменяется. Однако, проверка этого положения требует специального анализа.

Довольно проблематично связать группы, полученные при плавке руды из кварцевых пород, с месторождением Таш-Казган, поскольку все эти группы отличаются низким содержанием мышьяка. В результате спектрального исследования руды поселений высокое содержание мышьяка и серебра было выявлено лишь в нескольких образцах, в охрах с поселений Аркаим, Устье, Сергеевка, Бурли (и образцах с самого рудника Таш-Казган). Но они не полностью идентичны руде Таш-Казгана.

Анализ хромшпинелидов в шлаке

Как обсуждалось во введении, в археометаллургии существует серьезная проблема связи руды, шлака и металла, обнаруженных на памятниках, с конкретными рудниками. Применительно к синташтинской культуре удалось наметить пути решения этой проблемы применительно к шлакам, полученным в результате плавки руд из ультраосновных пород за счет анализа хромшпинелидов¹. Поскольку, как показали вышеописанные минералогические исследования, подавляющая часть шлаков этой культуры была связана именно с месторождениями этого типа. Исследованиями специалистов Института минералогии УрО РАН в Зауралье были выявлены месторождения этого типа, причем со следами древних выработок: Воровская Яма, Дергамыш, Ишкининский, Ивановский, Еленовка (Зайков и др., 1995, 1999, 2000; Zaykov et al., 2002).

Для этого были использованы 17 анализов включений хромитов в шлаках поселений и руде некоторых рудников, сделанные в Горной Академии Фрайберга (таб. 5-4). Кроме того, были использованы данные по хромшпинелидам этих месторождений, обнаруженные в литературе (Мелекесцева и др., 2001).

Конструирование фазовой диаграммы $Fe_2O_3 - Al_2O_3 - Cr_2O_3$ для хромшпинелидов, осуществленное на этой базе, выявило отчасти дисперсную картину, хотя все образцы относятся, вероятно, к довольно близким месторождениям. Сопоставление этой диаграммы с диаграммой, полученной на основе анализов хромшпинелидов из руды Ишкининского, Ивановского и Дергамышского месторождений, показало, что исследованные образцы несколько отличаются от образцов Дергамышского месторождения, но могут быть сопоставлены с образцами Ишкининского и Ивановского (рис. 5-38, 5-39). При этом хромшпинелиды с Ивановского, хотя и близки, все же отличаются чуть более низким содержанием Cr_2O_3 . Хромшпинелиды же Ишкининского месторождения целиком соответствуют хромшпинелидам из шлаков Аркаима, Синташты и Семиозерок II (Григорьев, 2003а). Кроме того, многие хромшпинелиды Ишкининского и Ивановского месторождений имеют магнетитовую кайму (Мелекесцева и др., 2001), что мы неоднократно наблюдали в синташтинском шлаке.

Однако сопоставление прочих химических характеристик дало не столь однозначную картину. Хромшпинелиды Ишкининского месторождения содержат несколько более высокие концентрации титана, который редко присутствует в хромшпинелидах шлаков синташтинских городищ. Однако в хромшпинелидах Ишкининского месторождения

¹ Автор выражает признательность сотруднику Института геологии НАН Армении Хачатуру Меликесяну, который подсказал эти пути.

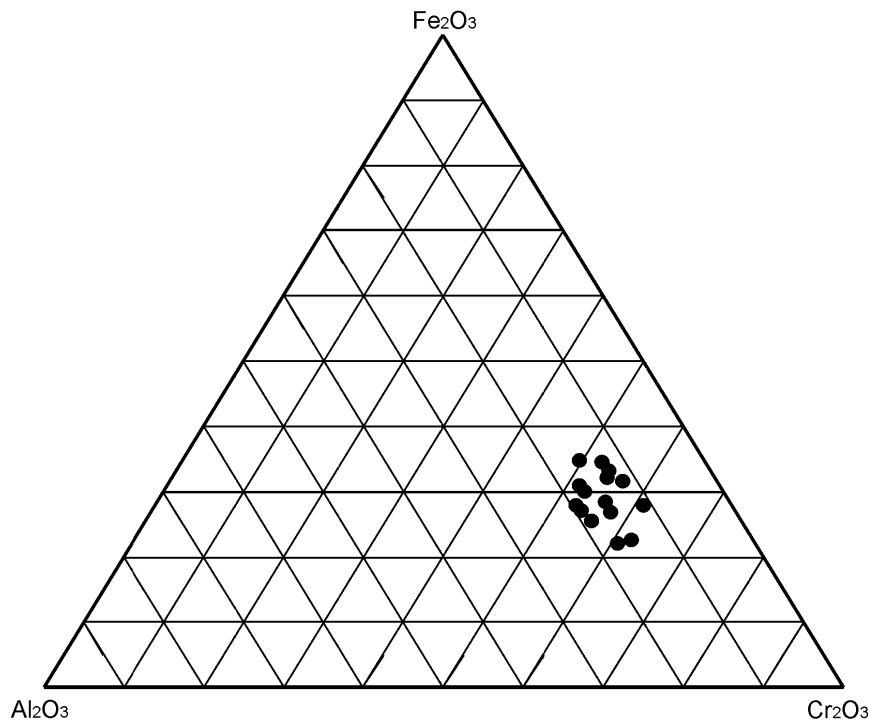


Рис. 5-38. Фазовая диаграмма $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ для хромшпинелидов шлаков синташтинской культуры (%)

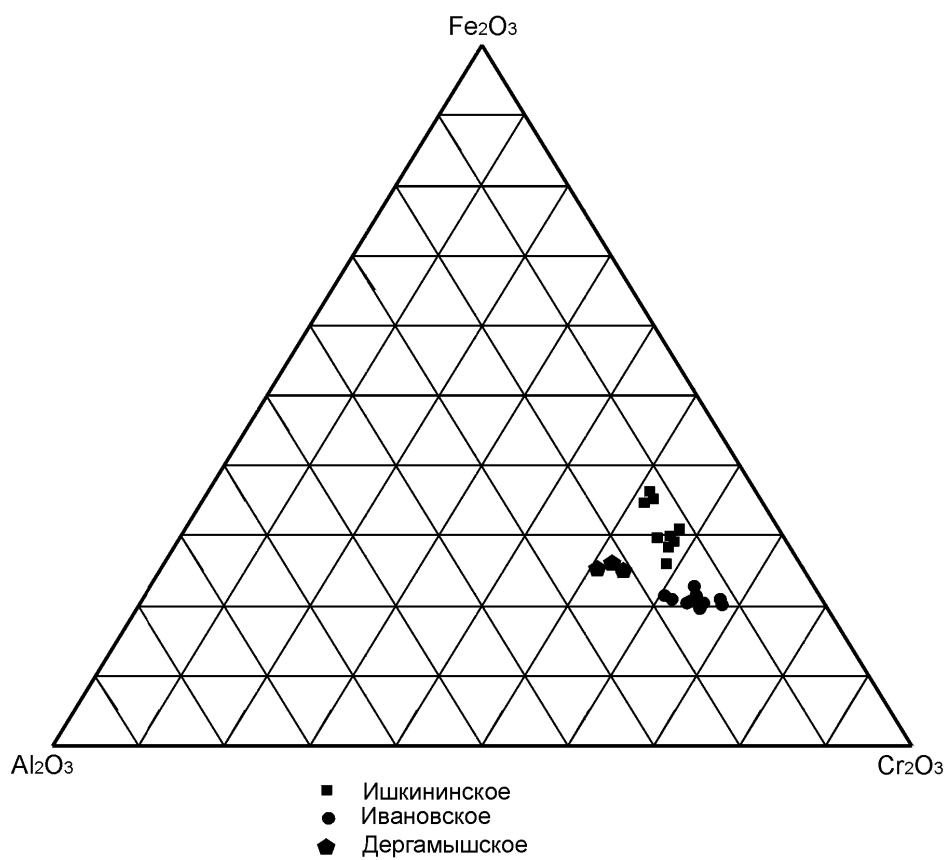


Рис. 5-39. Фазовая диаграмма $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ для хромшпинелидов руды месторождений Ишкинское, Ивановское, Дергамышское (%)

более высокие концентрации титана приурочены к краю зерен, а анализы хромшпинелидов синташтинских поселений делались в центре зерна. Тем не менее, в некоторых образцах титан был выявлен (образцы 3, ан. 1Wdh.; 751, ан. 1Wdh.) (табл. 5-4). К тому же на этом месторождении выявлены и мышьяковые минералы. Данное месторождение демонстрирует более высокие содержания никеля в руде, что вполне характерно для синташтинских шлаков, полученных при плавке ультраосновных пород. Кроме того, рудовмещающая порода месторождения представлена не только серпентинитами, но и углисто-кремнистыми сланцами, которые иногда сопутствуют серпентинитам, а подобные образцы выявлены на поселении Синташта.

Все это дало основание для предположения о преимущественной связи синташтинской металлургии или с этим месторождением или с месторождением этого типа. Поскольку метод оказался достаточно перспективен, на его основе совместно со специалистами Института минералогии УрО РАН (Миасс) был реализован более крупный проект по изучению состава хромшпинелидов в руде и шлаке этого периода (Григорьев и др., 2005; Зайков и др., 2005, 2005а; Дунаев и др., 2006, 2006а). В рамках проекта было сделано 269 анализов химического состава хромшпинелидов на электронном микроскопе. Для корректности сопоставления зерна анализировались в центральной части. При этом осуществлено не только химическое сопоставление, но и сравнение формы хромшпинелидов шлака и отдельных месторождений.

Во всех изученных шлаках хромиты эвгедральные и субгедральные, редко округлые, размер зерен 0,1—1 мм, часто с силикатными включениями. Многие имеют магнетитовую кайму, до 75 микрон. В большинстве случаев кайма имеет простое строение, с ровными внутренними границами с хромшпинелидом. Как отмечалось выше, при описании минералогии шлака, содержание этих включений колеблется в пределах 1—5%. Руды Ишкининского месторождения содержат вкрапленность эвгедральных и субгедральных хромшпинелидов октаэдрического габитуса с преобладающими размерами 0,5—1 мм. Количество зерен от 1 до 4% объема. Для них характерны магнетитовая и хроммагнетитовая каймы толщиной десятки микрон и округлые включения силикатного материала расплавной природы. Все это полностью соответствует характеру хромшпинелидов шлака. Более того, несколько меньшее их содержание в руде хорошо объясняется металлургическими переделами, поскольку в шлак не переходит медный компонент. Следовательно, и по этому показателю руда этого месторождения идентична синташтинским шлакам.

Хромшпинелиды Ивановского месторождения близки по морфологии и размерам, но практически не содержат силикатных включений и для них не свойственны магнетитовые каймы. В рудах Дергамышского месторождения включения хромшпинелидов единичны, они имеют размеры 0,1—0,3 мм. Хромшпинелиды из серпентинитов рудника Воровская яма представлены, преимущественно, субгедральными и амёбовидными зернами, размерами около 0,3 мм. Часто зерна разбиты микротрещинами. Они тоже отличаются от большинства хромшпинелидов, изученных в шлаках.

Сопоставление такой значительной серии микронзондовых анализов показало ряд закономерностей. Из анализов следует, что химический состав хромшпинелидов подвержен сильным колебаниям (таб. 5-40, 5-41). Причем, это проявляется как при сопоставлении анализов из разных мест, так и при сопоставлении состава хромшпинелидов в одном образце. Поэтому, как и в случае с любыми иными химическими анализами, этот метод не позволяет достоверно определить принадлежность конкретного отдельного образца к конкретному месторождению. Какие-то заключения возможны лишь на основе сопоставления статистически достоверных выборок.

В руде Ишкининского месторождения колебания хромистости — $100\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ сравнительно невелики — 62,98—74,91% со средним значением 69,78%. В руде Воров-

Таб. 5-40
Результаты рентгено-спектрального анализа хромшпинелидов из окисленных руд Ишкнинского месторождения, Воровской Ямы и шлаков синташтинских (Синташта, Аркаим, Аландское, Устье) и петровских (Родники, Куйсак) поселений

№ анали- фа	№ анализа	Содержание, мас. %															параметры			
		SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	V ₂ O ₅	NiO	CoO	ZnO	CaO	сумма	Cr#	Mg#	Z Fe ³⁺			
Т31	2а	—	0.38	0.25	15.01	50.60	10.66	23.10	0.23	0.07	—	—	—	100.29	69.35	51.30	6.85			
	2b	—	0.32	0.26	15.46	50.65	10.70	23.37	0.26	0.07	—	0.11	—	101.21	68.72	51.00	6.75			
	2с	—	0.40	0.29	15.46	50.21	10.53	23.73	0.26	0.08	—	—	—	100.95	68.53	50.40	7.05			
	3а	—	0.41	0.33	15.44	49.87	10.14	24.40	0.26	0.08	—	0.09	—	101.03	68.43	48.70	7.20			
	3b	—	0.44	0.30	15.87	48.72	9.93	25.26	0.25	0.09	—	—	—	100.84	67.34	47.70	7.85			
	3с	—	0.42	0.35	14.63	44.85	7.99	32.68	0.21	0.09	—	0.14	—	101.35	67.27	38.90	14.00			
	4а	—	0.44	0.32	17.70	46.71	9.23	25.97	0.23	0.07	—	—	—	100.67	63.91	44.30	7.05			
	4b	—	0.48	0.31	17.86	45.28	9.01	26.50	0.22	0.07	—	0.14	—	99.86	62.98	43.60	7.75			
	4с	—	0.37	0.31	17.23	47.48	9.38	26.03	0.25	0.08	—	—	—	101.13	64.89	44.80	7.30			
	5а	—	0.41	0.30	16.27	48.83	9.93	24.67	0.24	0.08	—	—	—	100.72	66.83	47.60	7.00			
	5b	—	0.40	0.28	15.98	47.40	9.33	25.63	0.24	0.07	—	0.09	—	99.43	66.54	45.50	7.85			
	5с	—	0.40	0.28	15.50	48.94	10.22	23.65	0.21	0.08	0.07	0.13	—	99.48	67.92	49.70	7.10			
	6а	—	0.43	0.29	14.78	50.61	10.66	22.41	0.26	0.07	—	—	—	99.49	69.70	51.80	6.45			
	6b	—	0.38	0.30	13.71	50.72	10.14	23.22	0.27	0.05	—	0.11	—	98.91	71.27	50.00	7.05			
6с	—	0.43	0.29	14.32	49.34	8.87	26.28	0.23	0.09	—	0.10	—	99.95	69.80	43.50	7.95				
Т3а1	2	—	—	—	14.61	53.24	10.79	21.61	—	—	—	—	—	100.25	70.96	51.60	4.80			
	3	—	—	—	14.76	53.41	10.00	23.31	—	—	—	—	—	101.48	70.82	47.60	4.90			
	4	—	—	—	14.19	54.33	12.07	20.40	—	—	—	—	—	100.99	71.96	57.00	5.50			
	5	—	—	—	13.38	50.49	8.73	25.60	—	—	—	—	—	98.20	71.68	43.30	7.30			
	6	—	—	—	14.67	51.62	8.19	26.93	—	—	—	—	—	101.41	70.23	39.50	6.10			
	7	—	—	—	14.58	50.62	8.63	26.34	—	—	—	—	—	100.17	69.96	41.90	6.85			
	8	—	—	—	14.01	51.08	9.26	25.86	—	—	—	—	—	100.21	70.96	44.90	7.55			
	9	—	—	—	12.15	52.95	8.30	25.81	—	—	—	—	—	99.21	74.49	41.20	6.50			
	10	—	—	—	12.72	51.72	8.54	25.38	—	—	—	—	—	98.36	73.15	42.50	6.70			
	11	—	—	—	12.79	52.78	8.64	25.05	—	—	—	—	—	99.26	73.46	42.60	6.00			
	13	—	—	—	12.13	53.94	8.35	25.36	—	—	—	—	—	99.78	74.91	41.20	5.70			
	14	—	—	—	12.56	53.32	9.06	25.19	—	—	—	—	—	100.13	74.02	44.30	6.65			
	15	—	—	—	12.21	52.14	8.53	26.18	—	—	—	—	—	99.06	74.15	42.30	7.55			
	12318а	—	0.53	—	19.22	50.43	11.49	16.95	—	—	—	1.28	—	99.90	63.78	54.80	0.05			
12318b	—	0.55	—	17.98	53.01	9.94	18.02	—	—	—	0.43	—	99.93	65.80	47.80	0.00				
12318с	0.52	1.98	—	17.69	49.38	6.11	22.76	—	—	—	1.47	—	99.91	64.50	31.00	0.00				
12318d	1.21	0.37	—	19.07	50.67	12.14	16.26	—	—	—	0.20	—	99.92	64.04	57.60	0.45				
12318е	0.94	1.33	—	18.24	49.97	8.76	20.21	—	—	—	0.48	—	99.93	65.00	43.10	0.00				
12318f	1.44	1.27	—	19.38	48.01	9.66	19.26	—	—	—	0.82	—	99.84	62.44	47.30	0.10				
12318h	0.91	0.85	—	18.77	51.52	10.81	16.70	—	—	—	0.40	—	99.96	64.30	52.00	0.00				
12318i	0.68	0.56	—	18.49	50.25	11.96	16.83	—	—	—	1.14	—	99.91	64.57	57.30	1.20				
12318j	0.64	1.94	—	17.67	48.68	3.92	25.48	—	—	—	1.60	—	99.93	65.00	20.30	0.00				
12318k	0.52	0.70	—	19.29	50.34	11.87	16.43	—	—	—	0.77	—	99.92	63.65	56.50	0.20				
12318l	1.02	1.88	—	19.16	48.11	8.47	21.03	—	—	—	0.28	—	99.95	62.70	41.70	0.00				
12318m	1.03	0.33	—	20.07	50.65	11.59	15.58	—	—	—	0.69	—	99.94	62.25	55.10	0.00				
12318n	1.08	2.47	—	17.48	47.81	2.77	26.90	—	—	—	1.41	—	99.92	63.65	14.60	0.00				
12318o	1.09	3.24	—	11.93	43.46	1.14	37.51	—	—	—	1.56	—	99.93	70.95	6.30	10.85				
12319с	0.64	1.10	—	17.07	51.59	9.88	19.38	—	—	—	0.24	—	99.90	66.97	48.10	0.55				
12319а	0.49	0.75	—	18.12	50.57	12.33	17.34	—	—	—	0.21	—	99.81	65.18	58.50	2.35				
12319d	0.79	0.84	—	18.66	50.52	13.29	15.71	—	—	—	0.09	—	99.90	64.50	62.60	2.10				
12319е	0.45	2.43	—	18.93	47.16	4.71	25.14	—	—	—	1.14	—	99.96	61.80	24.00	0.00				
8022	Воровская яма	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

Продолжение Таб. 5-40

№ анали- фа	№ анализа	Содержание, мас. %													параметры			
		SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	V ₂ O ₅	NiO	CoO	ZnO	CaO	сумма	Cr#	Mg#	Z Fe ³⁺	
	12319f	0.58	0.89	—	18.46	51.01	11.95	16.30	—	—	—	—	—	99.95	64.96	57.10	0.45	
	12319g	0.74	0.30	—	19.36	50.12	12.88	15.60	—	—	—	—	—	99.91	63.45	60.80	1.10	
	12319h	0.74	0.10	—	18.59	50.68	12.15	16.77	—	—	—	—	—	99.93	64.66	57.70	1.20	
	12319j	0.56	0.69	—	19.15	50.50	12.47	15.81	—	—	—	—	—	99.91	63.88	59.10	0.60	
	12319k	0.99	1.10	—	19.10	48.62	12.23	17.14	—	—	—	—	—	99.91	63.07	58.50	2.25	
	12319l	1.06	1.50	—	19.30	49.20	8.67	19.68	—	—	—	—	—	99.92	62.50	42.60	0.00	
	2319m	1.23	2.50	—	17.69	46.76	3.36	26.53	—	—	—	—	—	99.93	63.20	17.70	0.00	
	12319n	0.68	0.55	—	19.37	50.69	11.97	16.00	—	—	—	—	—	99.90	63.60	56.90	0.00	
	12319o	1.36	1.34	—	18.88	48.76	8.95	19.80	—	—	—	—	—	99.90	63.20	44.10	0.00	
	12319p	0.69	1.20	—	18.17	50.53	8.21	20.65	—	—	—	—	—	99.93	64.65	40.40	0.00	
	12319q	1.37	0.32	—	19.97	50.33	12.04	15.40	—	—	—	—	—	99.92	62.50	57.20	0.00	
	12319r	1.28	2.26	—	19.45	46.76	4.07	25.42	—	—	—	—	—	99.94	60.60	20.90	0.00	
	12319s	0.71	0.60	—	18.48	52.22	11.54	16.24	—	—	—	—	—	99.92	65.20	55.00	0.00	
	12319t	0.84	0.75	—	17.94	52.25	11.34	16.63	—	—	—	—	—	99.93	66.00	54.40	0.00	
	12319u	1.16	1.75	—	19.82	48.33	9.34	18.23	—	—	—	—	—	99.91	61.40	46.00	0.00	
	12319v	1.24	2.04	—	19.10	47.21	7.28	22.52	—	—	—	—	—	99.94	62.30	36.40	0.00	
	12319w	0.25	2.44	—	18.35	48.30	6.86	23.08	—	—	—	—	—	99.95	63.70	34.30	0.00	
	12317l	—	0.09	—	44.31	25.06	20.38	9.47	—	—	—	—	—	99.97	27.51	82.60	2.05	
	12317m	—	—	—	44.09	23.94	20.79	9.90	—	—	—	—	—	99.92	26.68	84.40	3.45	
	2	—	0.54	0.33	11.26	50.44	7.87	30.96	0.40	—	—	—	—	101.80	75.01	38.80	12.15	
	5	—	0.49	—	8.25	54.87	8.27	28.79	—	—	—	—	—	100.67	81.59	43.10	9.85	
	6	—	0.51	—	8.41	55.48	8.63	27.31	—	—	—	—	—	100.34	81.44	39.20	10.30	
	8	—	—	—	8.56	55.98	7.97	29.49	—	—	—	—	—	102.00	66.89	33.30	10.15	
	9	—	—	—	15.59	46.90	6.90	32.08	—	—	—	—	—	101.47	66.76	33.40	8.95	
	10	—	—	—	15.63	46.80	6.82	30.78	—	—	—	—	—	100.03	72.78	21.50	26.15	
	11	—	0.73	0.69	9.81	39.10	4.15	44.97	—	—	—	—	—	99.45	83.54	14.80	25.95	
	14	—	—	1.06	5.78	43.76	2.77	45.82	0.59	—	—	—	—	99.78	79.57	43.40	6.00	
	16	—	0.45	—	9.88	57.30	8.81	24.84	—	—	—	—	—	101.28	78.96	43.80	5.60	
	20	—	0.45	0.24	10.27	57.41	8.94	24.56	—	—	—	—	—	101.87	78.49	44.00	5.85	
	21	—	—	0.37	10.40	56.63	8.93	24.53	0.46	—	—	—	—	101.32	78.49	44.00	5.85	
	3	—	—	—	11.75	52.21	9.16	27.97	—	—	—	—	—	101.09	74.87	44.40	10.30	
	4	—	—	0.41	11.33	52.61	9.33	28.14	—	—	—	—	—	101.82	75.69	45.20	10.80	
	5	—	—	0.37	11.95	52.22	9.13	28.16	—	—	—	—	—	101.83	74.55	44.10	10.25	
	6	—	—	—	12.89	50.75	6.79	30.10	—	—	—	—	—	100.53	72.53	33.50	8.45	
	7	—	0.67	0.37	10.90	52.64	6.46	27.32	—	—	—	—	—	98.36	76.42	33.20	6.05	
	8	—	—	—	11.24	54.09	6.20	27.96	0.51	—	—	—	—	100.00	76.36	31.30	5.20	
	12	—	—	—	13.37	54.33	8.33	23.25	—	—	—	—	—	99.28	73.16	41.10	2.75	
	13	—	0.78	—	14.66	53.35	9.06	23.28	—	—	—	—	—	101.13	70.93	43.80	3.50	
	1	0.59	—	—	10.94	56.75	8.88	20.97	—	—	—	—	—	98.13	77.67	44.90	2.15	
	2	0.77	0.67	—	10.78	54.50	9.00	22.46	—	—	—	—	—	98.18	77.23	45.70	4.90	
	3	—	—	—	11.34	55.15	9.24	26.07	—	—	—	—	—	101.79	76.54	44.70	7.65	
	4	—	0.96	—	10.15	55.23	10.62	21.47	—	—	—	—	—	98.42	78.51	53.10	6.70	
	6	—	0.68	—	13.90	52.89	8.41	23.19	—	—	—	—	—	99.07	71.86	41.70	3.15	
	7	—	—	—	14.73	51.21	7.47	25.96	—	—	—	—	—	99.37	69.99	36.80	4.30	
	8	—	—	—	16.63	47.49	10.99	25.15	—	—	—	—	—	100.26	65.69	52.00	9.35	
	9	—	—	0.47	16.48	46.68	10.57	24.92	—	—	—	—	—	99.12	65.51	50.90	9.05	
	10	—	0.62	0.35	17.04	45.64	11.11	25.02	—	—	—	—	—	99.78	63.90	53.10	10.05	
	11	—	—	—	12.64	50.44	4.14	32.67	—	—	—	—	—	99.90	72.81	21.00	6.90	
	12	—	0.85	—	12.29	50.32	4.85	32.76	—	—	—	—	—	101.07	73.31	24.40	8.45	

Продолжение Таб. 5-40

№ анали- фа	№ анализа	Содержание, мас. %														параметры		
		SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	V ₂ O ₅	NiO	CoO	ZnO	CaO	сумма	Ст#	Mg#	Z Fe ³⁺	
7261	13	—	—	—	12,36	49,75	4,39	35,29	—	—	—	—	—	101,80	72,97	21,80	10,10	
	1	—	—	—	13,39	53,79	9,28	22,81	—	—	—	—	—	100,97	72,94	45,50	4,10	
	2	—	—	—	13,77	55,15	10,26	21,89	—	—	—	—	—	101,07	72,88	49,10	3,95	
	4	—	—	—	14,20	50,33	7,86	26,14	—	—	—	—	—	100,46	70,40	39,00	5,90	
	5	—	—	—	14,62	49,57	8,33	26,76	—	—	—	—	—	101,10	69,45	40,80	7,20	
	6	—	—	—	13,89	48,93	8,03	27,41	—	—	—	—	—	99,08	70,26	39,90	8,20	
	7	—	—	—	11,82	53,56	5,95	28,35	—	—	—	—	—	99,67	75,26	29,90	5,00	
	8	—	—	—	11,91	53,10	5,76	29,25	—	—	—	—	—	100,02	74,93	28,90	5,65	
	9	—	—	—	12,95	52,04	5,80	29,29	—	—	—	—	—	100,08	72,95	29,00	5,50	
	2	—	—	0,41	13,16	55,21	11,89	20,48	—	—	—	—	—	101,15	73,78	56,60	5,60	
	3	—	—	—	12,84	55,00	12,08	20,56	—	—	—	—	—	100,48	74,17	57,60	6,30	
	1	—	—	0,43	11,52	52,99	25,69	9,91	—	—	—	—	—	100,54	75,52	48,30	9,30	
	3	—	—	—	11,66	53,46	26,62	9,65	—	—	—	—	—	101,39	75,47	46,60	9,35	
	4	—	—	0,40	13,37	53,40	20,22	11,61	—	—	—	—	—	99,00	72,81	56,30	5,65	
5	—	0,63	0,30	13,08	53,82	20,06	12,56	—	—	—	—	—	100,45	73,40	60,10	6,95		
6	—	—	—	13,69	53,83	20,73	12,40	—	—	—	—	—	101,64	72,52	58,70	6,85		
7	—	0,67	—	13,61	52,32	21,13	12,58	—	—	—	—	—	100,31	72,06	60,00	8,25		
8	—	0,78	0,33	13,44	53,11	20,75	12,22	—	—	—	—	—	100,63	72,60	58,50	7,15		
9	—	—	—	13,41	53,43	21,17	11,62	—	—	—	—	—	99,63	72,80	55,80	6,45		
10	—	—	—	14,09	52,78	20,30	13,20	—	—	—	—	—	100,38	71,55	62,10	7,90		
11	—	0,55	0,38	13,56	50,91	20,17	12,71	—	—	—	—	—	98,28	71,58	61,80	8,35		
13	—	—	—	12,48	52,40	22,31	11,96	—	—	—	—	—	99,15	73,82	57,70	9,10		
14	—	—	—	11,66	54,45	22,72	11,17	—	—	—	—	—	100,00	75,80	54,00	7,85		
1	0,84	—	0,10	16,97	49,66	8,79	30,66	—	—	—	—	—	100,02	66,25	42,70	3,55		
2	1,25	—	0,14	13,11	49,72	5,77	23,12	—	—	—	—	—	100,09	71,81	29,10	7,25		
2a	3,21	0,10	0,12	13,14	48,63	5,20	29,56	—	—	—	—	—	99,97	71,28	26,90	6,35		
3	0,24	—	0,10	15,82	51,84	10,57	21,04	—	—	—	—	—	99,62	68,71	50,80	3,80		
3a	0,21	—	0,10	16,54	51,48	10,87	21,40	—	—	—	—	—	100,59	67,62	51,50	4,25		
3b	0,25	—	0,10	16,15	51,87	10,57	21,99	—	—	—	—	—	100,92	68,31	50,20	4,40		
4	0,33	—	0,16	13,93	46,29	6,43	33,61	—	—	—	—	—	100,74	69,02	31,70	12,35		
4a	0,37	0,12	0,16	14,17	46,46	6,10	33,49	—	—	—	—	—	100,88	68,76	30,10	11,45		
4b	1,44	0,10	0,13	13,69	46,05	5,68	33,70	—	—	—	—	—	100,80	69,29	28,50	11,65		
4c	0,40	0,11	0,15	13,82	48,26	6,28	31,66	—	—	—	—	—	100,68	70,39	31,10	9,55		
5	0,28	0,13	0,34	20,40	40,39	8,35	29,68	—	—	—	—	—	99,57	57,08	40,00	9,95		
5a	0,22	0,11	0,36	20,47	40,85	8,47	29,31	—	—	—	—	—	99,78	57,27	40,50	9,55		
5b	0,25	0,10	0,36	20,15	40,35	8,23	29,34	—	—	—	—	—	98,77	57,31	39,80	9,70		
6	0,42	0,15	—	11,58	52,51	6,34	29,00	—	—	—	—	—	100,01	75,25	31,90	6,90		
6a	1,26	0,10	0,11	11,67	55,06	7,37	25,56	—	—	—	—	—	101,14	76,00	36,80	4,15		
6b	0,31	—	0,08	12,22	56,08	7,28	24,25	—	—	—	—	—	100,22	75,47	36,20	1,95		
7a	0,31	0,10	0,09	13,41	51,73	9,76	24,28	—	—	—	—	—	98,67	72,12	47,70	7,10		
7b	0,29	0,11	0,14	13,60	52,65	9,72	24,62	—	—	—	—	—	101,12	72,19	46,90	6,75		
7c	0,29	0,11	0,07	13,68	51,80	9,94	24,23	—	—	—	—	—	100,11	71,74	48,20	7,10		
8	0,35	0,19	0,11	13,61	45,52	5,51	34,71	—	—	—	—	—	99,99	69,18	27,60	12,55		
8a	0,29	0,20	0,13	12,88	47,54	6,89	31,78	—	—	—	—	—	99,71	71,23	34,40	11,65		
8b	0,51	0,15	0,11	12,18	47,18	4,10	35,53	—	—	—	—	—	99,76	72,22	21,00	11,45		
9	0,30	0,13	0,07	13,86	49,41	9,10	26,34	—	—	—	—	—	99,20	70,54	44,70	8,65		
9a	0,24	0,20	—	13,75	51,44	11,26	23,47	—	—	—	—	—	100,35	71,51	54,00	8,55		
9b	0,24	0,20	—	14,07	53,11	11,75	21,01	—	—	—	—	—	100,37	71,70	56,10	6,20		
8421	Устье																	

Продолжение Таб. 5-40

№ анали- фа	№ анализа	Содержание, мас. %													параметры			
		SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	V ₂ O ₅	NiO	CoO	ZnO	CaO	сумма	Стр#	Mг#	Z Fe ³⁺	
877-11	6а*	2.17	0.16	—	10.05	55.96	7.47	23.19	0.23	0.21	—	—	99.44	78.89	38.60	2.85		
	3	0.15	0.15	1.33	17.57	39.54	7.77	33.91	0.46	0.20	—	—	101.07	60.14	37.80	15.20		
	3а	0.23	0.20	1.33	17.77	38.39	7.65	33.20	0.48	0.17	—	—	99.41	59.17	37.80	14.95		
	3б	0.14	0.17	1.35	17.98	39.01	7.40	32.94	0.50	0.19	—	—	99.68	59.26	36.50	13.85		
	7а	1.95	0.15	0.15	11.03	53.23	5.53	27.78	0.27	0.09	—	—	100.17	76.39	28.60	4.55		
	7б*	1.80	0.14	0.08	10.91	52.11	5.42	29.57	0.32	0.18	—	—	100.61	76.22	27.90	6.65		
	8б	0.66	0.11	0.08	14.12	53.02	8.62	23.38	0.08	—	—	—	100.07	71.58	42.40	3.45		
	11а	0.22	0.09	0.08	12.46	51.98	11.49	22.58	—	—	—	—	98.90	73.67	56.00	8.85		
	2	0.16	0.13	0.08	11.73	55.99	6.00	26.53	0.25	0.12	—	—	100.98	76.19	30.10	2.35		
	2а	0.10	0.12	0.11	11.10	55.75	9.62	23.36	0.24	0.12	—	—	100.52	77.12	47.30	5.80		
	2с*	0.15	0.13	0.20	10.84	56.35	9.33	23.48	0.27	0.13	—	—	100.87	77.71	45.90	5.35		
	4	0.10	0.17	0.34	13.14	49.60	9.29	25.93	0.27	0.14	—	—	98.97	71.69	46.00	9.05		
	4а	0.12	0.24	0.32	14.33	49.35	9.19	26.97	0.30	0.13	—	—	100.93	69.78	44.60	9.00		
	4б	0.16	0.12	0.32	13.49	49.20	9.42	26.37	0.28	0.14	—	—	99.49	70.98	46.30	9.55		
	12	0.18	0.13	0.12	15.35	49.19	9.91	25.02	0.11	—	—	—	100.01	68.24	47.80	7.80		
	12а	0.19	0.13	0.13	14.54	49.60	9.97	25.17	0.07	—	—	—	99.78	69.60	48.30	8.40		
	12б	0.16	0.15	0.12	14.65	47.58	9.15	26.98	0.10	—	—	—	98.87	68.53	44.90	9.60		
	9	0.17	0.10	0.25	16.50	41.00	8.12	33.32	0.17	—	—	—	99.64	62.51	39.50	15.30		
	9б*	0.18	0.11	0.24	16.05	40.70	8.29	33.25	0.12	—	—	—	98.94	62.98	40.60	16.00		
	1	0.12	—	0.09	14.38	54.02	12.30	19.49	0.20	0.11	—	—	100.70	71.60	58.30	5.10		
1а	0.13	—	0.13	14.53	53.33	12.15	19.27	0.20	0.13	—	—	99.86	71.14	58.10	4.90			
1б	0.14	—	0.09	14.75	52.65	12.31	18.96	0.21	0.10	—	—	99.20	70.56	59.10	5.05			
16	0.34	0.10	0.09	11.88	52.93	7.21	26.73	0.08	—	—	—	99.35	74.93	36.30	5.80			
16а	0.30	0.13	0.07	11.46	52.24	8.04	26.31	0.09	—	—	—	98.63	75.36	40.50	7.40			
5	0.30	0.12	0.07	10.48	53.42	8.60	25.77	0.23	0.14	—	—	99.13	77.35	43.20	7.95			
5а	0.31	0.12	0.07	9.51	55.47	7.47	26.16	0.21	0.13	—	—	99.44	79.64	37.90	6.20			
5б*	0.59	—	0.09	9.12	55.93	7.15	26.16	0.26	0.09	—	—	99.39	80.42	36.50	5.75			
10б	0.27	0.15	0.10	10.24	52.76	8.96	25.44	0.11	0.18	—	—	98.21	77.58	45.30	8.75			
15б	0.25	0.14	0.19	13.15	46.69	5.94	33.64	0.08	—	—	—	100.08	70.44	29.70	12.05			
1	—	0.11	0.11	14.95	52.68	12.58	19.28	—	—	—	—	99.69	70.29	59.80	5.55			
2	—	0.09	0.09	15.37	52.25	12.50	19.12	—	—	—	—	99.42	69.51	59.40	5.20			
3	—	0.10	0.11	17.62	49.47	11.39	20.21	—	—	—	—	98.89	65.34	54.30	4.20			
4	—	0.10	0.10	17.38	51.24	12.52	19.77	—	—	—	—	101.10	66.42	58.20	4.90			
5	—	0.12	0.07	13.12	53.63	11.19	20.83	—	—	—	—	98.96	73.29	54.40	5.65			
6	—	0.11	0.08	13.77	54.26	10.91	21.78	—	—	—	—	100.91	72.56	52.10	5.25			
8	—	0.10	0.08	13.79	52.62	11.56	21.30	—	—	—	—	99.46	71.90	55.70	6.60			
12300	—	0.17	0.16	12.20	57.14	8.36	21.67	—	—	—	0.20	99.90	75.84	41.50	0.90			
12300а	—	—	0.20	11.59	58.41	7.23	22.40	—	—	—	0.11	99.94	77.55	36.20	0.00			
12300б	—	0.32	0.36	12.22	54.84	8.09	23.75	—	—	—	0.32	99.90	75.05	40.30	3.40			
12300с	—	—	—	10.11	58.94	6.99	23.57	—	—	—	0.28	99.89	79.65	35.30	1.00			
12300е	—	—	0.22	9.21	58.42	7.96	23.80	—	—	—	0.29	99.90	81.12	40.10	3.65			
12301w	—	—	0.02	10.02	59.88	10.32	19.59	—	—	—	0.06	99.89	80.02	50.80	2.40			
12301x	—	—	0.12	10.31	59.35	11.13	18.92	—	—	—	0.10	99.93	79.45	54.40	3.15			
12301y	—	—	0.22	9.82	60.09	10.34	19.30	—	—	—	0.16	99.93	80.41	51.00	2.20			
12301	—	0.04	0.29	11.67	55.84	8.00	23.80	—	—	—	0.29	99.93	76.24	39.90	3.20			
12301а	—	—	0.38	11.11	56.17	8.31	23.84	—	—	—	0.08	99.89	77.24	41.40	4.00			
12301б	—	—	0.28	11.46	56.00	8.77	23.40	—	—	—	—	99.91	76.63	43.40	4.15			
12300u	—	—	0.44	5.46	54.94	1.53	37.37	—	—	—	0.16	99.90	87.12	8.20	10.30			
12300v	—	—	0.20	12.13	56.24	8.84	22.12	—	—	—	0.39	99.92	75.68	43.70	2.55			

Продолжение Таб. 5-40

№ анали- фа	№ анализа	Содержание, мас. %														параметры			
		SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	V ₂ O ₅	NiO	CoO	ZnO	CaO	сумма	Cr#	Mg#	Z Fe ³⁺		
	12300w	—	—	0.07	11.84	55.89	10.03	21.94	—	—	—	0.19	99.96	76.00	49.10	4.60			
	12301t	—	—	0.49	19.15	46.55	7.25	26.18	—	—	—	0.36	99.98	62.00	35.20	3.25			
	12301u	—	—	0.41	19.76	46.88	7.47	25.43	—	—	—	—	99.95	61.42	36.00	2.40			
	12301v	—	—	0.43	16.67	46.79	5.31	30.39	—	—	—	0.36	99.95	65.33	26.40	5.55			
	12301k	—	—	0.10	12.98	54.37	9.78	22.40	—	—	—	0.27	99.90	73.76	47.80	4.55			
	12301l	—	—	0.27	12.77	54.05	8.94	23.53	—	—	—	0.35	99.91	73.97	44.00	4.55			
	12301m	—	—	—	12.98	54.04	9.75	23.14	—	—	—	—	99.91	73.65	47.40	5.30			
	12300f	—	—	0.22	11.62	56.85	9.14	21.76	—	—	—	0.38	99.97	76.66	45.20	2.75			
	12300h	0.08	0.08	0.11	11.98	55.63	8.48	23.47	—	—	—	0.19	100.02	75.69	42.00	3.55			
	12300i	—	—	0.49	10.78	56.77	4.43	27.11	—	—	—	0.33	99.91	77.93	22.80	0.55			
	12300j	—	—	0.28	10.47	57.34	3.93	27.50	—	—	—	0.38	99.90	78.60	20.30	0.00			
	12300k	—	—	0.03	10.99	56.14	5.65	27.02	—	—	—	0.10	99.93	77.40	28.60	2.65			
	12300l	—	—	0.41	11.85	58.82	11.26	17.47	—	—	—	0.11	99.92	76.91	54.80	1.25			
	12300m	—	0.01	0.41	11.67	60.04	8.91	18.68	—	—	—	0.13	99.85	79.00	37.23	0.00			
	12300n	—	—	0.27	11.86	60.15	9.73	17.53	—	—	—	0.34	99.88	76.90	48.00	0.00			
	12300o	0.08	—	0.34	12.08	56.59	10.59	20.04	—	—	—	0.29	100.01	75.85	51.70	3.35			
	12300p	—	—	0.16	12.44	56.72	11.01	19.41	—	—	—	0.23	100.05	75.37	53.40	3.15			
	12300q	—	—	0.01	12.48	60.23	8.22	19.00	—	—	—	—	99.94	78.95	40.60	0.00			
	12301e	—	—	0.58	13.28	54.70	8.76	22.37	—	—	—	0.22	99.91	73.42	43.20	2.55			
	12301f	—	—	0.36	14.81	52.26	10.51	21.99	—	—	—	0.01	99.94	70.30	50.60	5.05			
	12301g	—	—	0.28	14.02	54.52	8.87	22.16	—	—	—	0.07	99.92	72.30	43.40	2.10			
	12301h	—	—	0.22	12.75	58.55	7.68	20.46	—	—	—	0.28	99.94	74.90	38.20	0.00			
	12301o	—	—	0.23	12.13	58.65	6.37	22.35	—	—	—	0.24	99.97	75.85	32.10	0.00			
	12301p	—	—	0.52	12.32	57.47	9.84	19.64	—	—	—	0.16	99.95	75.80	48.30	1.20			
	12301q	—	—	0.22	12.62	54.53	7.82	24.60	—	—	—	0.12	99.91	74.34	38.80	3.60			
	12301r	—	—	0.11	11.49	54.04	6.23	27.73	—	—	—	0.34	99.94	75.92	31.40	4.90			
	12301s	—	—	0.11	12.68	54.19	8.59	24.07	—	—	—	0.28	99.92	74.15	42.30	4.45			
	12301h	—	—	0.33	13.35	56.14	10.86	19.24	—	—	—	0.03	99.95	73.82	52.60	2.40			
	12301i	—	—	0.29	13.81	54.82	9.76	20.93	—	—	—	0.29	99.90	72.68	47.60	2.45			
	12301j	—	—	0.07	12.70	55.56	10.51	20.96	—	—	—	0.13	99.93	74.57	51.00	4.05			
	12304c	—	—	0.18	13.47	54.07	7.93	24.00	—	—	—	0.27	99.92	72.93	39.20	2.85			
	12304d	—	0.04	0.21	13.90	54.76	7.35	23.47	—	—	—	0.17	99.90	72.57	36.40	0.85			
	12304v	—	—	0.42	9.69	62.01	7.44	20.13	—	—	—	0.21	99.90	80.60	37.70	0.00			
	12304w	—	0.03	0.36	10.62	61.23	7.48	19.95	—	—	—	0.24	99.91	78.85	37.70	0.00			
	12304x	—	0.07	0.51	9.55	61.89	6.99	20.58	—	—	—	0.34	99.93	80.80	35.60	0.00			
	12304e	—	—	0.27	13.89	54.62	7.35	23.40	—	—	—	0.33	99.86	72.52	36.50	0.85			
	12304f	—	0.02	0.11	9.83	60.95	6.23	22.65	—	—	—	0.18	99.97	80.25	31.70	0.00			
	12304g	—	—	—	8.43	62.42	6.23	23.52	—	—	—	0.10	99.90	82.90	27.90	0.00			
	12304h	—	—	0.35	9.22	61.37	6.30	22.31	—	—	—	0.37	99.92	81.35	32.20	0.00			
	12304i	—	—	0.37	12.02	55.30	6.10	25.90	—	—	—	0.24	99.93	75.55	30.80	2.05			
	12304k	—	—	0.41	10.54	57.13	4.86	26.55	—	—	—	0.30	99.79	78.44	25.00	0.75			
	12304l	—	—	—	12.95	54.37	7.13	25.21	—	—	—	0.19	99.85	73.80	35.40	2.90			
	12304o	—	0.38	1.84	18.23	39.07	5.98	33.88	—	—	—	0.58	99.96	58.98	29.80	12.35			
	12304p	—	—	1.30	17.78	40.21	5.97	34.55	—	—	—	0.14	99.95	60.27	29.50	12.60			
	12304q	—	0.03	1.49	18.53	39.31	6.67	33.68	—	—	—	0.24	99.95	58.72	32.80	12.80			
	12304r	—	0.06	0.62	13.43	53.09	8.30	24.15	—	—	—	0.28	99.93	72.63	41.10	4.05			
	12304s	—	0.15	0.52	13.99	53.13	7.54	24.63	—	—	—	0.02	99.98	71.80	37.30	2.85			
	12304t	—	0.20	0.68	15.35	51.39	9.50	22.54	—	—	—	0.29	99.95	69.18	46.30	4.00			
	12304x	—	0.02	0.38	13.59	54.80	7.43	23.67	—	—	—	—	99.89	73.00	36.80	1.35			

Куйсак

306/к6812

Окончание Таб. 5-40

№ анали- фа	№ анализа	Содержание, мас. %										параметры					
		SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	V ₂ O ₅	NiO	CoO	ZnO	CaO	сумма	Cr#	Mg#	Z Fe ³⁺
	12304y	—	0.10	0.18	13.85	54.18	7.67	23.74	—	—	—	—	—	—	72.43	37.90	1.90
	12304z	—	—	0.22	13.90	54.21	7.94	23.55	—	—	—	—	—	—	72.36	39.10	2.10
	139	0.64	0.15	—	12.49	54.13	10.68	21.82	—	—	—	—	—	—	99.91	74.39	5.90
	139a	0.84	0.23	—	12.55	53.69	11.09	21.51	—	—	—	—	—	—	99.91	74.15	5.40
	139b	0.52	0.25	—	12.06	55.08	10.14	21.88	—	—	—	—	—	—	99.93	75.38	4.95
	139c	0.92	0.11	—	17.92	52.86	9.39	18.71	—	—	—	—	—	—	99.91	65.75	45.40
	139p	1.33	0.18	—	18.52	51.72	9.58	18.59	—	—	—	—	—	—	99.92	64.60	46.30
	139q	1.12	0.50	—	18.04	51.69	9.22	19.32	—	—	—	—	—	—	99.89	65.35	44.80
	1310a	0.65	0.55	—	10.01	57.00	6.47	25.22	—	—	—	—	—	—	99.90	79.25	33.00
	1310b	1.49	0.42	—	9.96	57.56	5.98	24.50	—	—	—	—	—	—	99.91	79.52	30.90
	1310c	0.74	0.29	—	9.44	57.69	6.34	25.39	—	—	—	—	—	—	99.89	80.38	32.40
	139v	0.85	0.13	—	9.50	58.23	9.23	21.97	—	—	—	—	—	—	99.91	80.43	46.20
	139z	0.92	0.30	—	9.58	57.97	7.68	23.47	—	—	—	—	—	—	99.92	80.24	38.90
	139r	0.80	0.39	—	12.85	52.58	10.90	22.44	—	—	—	—	—	—	99.96	73.32	53.10
	139s	1.02	0.39	—	12.92	52.34	10.24	23.02	—	—	—	—	—	—	99.93	73.11	50.30
	139t	1.09	0.11	—	13.35	53.19	10.19	22.02	—	—	—	—	—	—	99.95	72.78	49.90
	1310d	0.98	0.06	—	12.06	54.97	8.96	22.89	—	—	—	—	—	—	99.92	75.35	44.40
	1310e	0.92	0.62	—	12.61	53.89	9.30	22.59	—	—	—	—	—	—	99.93	74.15	46.10
	1310f	1.17	0.27	—	13.01	53.17	10.52	21.77	—	—	—	—	—	—	99.91	73.28	51.60
	139i	0.91	0.37	—	12.04	58.37	10.73	17.51	—	—	—	—	—	—	99.93	76.48	52.70
	139j	0.56	0.30	—	11.38	60.04	8.84	18.81	—	—	—	—	—	—	99.93	77.60	44.00
	139k	0.60	0.11	—	12.49	57.63	9.35	19.75	—	—	—	—	—	—	99.93	75.56	46.10
	1310o	1.07	0.48	—	13.92	51.58	8.91	23.99	—	—	—	—	—	—	99.95	71.29	44.00
	1310p	0.79	0.32	—	13.90	51.81	8.64	24.44	—	—	—	—	—	—	99.90	71.43	42.60
	1310q	1.03	0.30	—	13.74	51.98	9.10	23.78	—	—	—	—	—	—	99.93	71.75	44.80
	139u	0.76	0.43	—	12.26	57.64	8.48	20.40	—	—	—	—	—	—	99.97	75.85	42.30
	139v	0.92	0.56	—	11.40	58.24	8.66	20.16	—	—	—	—	—	—	99.94	77.40	43.40
	139w	2.01	0.50	—	12.00	56.96	8.60	19.88	—	—	—	—	—	—	99.95	76.05	43.40

Примечание. ΣFeO — FeO+Fe₂O₃. Прочерк — компонент не обнаружен. Основные расчетные параметры: Cr#=100Cr/(Cr + Al), Mg#=100Mg/(Mg + Fe²⁺), Z Fe³⁺ — доля трехвалентного железа в R³⁺, %.

В графе с номером анализа: ¹Анализ выполнен на микрозондовом анализаторе JEOL JСХА-733 (Институт минералогии УрО РАН, аналитик Е. И. Чуринов). ²Анализ выполнен на растровом электронном микроскопе РЭММА-202МВ с ЭДП (Институт минералогии УрО РАН, аналитик В. А. Котляров).

ской Ямы эти колебания значительно выше — 26,68—70,95% (среднее значение 62%, поскольку низкие показатели демонстрируют единичные образцы). На Ивановском месторождении хромистость варьирует в пределах 58,86—89,98 %, а на Дергамышском — в пределах 60,12—83,77%.

Таб. 5-41

Состав хромшпинелидов из шлаков

Памятник	содержание, вес. %						параметры			N
	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	Cr#	Mg#	Z Fe ³⁺	
Ишкинино	0,32—0,48 (0,41)	0,25—0,35 (0,30)	12,13—17,86 (14,64)	44,85—54,33 (50,42)	7,99—12,07 (9,49)	20,40—32,68 (24,71)	62,98—74,91 (69,79)	38,90—57,00 (46,03)	4,80—14,00 (7,05)	28
Воровская Яма	0,00—3,24 (1,18)	—	11,93—44,31 (19,91)	23,94—53,01 (48,20)	1,14—20,79 (9,93)	9,47—37,51 (19,15)	26,68—70,95 (62,00)	6,30—84,40 (47,15)	0,00—10,85 (0,78)	37
Синташта	0,00—0,78 (0,24)	0,00—1,06 (0,20)	5,78—15,63 (11,15)	39,10—57,41 (51,94)	2,77—9,33 (7,61)	23,25—45,82 (29,49)	66,76—83,54 (75,69)	14,80—45,20 (37,68)	2,75—12,15 (9,68)	19
Аркаим	0,00—0,98 (0,17)	0,00—0,47 (0,06)	10,15—17,04 (13,27)	45,64—56,75 (51,94)	4,14—12,08 (8,41)	20,48—35,29 (25,86)	63,90—78,51 (72,41)	21,00—57,60 (41,20)	2,15—10,10 (6,37)	22
Аландское	0,00—0,99 (0,33)	0,00—0,43 (0,15)	11,52—14,09 (12,96)	50,91—54,45 (53,08)	9,65—13,20 (11,80)	20,06—26,62 (21,82)	71,55—75,80 (73,33)	46,60—62,10 (56,66)	5,65—9,35 (7,76)	12
Куйсак	0,00—0,62 (0,18)	0,00—1,84 (0,28)	8,43—18,53 (12,80)	39,07—62,42 (54,55)	2,19—13,52 (8,35)	16,69—34,55 (23,02)	58,72—82,90 (73,98)	11,50—64,10 (41,36)	0,05—12,80 (3,18)	79
Родники	0,00—0,32 (0,02)	0,00—0,58 (0,24)	5,46—19,76 (12,22)	46,55—60,23 (56,03)	1,53—11,26 (8,36)	17,47—37,37 (22,85)	61,42—87,12 (75,58)	8,20—54,80 (41,10)	0,55—10,30 (2,75)	43
Устье	0,00—0,24 (0,10)	0,00—1,33 (0,13)	8,45—27,86 (13,57)	38,39—59,50 (51,86)	4,10—14,37 (8,75)	15,24—35,53 (25,75)	48,92—82,35 (71,72)	21,00—63,20 (42,78)	0,05—16,00 (6,99)	121

Примечание. ΣFeO — FeO + Fe₂O₃. 0.00 — ниже предела обнаружения. В скобках показаны средние значения. N — число анализов. Расчетные параметры: Cr# = 100Cr/(Cr + Al), Mg# = 100Mg/(Mg + Fe²⁺), Z Fe³⁺ — доля трехвалентного железа в R³⁺, %.

Анализы выполнены на микрозондовом анализаторе JEOL JCSA-733 (Институт минералогии УрО РАН, аналитик Е. И. Чурин) и растровом электронном микроскопе РЭММА-202МВ (Институт минералогии УрО РАН, аналитик В. А. Котляров)

В шлаках этот показатель тоже характеризуется определенным разбросом. Он не столь велик, как в руде Воровской Ямы, и ближе руде Ишкининского, Ивановского и Дергамышского месторождений. Большой разброс демонстрируют образцы Устья (48,92—82,35%) и Куйсака (58,72—82,90%). По магнезиальности — 100Mg/(Mg + Fe²⁺), хромшпинелиды руды с Ишкинино попадают в диапазон 38,90—57,00% со средним значением 46,03%, руды Воровской Ямы — в больший диапазон 6,30—84,40%, демонстрируя близкие средние значения 47,15%, Ивановского — 29,50—68,20%, а Дергамышского 22,11—65,35%. В шлаке больший разброс демонстрируют хромшпинелиды поселений Устье, Родники, Куйсак и Синташта, на которых также представлены слои начала поздней бронзы. Это позволяет допускать возможность эксплуатации Воровской Ямы или химически сходного месторождения, преимущественно, в этот период. По железистости мы наблюдаем сходную ситуацию — низкие значения этого показателя демонстрируют образцы Воровской Ямы, Куйсака, Родников и Устья. Суммарные значения всех этих показателей для собственно синташтинских памятников достаточно близки Ишкининскому (в меньшей степени Ивановскому и Дергамышскому месторождениям), но все таки, не полностью идентичны. Химическая близость хромшпинелидов Ишкининского месторождения хромшпинелидам шлаков хорошо демонстрируется диаграммами распределений хромистости (Cr#) и магнезиальности (Mg#) хромитов шлаков поселений и руд Ишкининского месторождения (рис. 5-42, 5-43), в которых сульфидные и окисленные руды рассмотрены отдельно. Пики частоты встречаемости интервалов Cr# хромшпинелидов руд Ишкининского месторождения и хромитов шлаков полностью совпадают. По параметру Mg# наблюдается широкий диапазон колебаний, однако он находится в

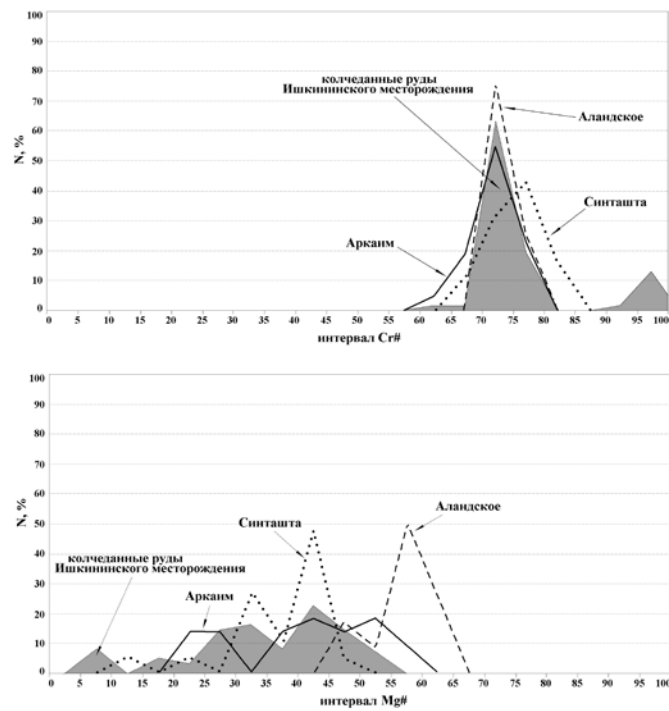


Рис. 5-42. Диаграммы распределений Cr# и Mg# для хромитов Синташты (19 анализов), Аркаима (22 анализа), Аландского (12 анализов) и кошечаных руд Ишкининского месторождения (62 анализа). N — частота встречаемости (по Григорьев и др., 2005)

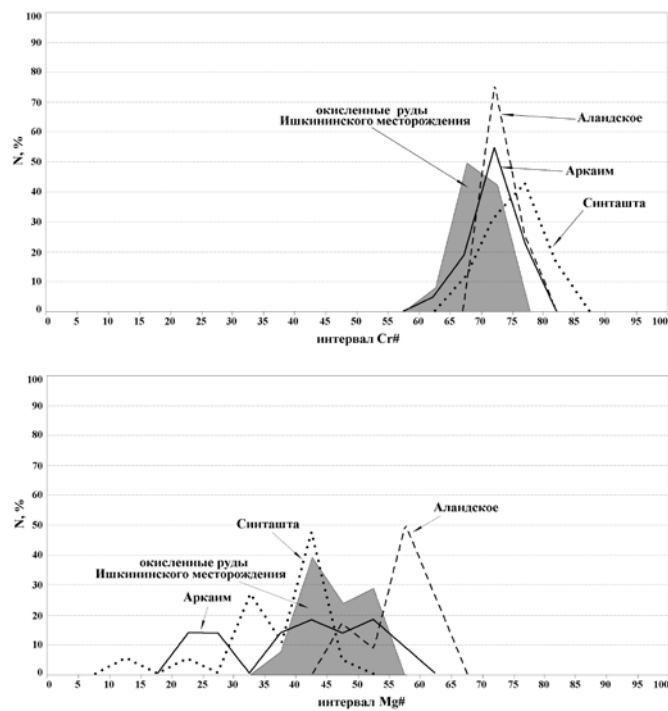


Рис. 5-43. Диаграммы распределений Cr# и Mg# для хромитов Синташты (19 анализов), Аркаима (22 анализа), Аландского (12 анализов) и окисленных руд Ишкининского месторождения (39 анализов). N — частота встречаемости (по Григорьев и др., 2005)

общих пределах, исключая Аландское поселение, для хромитов которого характерны более магнезиальные разности.

Важным показателем является содержание титана. На Ишкининском месторождении оно достаточно стабильно в пределах 0,25—0,35%. На Воровской Яме титан отсутствует. На Ивановском и Дергамышском месторождениях они достигают 0,28% и 0,39% соответственно. В шлаке же разброс содержания титана более значителен, и на всех памятниках начинается с нулевых значений (рис. 5-44). В этот диапазон укладываются вышеперечисленные месторождения, но ни на одном мы не видим такого сильного разброса.

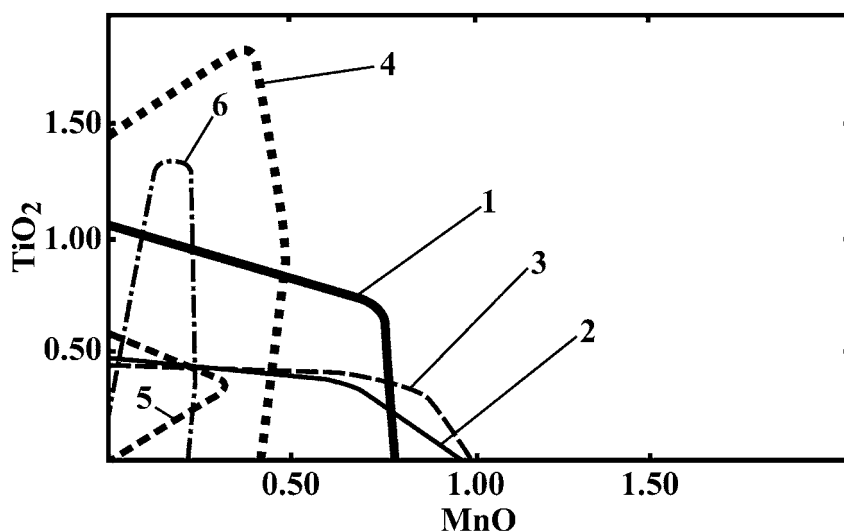


Рис. 5-44. Соотношение MnO и TiO₂ (вес. %) для хромшпинелидов из шлаков поселений. Поля составов хромшпинелидов из шлаков: 1 — Синташты, 2 — Аркаима, 3 — Аландского, 4 — Куйсака, 5 — Родников, 6 — Устья (по Дунаев и др., 2006)

Из этого можно сделать вывод о том, что рудная база поселений не исчерпывалась, обычно, каким-то одним месторождением в ультрабазитах. В особенности это касается таких поселений как Синташта, Куйсак и Устье, где представлены не только синташтинские, но и более поздние слои. Это не означает, конечно, того, что в каждый отдельный период эксплуатировалось более одного месторождения. Мы имеем, все же, суммарную картину.

Как следует из таблиц 5-24 и 5-30, спектральные анализы тоже позволяли полагать, что эксплуатировалось не одно месторождение в ультрабазитах, причем, образцы одного подкластера, связанного с ультрабазитами, могут быть распределены по разным поселениям, но, в то же время, на одном поселении присутствуют образцы, отнесенные к разным подкластерам. При сопоставлении химического состава хромшпинелидов шлака Синташты и Устья с составом хромшпинелидов рудников (рис. 5-45) довольно отчетливо видна разница в конфигурации полей для этих двух поселений. При этом, если для горняков поселения Устье можно допускать эксплуатацию всех сравниваемых рудников, то горняки Синташты явно не эксплуатировали рудник Воровская Яма и Дергамышский. Вместе с тем, поля для хромшпинелидов поселений покидают области полей всех известных на сегодняшний день рудников в ультрабазитах. Из этого можно сделать довольно уверенный вывод о том, что рудная база синташтинского времени этими известными нам месторождениями не исчерпывалась, и в этой зоне существуют какие-то иные, не известные пока рудники, которые должны заполнять эти несовпадающие поля.

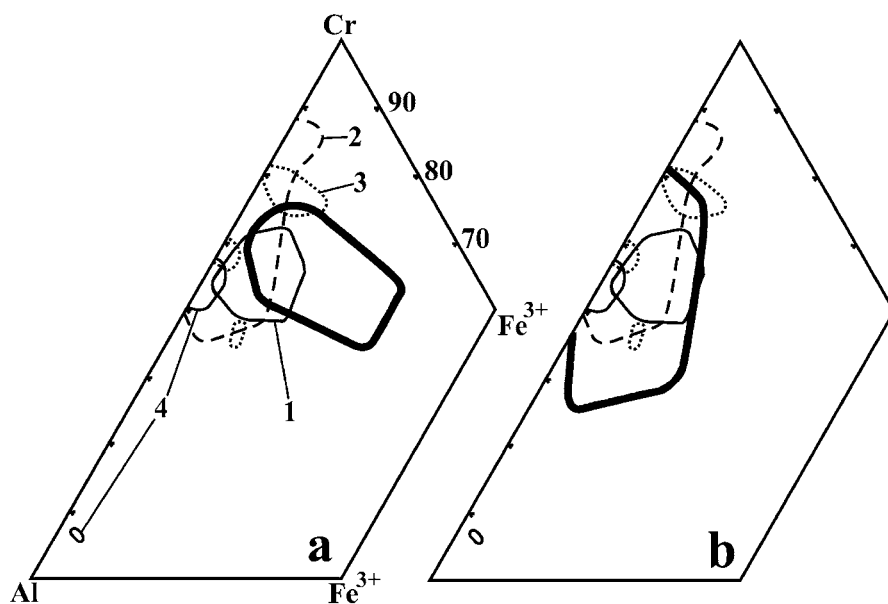


Рис. 5-45. Состав хромшпинелидов (%) из шлаков поселений в координатах Al — Cr — Fe³⁺ (поля жирной линией: а — Синташта, б — Устье). Поля составов хромшпинелидов из: 1 — руд Ишкининского месторождения, 2 — Ивановского, 3 — Дергамышского, 4 — рудника Воровская яма (по Дунаев и др., 2006)

Выводы

Суммируя все сказанное о форме, микровключениях и химическом составе хромшпинелидов, можно сделать следующие выводы. Наиболее приемлемым кандидатом на рассмотрение в качестве основной рудной базы в ультраосновных породах синташтинского времени является рудник Ишкининский. При этом, в более ограниченных масштабах возможна эксплуатация рудников Дергамышский и Ивановский. Вероятна эксплуатация и рудника Воровская Яма, но в большей степени, со времени перехода к эпохе поздней бронзы. Помимо вышеперечисленных рудников, явно эксплуатировались какие-то иные неизвестные рудники этого типа.

Рудники синташтинского времени

Как уже говорилось выше, за последние годы в зоне памятников синташтинской культуры была обнаружена серия меднорудных месторождений в ультраосновных серпентинизированных породах, на которых имеются древние выработки.

Первым подобным рудником стала **Воровская Яма** (Зайков и др., 1995, 2000; 2005a), получившая это название по той причине, что в выработке прятали похищенный скот. Рудник находится на левом берегу реки Зингейка, непосредственно в районе распространения синташтинских городищ. Рудовмещающими породами на месторождении являются серпентиниты, талькиты, эпидозиты, базальты и кремнистые породы. Рудные тела — преимущественно малахит.

Карьер имеет диаметр 30—40 м и глубину 3—5 м. Поскольку он частично заполнен поздними наносами, реальная его глубина — 6—7 м. Вокруг карьера располагаются отвалы шириной 5—15 м и высотой 0,8—1,5 м.

При исследовании рудника выяснилось, что он эксплуатировался три периода, так как отвалы разделены слоями погребенной почвы, успевшей сформироваться в периоды, когда рудник не эксплуатировался.

У восточного завершения северного отвала обнаружен культурный слой из двух горизонтов, перекрытых отвалом, содержащий золу, кости животных и алакульско-срубную посуду. В подъемных сборах выявлена керамика синташтинско-петровского

облика. Соответственно, наиболее вероятной датой эксплуатации рудника является переход от периода средней бронзы к периоду поздней бронзы, что соответствует выводам, сделанным на базе анализа хромшпинелидов.

Дергамышское месторождение (Зайков и др., 2001, 2005а) расположено на левобережье р. Ташла близ поселка Акъяр (Башкортостан). Рудоносная зона мощностью от 6,5 до 40 м расположена на контакте серпентинитовой и пироксенитовой пластин. На месторождении обнаружен древний карьер размером до 70—80 м и глубиной 10—12 м, окруженный отвалом высотой до 3 м. Отвалы фиксируются и на дне карьера. Медная минерализация (малахит и хризоколла) проявлена в северном и восточном бортах в щебне серпентинитов. Судя по наличию карьера и анализу хромшпинелидов, рудник мог вполне использоваться в синташтинское время, хотя археологические находки, подтверждающие это, не выявлены.

Ивановское месторождение располагается в 10 км севернее, на реке Дергамыш. Оно приурочено к контакту пластин серпентинитов и базальтоидов. Руды халькопирит-пирротинового состава есть сплошные и прожилково-вкрапленные. Древний рудник на месторождении представлен траншеей длиной 50 м и глубиной 1—2 м. Соответственно, объемы работ были не слишком велики. Датировочный материал при исследовании рудника получен не был.

Наиболее крупные древние разработки выявлены на **Ишкининском месторождении** (Зайков и др., 2001, 2005а; Юминов, Зайков, 2002, 2002а). Оно находится в 20 км западнее г. Гай (Оренбургская область) в гористой местности на левобережье р. Сухая Губерля. Месторождение связано с серпентинитами, карбонатными и тальк-карбонатными апосерпентинитовыми метасоматитами. На нем представлены пирит-пирротиновые, халькопирит-пирит-пирротиновые и сульфоарсенидно-сульфидные руды.

На нескольких участках месторождения обнаружено восемь древних карьеров. Самый крупный из них имеет длину 120 м, ширину до 40 м и глубину 5—15 м. Один из отвалов карьера был исследован траншеей, в которой из археологических находок обнаружены только кости животных. В отвале зафиксировано три горизонта, разделенные погребенными почвами, что указывает на прерывание разработок на какое-то длительное время. В отвалах выявлены слои золы, что указывает на использование огня для прокаливания горной породы.

В нижнем горизонте отвалов выявлен рудный склад, проливающий свет на организацию работ на руднике. Он представляет собой линзу, сложенную из кусков окисленной руды от 1 до 15 см, мощностью 0,6 м и длиной более 4 м (полностью по всей длине в разрезе линза не прослежена). Анализ руды показал, что в ней содержится достаточно много железа (то есть, при плавке руды легче было получить расплав основного состава) и значительные примеси мышьяка (таб. 5-46). В принципе, присутствие мышьяка характерно для этого месторождения, и при плавке руды подобного состава вполне можно было получать мышьяковые бронзы, характерные для синташтинской металлургии, но этот вопрос мы будем более детально рассматривать ниже. Имеются и повышенные концентрации никеля, характерные для синташтинских шлаков, выплавленных из руд этого типа.

Этот склад был перекрыт пустой породой, что указывает на стремление спрятать руду, а выше образовался слой погребенной почвы. Складирование руды говорит о том, что руда добывалась в определенный сезон и складировалась. Ее вывоз производился, по-видимому, по завершении этих сезонных работ, возможно в то же время, когда горняки возвращались на свои поселения. Следует отметить и то, что эта руда не была вывезена по причине каких-то кризисных событий, прервавших работу на руднике, и люди, знавшие об этом складе, не смогли к нему вернуться.

Аналогичный склад (№ 2) был обнаружен и выше, в среднем горизонте отвалов, что указывает на повторение ситуации. Таким образом, на Ишкининском руднике мы наблюда-

Результаты анализа руд Ишкининского рудника, добываемых в древности
(Зайков и др., 2005а)

Тип руд	Содержание, %									
	Пробирный анализ					Рентгено-флюоресцентный анализ				
	Cu	Zn	S	Au	Ag	Fe	As	Cr	Pb	Ni
Азурмалахит (склад № 1)	7,95	0,03	0,06	—	—	14,17	1,01	1,95	—	0,06
«Медная зелень» (склад № 2)	2,57	0,05	0,09	—	—	16,77	0,58	1,20	0,21	0,20
Бурый железняк	0,46	0,07	0,06	—	—	57,59	0,60	2,30	0,21	0,18

ем ту же ситуацию трех фаз его эксплуатации и двукратного прекращения работ, что и на руднике Воровская Яма. Вероятно, это было связано с какими-то кризисными явлениями, охватившими достаточно широкий ареал синташтинской культуры. Поскольку выплавка этого типа руд имела место в этой зоне только в синташтинскую эпоху и в самом начале поздней бронзы, то последний кризис был явно обусловлен продвижением племен с востока и формированием здесь, петровской, раннеалакульской и раннесрубной культур. Но было и какое-то предшествующее событие аналогичного характера, что пока не улавливается археологически. Поэтому не исключено, что имел место какой-то внутренний конфликт внутри синташтинских племен или эпидемия катастрофического характера.

С учетом выявленного сходства хромшпинелидов руд Ишкининского месторождения с хромшпинелидами значительной массы синташтинских шлаков, а также с учетом значительного объема работ, проведенных на этом руднике, следует признать, что он являлся ведущим рудником в синташтинское время.

Еще одним рудником, возможно, использовавшимся в синташтинское время, является известный **Еленовский рудник**, в районе которого производились археологические работы Е. Е. Кузьминой (1962). В районе рудника ею были обнаружены следы металлургического производства и керамика алакульского времени. Поэтому рудник эксплуатировался, преимущественно, в этот период, однако последнее время появились основания предполагать, что начало его эксплуатации было положено еще синташтинцами. Это месторождение отличается от вышеописанных месторождений в серпентинизированных ультраосновных породах. Руда в нем приурочена к кварц-хлорит-турмалиновыми породам и базальтам. Рудное тело имеет большое протяжение до 130 м и 120 м в глубину, хорошо развита зона окисления, и наиболее богатая минерализация приурочена, как обычно, к зоне вторичного сульфидного обогащения (Бушмакин, Зайков, 1998; Зайков и др., 2005а).

Поскольку турмалиносодержащие руды, аналогичные еленовским, были выявлены на поселении Аркаим, а в шлаках этого поселения установлены примеси бора, содержащегося в турмалине, предположение об использовании этого рудника металлургами данного поселения представляется вполне обоснованным, тем более, что это достаточно редкий тип месторождений (Бушмакин, Зайков, 1998). Поскольку бор выявлен в значительном количестве шлаков этого поселения, очень вероятно, что очень большая доля шлака II минералогической группы, связанной с кварцевыми породами, была получена при плавке руды именно этого месторождения. К сожалению, мы не можем утверждать того же применительно к шлакам иных поселений, так как огромное количество произведенных анализов было не способно улавливать этот элемент. Мы можем лишь допускать подобную мысль, как и возможность эксплуатации иных месторождений в кварцевых породах, довольно распространенных на Урале.

Вблизи же поселений рудники не выявлены. Недавно были предприняты попытки поиска таковых, ориентируясь на небольшие углубления и отвалы в районе поселения Ольгино и на известные рудопроявления к северу от поселения Степное. Но в первом случае отсутствовала медная минерализация, а во втором следы разработок (Hanks, Doonan, 2009, p. 344, 350).

Выводы

Все вышеперечисленные месторождения (Ивановское, Дергамышское, Ишкининское, Воровская Яма, Еленовское) имеют значительные древние карьеры, и их руды соответствуют руде и шлаку, обнаруженным на синташтинских поселениях. Проведенный анализ показал, что все они эксплуатировались в этот период, хотя наверняка эксплуатировались и какие-то иные месторождения, как в ультраосновных, так и в кварцевых породах. Но эти месторождения, скорее всего, играли вспомогательную роль. Ведущим рудником в этот период был Ишкининский.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что, за исключением Воровской Ямы, все эти рудники располагаются на удалении от ареала распространения синташтинских городищ, хотя в этих районах известны синташтинские могильники. Это наводит на мысль о каком-то особом, сезонном способе эксплуатации этих территорий, что подтверждается и присутствием на Ишкининском руднике рудных складов.

На двух достаточно удаленных рудниках зафиксировано три фазы эксплуатации, разделенные продолжительными периодами, когда работы не производились. Не исключено, что это было связано с какими-то кризисными процессами — один — при переходе к эпохе поздней бронзы и один — в более раннее время. Однако, можно допускать возможность того, что прерывание работ, зафиксированное разрезами, означает лишь временное прекращение добычи в данном конкретном месте, и перенос ее на соседние участки того же рудника. А наличие на двух рудниках одинакового количества фаз добычи и прекращения работ объясняется случайностью. Это менее вероятный вариант, но допускать мы его, все же, должны, до тех пор, пока не будет произведено радиоуглеродное датирование погребенных почв и не будет показано, что периоды прекращения работ на обоих рудниках совпадают.

Проблема получения мышьяковых бронз

Повсеместно наиболее ранним типом бронз являются мышьяковые (Muhly, 1976, p. 90). Для Северной Евразии этот тезис тоже справедлив. В синташтинско-абашевское время значительная доля металла здесь содержит примеси мышьяка. Этот металл объединен Е. Н. Черных в группу ТК (Черных, 1970, с. 15). В целом, металл исследуемого хронологического горизонта разделен на две химико-металлургических группы — ТК и МП. Предполагалось, что первая была получена при плавке руды месторождения Таш-Казган, а вторая — медистых песчаников Приуралья. При этом количество предметов, относимых к той и другой, примерно одинаково (Черных, 1970, с. 28). Однако из меди МП производились преимущественно украшения, а из меди ТК — орудия и оружие, и в весовом соотношении будет наблюдаться иная картина.

Поскольку, как показывает наше исследование шлака и руды этого времени, связаны они с совершенно иными месторождениями, встает вопрос о природе группы ТК. Мне уже приходилось писать о том, что она не связана с месторождением Таш-Казган (Григорьев, 1994, 2000, с. 500—510). Это заключение базировалось, в частности, на том, что основная доля руды, использовавшейся в этой время, происходила из рудников в ультраосновных породах, а месторождение Таш-Казган к этому типу не относится. Однако вышеприведенный вывод о том, что рудник Ишкининский был одним из ведущих рудник источников, а также присутствие на этом руднике повышенных концентраций мышьяка в руде или в виде мышьяковых минералов вновь актуализирует эту проблему и заставляет к ней вернуться.

Основанием для дальнейших рассуждений является вывод Е. Н. Черных о том, что содержание мышьяка при металлургических переделах увеличивается на один порядок в металле и, соответственно, уменьшается в шлаке (Черных, 1970, с. 11). Более ранние анализы шлаков современного металлургического производства дали

сходный результат: 65,2% мышьяка остается в меди, 16,8% в шлаке, 18% возгоняется (Tafel, 1951, p. 405). Очень интересные исследования поведения мышьяка при плавке руды были осуществлены Р. Ф. Тайликотом. В результате экспериментальной плавки окисленной руды содержание мышьяка и никеля в меди возросло. При плавке сульфидов содержание всех примесей уменьшается. Даже мышьяк почти весь ушел из металла. В этом причина чистоты металла периода ПБВ в Западной Европе. При большей загрязненности сульфидных руд, чистота металла объясняется более высокими температурами и последующим рафинированием в тигле (Tylecote, 1980, с. 7). Важные наблюдения сделала и другая группа английских исследователей. Экспериментальным путем было выяснено, что при температуре до 950 °С содержание мышьяка в меди по сравнению с рудой сильно не меняется. Далее оно начинает резко расти. При температуре, близкой 1300 °С, почти весь мышьяк переходит в металл (Pollard, et al., 1990, p. 130—132).

Наши эксперименты тоже показали неизменное снижение содержания мышьяка в шлаке. Правда, обсуждаемое во введении сопоставление всех имеющихся анализов руды с анализами шлака позволяет предполагать, что коэффициент этого перехода не 10, как предполагал Е. Н. Черных, а 1,31, что ближе к цифрам Тафеля, приведенным выше. Но не исключено, что это именно тот случай, когда статистические исследования не столь адекватно отражают картину, как частные. Все же, несмотря на несовершенное аналитическое оборудование, Е. Н. Черных анализировал руду, металл и шлак из тех же самых кусков шлака. Но независимо от того, какие цифры ближе к истине (они будут варьировать в зависимости от параметров плавки) можно с уверенностью констатировать, что в случае плавки окисленной руды в шлаке содержание мышьяка значительно снижается, а в металле повышается.

В соответствии с вышеизложенным, в руде приблизительной границей содержания мышьяка, необходимого для получения естественной мышьяковистой бронзы, будет 0,1% (если опираться на оценки Е. Н. Черных). Из исследованных рудных образцов этому соответствуют лишь образцы Таш-Казгана и два образца лимонитовой руды Аркаима. Все прочие руды содержат мышьяк в количестве меньшем этого предела. При допущении иных коэффициентов этого перехода (например, 1,31, как это предполагается во введении для окисленных руд) только один образец руды Таш-Казгана окажется способен дать мышьяковые бронзы.

Для шлака же эта граница мышьяковых бронз будет находиться в районе 0,01% (при опоре на ту же оценку Е. Н. Черных). Однако здесь выявилась уже обратная зависимость. Низкое содержание мышьяка демонстрирует значительно меньшее количество образцов. Основную же массу можно соотносить с мышьяковистыми бронзами.

Для достижения же концентрации мышьяка в меди свыше 0,3%, что также присуще группе ТК, достаточно присутствие в шлаке 0,003% этого элемента. В этом случае в данную группу попадут почти все исследованные образцы. Вместе с тем вряд ли стоит предполагать, что все месторождения, эксплуатировавшиеся в это время, обладали тем же химизмом, что и Таш-Казган. На низкие концентрации мышьяка в руде указывает и спектральный анализ руды поселений.

При сравнении частотных диаграмм в шлаке и руде с поселения Устье хорошо видно, что пирамида анализов шлака смещена на полпорядка вправо по сравнению с рудой (рис. 5-47). Та же картина будет наблюдаться, если мы начнем сравнивать весь массив материала. По диаграмме руды можно заметить, что за исключением образцов Таш-Казгана и лимонитовых образцов Аркаима почти все образцы лежат в пределе 0—0,03%, что при переплавке не может дать металл, в котором концентрации мышьяка будут превышать 0,3%.

Эта ситуация с рудой противоречит металлу синташтинских памятников. Исследователи уже выделяли группу мышьяковых бронз, но подавляющая часть металла,

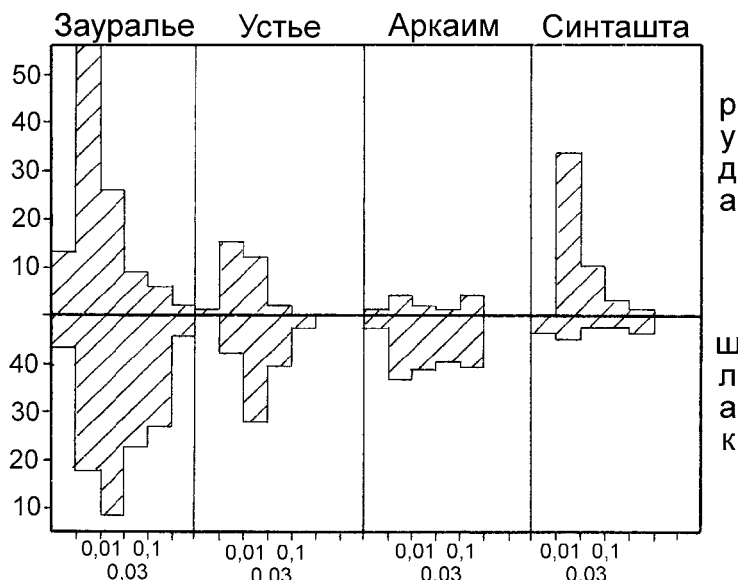


Рис. 5-47. Диаграмма распределения примесей мышьяка (%) в руде и шлаке синташтинских поселений Зауралья

не отнесенного к этой группе, содержит, все же, повышенные концентрации мышьяка (Зайкова, 1995). Мы провели рентгенфлуоресцентные анализы металлических изделий синташтинско-абашевского времени в Горной Академии Фрайберга (таб. 5-48). Обработка результатов этих анализов (рис. 5-49) позволила выделить группы низко-, средне- и высокомышьякового металла с соответствующими диапазонами содержания мышьяка 0-0,3%, 0,3-1% и более 1%. В первые две группы попало по 28,41% образцов, а в третью — 43,18%. Соответственно, 71,59% проанализированных изделий соответствуют химико-металлургической группе ТК, что вполне укладывается в известные ранее параметры синташтинской металлургии. По данным А. Д. Дегтяревой в легированную мышьяком группу попадает около 80% металла, но она в качестве нижнего порога этой группы принимает 0,1% (Дегтярева, 2010, с. 83)¹.

При рассмотрении анализов металла отдельных памятников картина несколько иная, но не принципиально (данные любезно предоставлены С. А. Агаповым и С. В. Кузьминых). На поселении Синташта предметы из мышьяковых бронз составляют 53,9%, а на могильнике достигают 67,3%. Сходную картину выявили и другие исследования, при этом необходимо учитывать, что на поселении присутствует культурный слой позднего бронзового века, а для этого времени мышьяковые бронзы уже не свойственны. На поселении Устье мышьяковых бронз значительно меньше — 17%, что объясняется, по-видимому, наличием слоя поздней бронзы на этом поселении.

Но в любом случае металл синташтинских городищ резко контрастирует с рудой тех же городищ. Из нее этот металл не может быть получен. При этом, как уже говорилось, руда Таш-Казгана не соответствует минералогически рудам, использовавшимся на этих городищах. Остается допускать широкое использование ишкининской руды, тоже содержащей мышьяк? Оно, безусловно, имело место. Но вопрос: достаточно ли его было для получения мышьяковых бронз? Выше приводились три анализа этой руды (таб. 5-46), которые показали, что содержание мышьяка в руде, отобранной для плавок, колеблется в диапазоне 0,6—1%, что позволяло получать этот металл. Но это единичные

¹ Возможно, это правомерно, но определение точных границ для мышьяка является действительно сложной задачей на фоне того способа легирования, который применялся в синташтинской металлургии, частичной возгонки мышьяка при металлообработке, сплава разного по составу металлического лома и т. д. Поэтому конкретные цифры легированного металла могут варьировать, в зависимости от оценки того или иного исследователя, но это никак не влияет на общую картину производства.

Рентгенофлуоресцентные анализы металла (%) синтагинско-абашевского времени
(Институт археометаллургии Горной Академии Фрайберга).

Lab.-Nr.	Памятник	Тип	FE	CO	NI	CU	ZN	AS	SE	AU	PB	BI	AG	SN	SB	TE
FG-001808	Большекараганский	тесло	0,25	< 0,005	0,34	95,7	< 0,01	3,4	0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,013	< 0,005	0,33	< 0,008
FG-001809	Большекараганский	тесло	0,29	< 0,005	0,3	96,5	< 0,01	2,81	0,038	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,023	< 0,005	0,01	< 0,008
FG-001810	Большекараганский	тесло	0,14	< 0,005	0,4	94,5	< 0,01	4,9	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,025	< 0,005	0,02	< 0,008
FG-001857	Большекараганский	тесло	0,12	0,016	0,39	95,2	< 0,1	4,1	0,018	0,02	< 0,01	< 0,005	0,047	< 0,005	0,022	< 0,008
FG-001858	Большекараганский	тесло	0,24	0,041	0,228	97,2	< 0,01	2,17	0,034	0,01	< 0,01	< 0,005	0,021	0,006	0,012	< 0,008
FG-001882	Каменный Амбар	тесло	0,32	0,037	0,34	96,3	< 0,01	2,27	0,01	0,01	< 0,01	< 0,005	0,065	0,015	0,011	< 0,008
FG-001883	Каменный Амбар	тесло	0,08	0,012	0,221	96,9	< 0,01	2,65	0,005	< 0,01	0,02	< 0,005	0,04	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001884	Каменный Амбар	тесло	0,59	0,014	0,03	98,9	< 0,01	0,34	0,063	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,008	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001886	Каменный Амбар	тесло	0,16	0,007	0,1	98,5	< 0,01	1,14	0,007	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,008
FG-001892	Каменный Амбар	тесло	0,16	0,005	0,104	99,1	< 0,1	0,43	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,029	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001832	Архаим	шило	0,05	< 0,005	0,14	93,8	< 0,01	3,6	0,012	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,009	3,7	< 0,005	< 0,008
FG-001864	Архаим	шило	0,09	< 0,005	< 0,010	93,7	< 0,1	0,099	0,017	0,03	0,11	< 0,005	0,027	10,1	0,032	< 0,008
FG-001845	Большекараганский	шило	0,22	0,007	0,168	96,9	< 0,1	2,26	0,013	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,071	< 0,005	0,32	0,016
FG-001846	Большекараганский	шило	0,08	0,018	0,35	98,6	< 0,1	0,66	0,015	0,02	< 0,01	< 0,005	0,104	< 0,005	0,048	< 0,008
FG-001856	Большекараганский	шило	0,25	0,029	0,281	96,5	< 0,1	2,67	0,011	0,01	< 0,01	< 0,005	0,021	< 0,005	0,148	< 0,008
FG-001889	Каменный Амбар	шило	0,28	< 0,005	0,232	97,4	< 0,1	2,01	0,036	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	0,01	< 0,005	< 0,008
FG-001834	Синташта	шило	1,9	< 0,005	< 0,010	97,5	< 0,01	0,063	< 0,005	< 0,01	0,36	< 0,005	< 0,005	0,054	0,024	< 0,008
FG-001836	Синташта	шило	0,66	< 0,005	< 0,010	98,9	< 0,01	0,164	< 0,005	< 0,01	0,14	< 0,005	< 0,005	0,019	0,012	0,009
FG-001852	Синташта	шило	3,1	0,44	0,83	94,7	< 0,01	0,85	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,008	< 0,005	0,02	< 0,008
FG-001854	Синташта	шило	1,37	0,187	0,45	91,9	< 0,01	6	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,037	< 0,008
FG-001829	Большекараганский	браслет	4,3	< 0,005	0,054	40,7	< 0,01	1,11	0,089	< 0,01	0,65	0,128	0,265	51	1,2	0,022
FG-001853	Синташта	браслет	0,42	0,044	0,145	98,6	< 0,01	0,67	< 0,005	< 0,01	0,01	< 0,005	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001804	Большекараганский	стамеска	0,28	0,005	0,064	98,8	< 0,01	0,74	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,032	< 0,005	0,011	< 0,008
FG-001838	Большекараганский	стамеска	0,19	0,005	0,23	95,9	< 0,1	2,9	0,01	0,02	0,02	< 0,005	0,012	0,013	1,04	< 0,008
FG-001841	Большекараганский	стамеска	0,23	0,013	0,023	99,3	< 0,01	0,214	0,045	0,01	< 0,01	< 0,005	0,043	0,006	< 0,005	< 0,008
FG-001843	Большекараганский	стамеска	0,47	0,015	0,077	98,7	< 0,01	0,51	0,023	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,072	0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001890	Каменный Амбар	стамеска	0,19	0,011	0,49	95,6	< 0,01	3,6	0,039	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001912	Тюбак	стамеска	< 0,05	< 0,005	0,022	99,8	< 0,01	0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,068	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001842	Большекараганский	скрепка	0,67	< 0,005	< 0,010	98,7	< 0,01	0,42	0,029	0,01	0,02	< 0,005	0,046	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001872	Каменный Амбар	скрепка	0,76	0,072	0,213	98,3	< 0,01	0,114	0,128	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,292	< 0,005	0,009	< 0,008
FG-001877	Каменный Амбар	скрепка	1,75	0,24	0,47	97,3	< 0,01	0,082	0,026	0,03	< 0,01	< 0,005	< 0,005	0,008	< 0,005	< 0,008
FG-001835	Синташта	скрепка	1,58	0,005	0,017	97,6	< 0,01	0,72	< 0,005	< 0,01	0,02	< 0,005	< 0,005	0,007	< 0,005	< 0,008
FG-001831	Архаим	пробойник	0,19	< 0,005	0,052	99	< 0,01	0,59	0,031	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,014	< 0,005	< 0,005	0,008
FG-001896	Бирск	пробойник	0,12	< 0,005	0,014	98,9	< 0,01	0,82	0,008	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,047	< 0,005	0,005	< 0,008
FG-001840	Большекараганский	пробойник	0,33	< 0,005	1,13	97,4	< 0,1	1,01	0,034	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,006	< 0,005	0,012	< 0,008
FG-001855	Большекараганский	пробойник	0,56	0,056	0,222	96,9	< 0,01	2,2	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,019	< 0,005	0,016	< 0,008
FG-001876	Каменный Амбар	пробойник	0,46	0,05	0,153	98,6	< 0,01	0,56	0,025	< 0,01	< 0,01	0,007	0,037	< 0,005	0,009	< 0,008
FG-001837	Синташта	пробойник	0,32	0,016	0,118	94,5	< 0,01	4,9	0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,023	0,021	0,019	< 0,008
FG-001851	Синташта	пробойник	< 0,05	0,017	0,054	97,9	< 0,01	0,108	< 0,005	< 0,01	0,7	< 0,005	0,024	0,52	0,058	< 0,008
FG-001904	Тюбак	пробойник	0,43	< 0,005	0,082	91,7	< 0,01	0,081	< 0,005	< 0,01	0,29	< 0,005	0,054	6,6	0,192	< 0,008
FG-001908	Тюбак	пробойник	0,11	< 0,005	0,054	99,7	< 0,01	0,011	0,005	< 0,01	0,04	< 0,005	0,009	< 0,005	0,006	< 0,008
FG-001913	Юмаково I	пробойник	0,06	< 0,005	< 0,010	99,6	< 0,01	0,148	0,013	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,05	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001828	Большекараганский	обкладка сосуда	0,19	< 0,005	0,063	98,5	< 0,01	0,81	0,007	< 0,01	0,17	< 0,005	0,14	< 0,005	0,043	< 0,008

Окончание Таб. 5-48

Lab.-Nr.	Памятник	Тип	FE	CO	NI	CU	ZN	AS	SE	AU	PB	BI	AG	SN	SB	TE
FG-001862	Аркаим	рыболовный крюк	0,22	0,034	0,143	98,7	< 0,1	0,202	0,01	< 0,01	0,31	0,007	0,025	< 0,005	0,018	< 0,008
FG-001806	Большекараганский	гарпун	0,13	0,007	0,112	97,7	< 0,1	1,94	0,019	< 0,01	< 0,01	0,005	0,036	< 0,005	0,005	< 0,008
FG-001893	Шибаво	крюк	0,42	< 0,005	0,028	98,9	< 0,1	0,32	0,041	0,01	0,01	< 0,005	0,041	0,01	0,079	< 0,008
FG-001909	Тюбак	крюк	0,1	0,006	< 0,010	99,6	< 0,01	0,005	< 0,005	0,02	0,06	0,005	0,01	0,033	0,006	< 0,008
FG-001894	Бирск	слиток	0,07	< 0,005	< 0,010	99,6	< 0,01	0,193	0,007	< 0,01	< 0,01	0,012	0,025	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001830	Большекараганский	слиток	2,11	0,013	< 0,010	97,6	< 0,01	0,005	0,235	< 0,01	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001839	Большекараганский	слиток	0,16	0,012	1,16	98,1	< 0,1	0,36	0,063	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,011	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001879	Каменный Амбар	слиток	0,94	0,103	0,118	98,6	< 0,01	0,016	0,056	0,01	< 0,01	0,012	0,097	0,014	< 0,005	< 0,008
FG-001868	Солнце	слиток	0,71	0,084	0,175	98,6	< 0,01	0,296	< 0,005	0,01	< 0,01	< 0,005	0,068	< 0,005	0,018	< 0,008
FG-001871	Солнце	слиток	3,7	0,58	0,88	94,3	< 0,01	0,39	0,019	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,107	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001895	Бирск	нож	< 0,05	< 0,005	0,042	96,8	< 0,1	0,14	< 0,005	0,01	0,04	0,008	0,024	3,1	0,124	< 0,008
FG-001897	Бирск	нож	0,11	< 0,005	< 0,010	97,2	< 0,1	2,49	0,012	0,02	< 0,01	< 0,005	0,037	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001898	Бирск	нож	< 0,05	< 0,005	< 0,010	99,8	< 0,1	0,015	0,013	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,054	0,009	< 0,005	< 0,008
FG-001807	Большекараганский	нож	0,26	0,005	0,286	96	< 0,1	3,2	0,009	0,02	< 0,01	< 0,005	0,017	< 0,005	0,037	< 0,008
FG-001811	Большекараганский	нож	0,15	< 0,005	0,204	94,1	< 0,1	5,4	0,013	0,02	< 0,01	< 0,005	0,02	< 0,005	0,028	0,008
FG-001812	Большекараганский	нож	0,12	< 0,005	0,223	97,1	< 0,01	2,12	< 0,005	< 0,01	0,01	< 0,005	0,047	0,012	0,34	< 0,008
FG-001813	Большекараганский	нож	0,27	< 0,005	0,3	97,4	< 0,1	1,83	0,016	0,03	< 0,01	< 0,005	0,029	< 0,005	0,023	< 0,008
FG-001814	Большекараганский	нож	0,13	< 0,005	0,046	99,1	< 0,01	0,46	0,067	< 0,01	0,02	< 0,005	0,059	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001844	Большекараганский	нож	3,8	0,036	0,02	94,7	< 0,01	1,1	0,039	0,03	0,02	< 0,005	0,096	0,039	< 0,005	0,031
FG-001848	Большекараганский	нож	0,12	0,028	0,192	96,8	< 0,1	2,65	0,018	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,028	< 0,005	0,102	< 0,008
FG-001849	Большекараганский	нож	0,26	0,03	0,204	97,8	< 0,1	1,56	0,042	0,01	< 0,01	< 0,005	0,021	< 0,005	0,011	< 0,008
FG-001850	Большекараганский	нож	0,3	0,043	0,277	97,4	< 0,01	1,87	0,007	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,022	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001859	Большекараганский	нож	< 0,05	0,006	0,033	99,7	< 0,1	0,096	0,029	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001860	Большекараганский	нож	0,39	0,056	0,199	98,8	< 0,01	0,46	0,039	0,01	< 0,01	< 0,005	0,007	< 0,005	0,009	< 0,008
FG-001861	Большекараганский	нож	0,23	0,04	0,42	96,5	< 0,1	2,6	0,018	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,023	0,103	0,016	0,008
FG-001863	Большекараганский	нож	0,29	0,028	0,25	97,8	< 0,1	1,31	0,011	0,1	< 0,01	< 0,005	0,021	< 0,005	0,018	0,011
FG-001881	Каменный Амбар	нож	0,12	0,008	0,274	96,7	< 0,1	2,12	< 0,005	< 0,01	0,02	< 0,005	0,65	< 0,005	< 0,005	0,015
FG-001885	Каменный Амбар	нож	0,15	< 0,005	0,07	99,1	< 0,01	0,52	0,035	< 0,01	< 0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001887	Каменный Амбар	нож	1,25	0,011	0,276	94,8	< 0,1	3,5	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,011	< 0,005	0,005	< 0,008
FG-001888	Каменный Амбар	нож	0,44	0,015	0,6	97,7	< 0,01	1,08	0,037	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,016	< 0,005	0,013	< 0,008
FG-001891	Каменный Амбар	нож	0,23	< 0,005	0,278	96,7	< 0,1	2,55	0,033	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,014	0,038	< 0,005	< 0,008
FG-001902	Набережный	нож	0,26	< 0,005	< 0,010	99,1	< 0,01	0,49	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,072	0,005	0,005	< 0,008
FG-001833	Сингапта	нож	0,08	< 0,005	< 0,010	99,8	< 0,01	0,01	0,014	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,031	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001911	Тюбак	стержень	0,08	< 0,005	< 0,010	99,8	< 0,01	0,009	0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,082	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001901	Бирск	серп	0,08	0,006	< 0,010	99,8	< 0,01	0,005	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,039	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001880	Каменный Амбар	серп	0,19	0,023	0,151	98,8	< 0,1	0,67	0,023	< 0,01	0,02	< 0,005	0,011	0,005	0,009	< 0,008
FG-001899	Набережный	серп	0,26	< 0,005	< 0,010	98,4	< 0,01	1,2	0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,081	0,006	0,006	< 0,008
FG-001900	Набережный	серп	0,25	0,005	0,021	98,8	< 0,01	0,74	< 0,005	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,085	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001910	Тюбак	серп	1,18	0,017	< 0,010	95,3	< 0,01	3,2	0,008	< 0,01	0,01	< 0,005	0,112	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001906	Юмаково I	серп	0,13	< 0,005	0,015	99,2	< 0,01	0,53	0,007	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,086	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001907	Юмаково III	серп	0,5	0,006	0,022	98,6	< 0,01	0,7	0,009	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,074	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001903	Юмаково IV	серп	0,33	< 0,005	< 0,010	99,2	< 0,01	0,33	0,006	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,072	0,008	< 0,005	< 0,008
FG-001905	Юмаково IV	серп	0,13	0,006	< 0,010	99,4	< 0,01	0,15	0,007	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,225	< 0,005	< 0,005	< 0,008
FG-001805	Большекараганский	наконечник копья	0,15	0,009	0,197	96,7	< 0,01	2,85	0,012	< 0,01	< 0,01	< 0,005	0,017	< 0,005	0,018	< 0,008
FG-001867	Каменный Амбар	клин	0,23	< 0,005	0,047	99,3	< 0,1	0,046	0,143	0,07	< 0,01	0,005	< 0,005	< 0,005	0,031	< 0,008

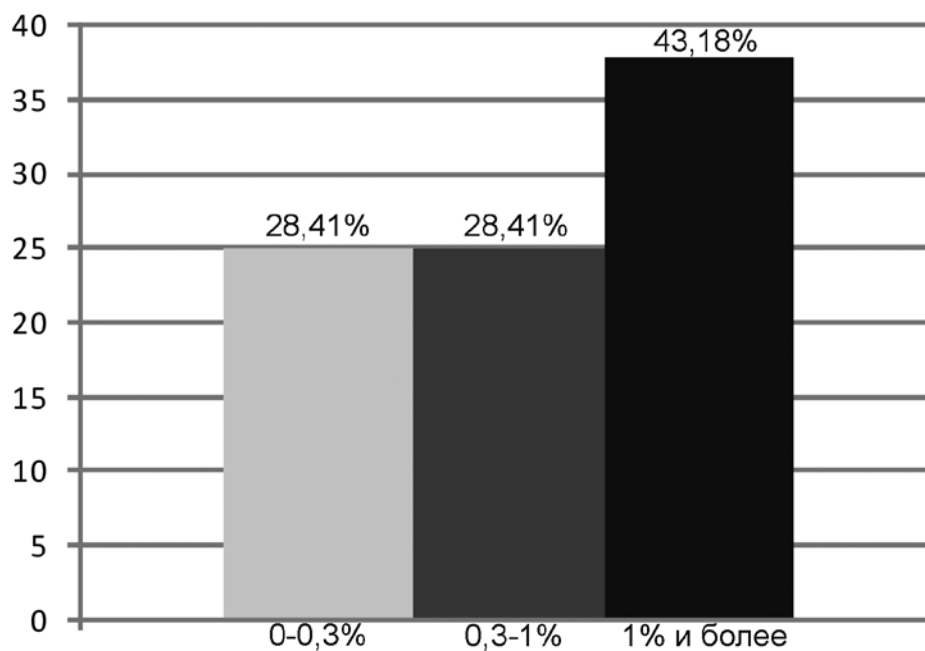


Рис. 5-49. Распределение низко-, средне- и высокомышьякового металла синташтинско-абашевского времени (по результатам рентгенфлюоресцентных анализов)

анализы, к тому же, рентгенфлюоресцентные, дающие слабое представление о действительном составе такой негетерогенной системы как руда. А если исходить из сделанных выше заключений из анализов хромшпинелидов, руда ишкининского рудника хорошо представлена на синташтинских поселениях. И мы возвращаемся к факту тотального отсутствия мышьяка в руде поселений.

Если мы допустим, что высокомышьяковые руды Таш-Казгана или Ишкинино высоко ценились и не были оставлены в слое поселения, они добавлялись к иным рудам в качестве легирующего компонента, то это допущение тоже не будет правомерным. Подобные смеси резко снизили бы концентрации мышьяка в бронзах, поэтому требовалось бы доминирование в шихте именно мышьяковых руд, и они попали бы в проведенную нами достаточно большую серию анализов. Единичные образцы руды действительно демонстрируют повышенное содержание мышьяка, и один из путей получения этих бронз действительно мог быть таков, но доля этого способа была ничтожной.

Можно также предполагать, что руда из месторождений с высоким содержанием мышьяка (Таш-Казган, Ишкинино, какие-то иные) плавилась где-то на других поселениях, возможно, в районе этих рудников, откуда потом металл распространялся во всем синташтинско-абашевском ареале. На исследованных же поселениях плавка осуществлялась для домашних нужд, и в очень ограниченном объеме.

Подобный подход отчасти справедлив, но только отчасти. На приуральских поселениях Баланбаш и Малокизильское были обнаружены шлаки и руда, соотносимые с ташказганским месторождением (Черных, 1970, с. 171). Однако возможности для уверенной связи руды с определенным месторождением у спектрального анализа более чем ограничены. Образцы шлака с поселения Малокизильское, исследованные мной, по структуре идентичны образцам с Таш-Казгана, но это тоже не говорит о том, что в плавку поступала руда именно этого месторождения, поскольку подобная микроструктура могла быть получена при плавке руды любого месторождения в кварцевой породе. На поселении Урняк лишь один из 7 проанализированных образцов руды дал повышенное содержание мышьяка. В прочих мышьяк отсутствует. В то же время шлак этого поселения неизменно показывает

повышенное содержание данного элемента (Черных, 1970, с. 171, табл. XVI), что напоминает зауральскую ситуацию. И этот момент принципиально важен.

Шлаки Зауралья содержат примесь мышьяка. Этим мы приближаемся к последнему варианту решения проблемы, который я склонен считать наиболее приемлемым. Наличие мышьяковых бронз на синташтинских памятниках на фоне отсутствия руды с примесью мышьяка может быть объяснено только применением соответствующих лигатур. На то, что эти бронзы производились на месте, указывает наличие мышьяка в шлаке. Это же обстоятельство является свидетельством того, что легирование производилось на стадии плавки руды. На рисунке 5-47 хорошо видно, что вопреки ожидаемому снижению концентраций мышьяка в шлаке, по сравнению с рудой, они вырастают на полпорядка. При смещении частотной диаграммы распределения концентраций мышьяка в шлаке в сторону увеличения, мы получим диаграмму, отвечающую концентрациям мышьяка в мышьяковых бронзах. А это, в целом, соответствует закономерностям перехода мышьяка в шлак и металл при металлургических переделах, что уже неоднократно обсуждалось выше. При любых оценках коэффициента этого передела, в шлаке содержание мышьяка должно снизиться, а оно растет.

В этом случае, можно говорить о соответствии зауральских шлаков синташтинского времени зауральскому металлу. Если в качестве условной границы, маркирующей шлаки, оставшиеся от производства мышьяковых бронз, принять 0,01% содержания мышьяка (а именно на это значение указывала двухвершинная гистограмма мышьяка для шлаков поселения Тюбьяк), то доля полученных бронз будет следующей: поселение Аркаим — 71,7%, поселение Тюбьяк — 62%, поселение Устье — 82%, все уральские памятники синташтинско-абашевского времени — 63%. Однако, поскольку часть интервала 0,01—0,03% может приходиться на плавки чистой меди, эта доля несколько снизится.

Выше мы видели, что доля мышьякового металла колеблется в диапазоне 50—70%. Поэтому эти данные соответствуют общей картине синташтинско-абашевской металлургии. Но на поселении Устье, где доля мышьяковых бронз составляет лишь 17%, столь значительное количество мышьяковых шлаков, на первый взгляд, настораживает. По-видимому, это объясняется тем, что если большая часть шлака датируется, как уже говорилось, синташтинским временем, то металл чаще относится к петровскому времени. Это, в целом, соответствует характеру как синташтинских, так и петровских поселений. Если на первых металл встречается, скорее, в виде исключения (значительная часть металла поселения Синташта относится, по-видимому, к слою поздней бронзы), то на вторых он весьма типичен.

Таким образом, мышьяковый металл получали, главным образом, путем легирования на стадии плавки руды, и реже путем плавки медно-мышьяковых руд. Но что могло использоваться в качестве легирующего компонента? Это очень сложный вопрос, поскольку этот компонент не представлен в проанализированных сериях, куда отбирались только шлаки и явно медные руды. Он мог изначально сохраниться на поселениях в виде редких образцов, но мог быть и попросту не опознан в ходе раскопок и не взят в коллекцию. Не столь давно в коллекции зачастую не попадали даже шлаки.

В самих же шлаках он может быть сильно переработан, и потому не был идентифицирован минералогическими анализами. Поэтому следует внимательно рассмотреть имеющиеся анализы, что может позволить нам эту лигатуру выявить.

Обращает на себя внимание тот факт, что группы шлака, связанные с плавкой руды из кварцевой породы, занимают пограничное положение и по содержанию мышьяка не выходят за пределы 0,01—0,03% (рис. 5-50). Наиболее высокие концентрации мышьяка наблюдаются в минералогической группе I (рис. 5-51). Однако здесь они колеблются от 0 до 0,15%, доходя иногда до 0,5%. При этом минералогически смешанная группа

III ведет себя точно также. Образцы этой группы могут содержать как низкие, так и высокие концентрации мышьяка (рис. 5-52). Это сопоставление наглядно проявляется на корреляционном графике Cr — As, где образцы с повышенным содержанием хрома, что характеризует именно руду из ультраосновных пород, демонстрируют обычно и повышенное содержание мышьяка (рис. 5-53).

Эта связь между содержанием мышьяка и хрома проявляется и при анализе отдельных химических кластеров, хотя эта связь и не жесткая. Более хромистые шлаки демонстрируют более высокие концентрации мышьяка, в чем можно убедиться на соответствующем корреляционном графике для химических кластеров 1—3 (рис. 5-28). В данном случае кластер 2, соотносимый с рудой из ультраосновных пород содержит больше мышьяка. Это указывает на то, что источник мышьяка может быть связан с рудами в ультраосновных породах, а не в кварце, а именно к последнему типу месторождений относится Таш-Казган.

Следовательно, присутствие мышьяка в большей степени характеризует те плавки, которые связаны с рудой из ультраосновных пород. Если бы не отсутствие мышьяка в руде, это позволяло бы вернуться к прежней теории Е. Н. Черных, заменив Таш-Казган Ишкининским рудником. Но, как уже обсуждалось, его руды недостаточны для получения высокомышьяковых бронз в таком количестве. Но и на связь высоких концентраций мышьяка с рудами из ультрабазитов нельзя закрывать глаза. Поскольку на таких месторождениях с повышенными концентрациями мышьяка присутствуют и собственно мышьяковые минералы, можно предположить, что они добывались здесь попутно, вместе с медной рудой, и использовались для легирования на стадии плавки руды.

Показательны для дальнейшего обсуждения корреляции концентраций в шлаке и руде никеля и мышьяка. В руде поселений какая-то связь между этими элементами не проявляется (рис. 5-54), хотя в руде Ишкининского месторождения присутствуют как мышьяк, так и никель (таб. 5-46). В металле связь эта видна достаточно отчетливо (рис. 5-55). Существует лишь небольшое количество образцов, которые выпадают из этой закономерности. Все прочие укладываются в ряд четкого соотношения мышьяка

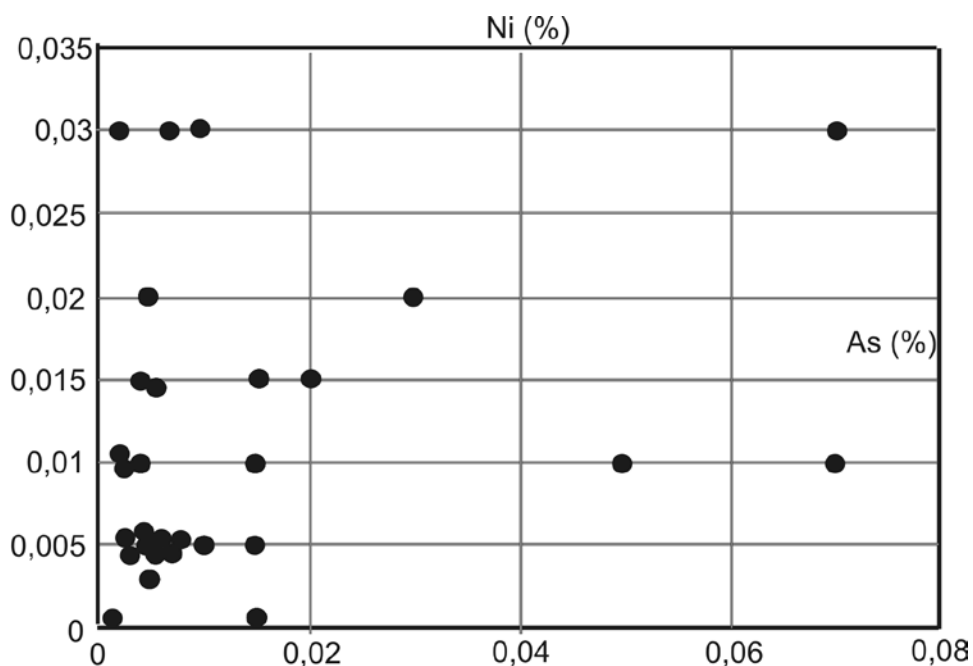


Рис. 5-50. Корреляционный график концентраций Ni — As в шлаке II минералогической группы

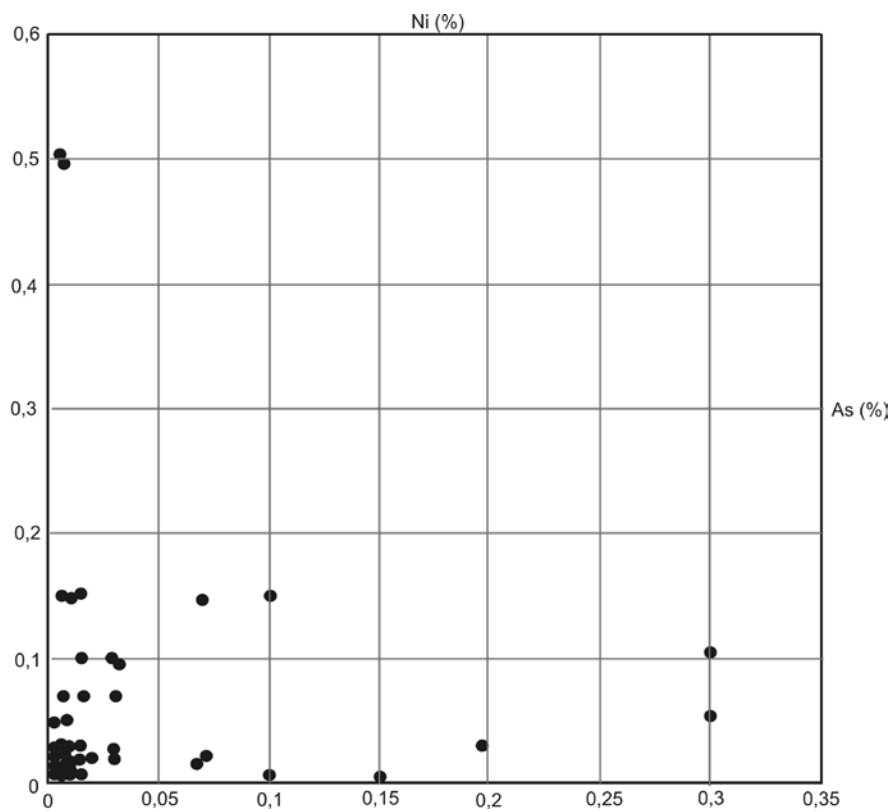


Рис. 5-51. Корреляционный график концентраций Ni — As в шлаке I минералогической группы

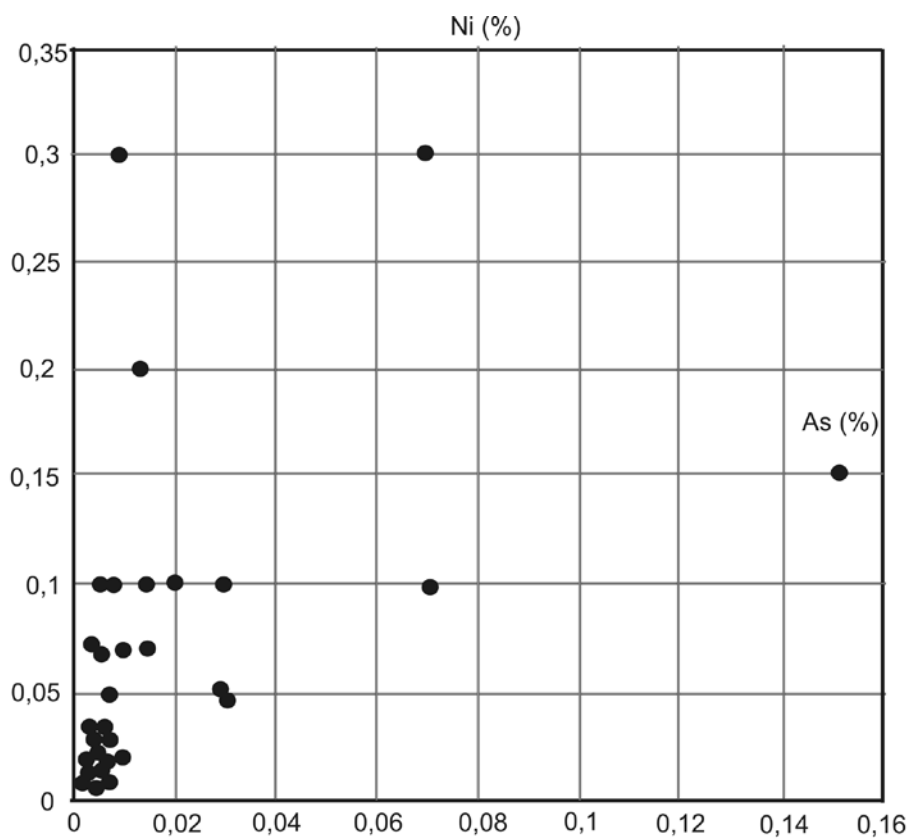


Рис. 5-52. Корреляционный график концентраций Ni — As в шлаке III минералогической группы

к никелю как 10:1. То есть, при увеличении 10 долей мышьяка добавляется одна доля никеля. Поэтому можно предполагать легирование минералом, содержащим, помимо мышьяка, значительно меньшее количество никеля.

Положительные корреляции между никелем и кобальтом (рис. 5-36), на первый взгляд позволяют предполагать присутствие в этом минерале и кобальта, однако та же связь наблюдается и в руде (рис. 4-7). Поэтому в легирующем компоненте кобальт, по видимому, большой роли не играл.

Очень важные результаты для выяснения этого вопроса были получены анализами металла, заключенного в шлаке, осуществленными на сканирующем электронном микроскопе. В ходе их исследования для нас была особенно интересна проблема способа легирования мышьяком. Анализы подтверждают приводимый выше вывод.

Исследовано рудное зерно, представленное малахитом (обр. 751, ан. е) и купритом (обр. 751, ан. ф), которое не содержало мышьяка, в то время как в других включениях данного образца он зафиксирован (таб. 5-4, 5-5, 5-6, рис. 5-VII.4). Отсутствует мышьяк и в исследованной рудонесущей породе (серпентинит). Вместе с тем, в том же образце были изучены корольки металла, которые отделяются от серпентинита. Они состояли иногда из двух зон. Во внутренней зоне качественный анализ выявил Cu, Fe, Si, As (обр. 751, ан. а). Во внешней зоне 9,9% Cu, 38,3% Fe, 44,8% As, 6,4% O, 0,7% S (обр. 751, ан. 3) (рис. 5-VII.3). Повторный анализ выявил значительную гетерогенность поверхности металла, довольно близкие значения, но сера отсутствовала, а присутствовала примесь Ni (1,15%) (обр. 751, ан. 3 Wdh).

Можно предполагать, что этот искомый мышьяко-никелевый минерал был сульфидом, и этот анализ большая удача, так как обычно сульфидные минералы, если они не составляют основу шихты, довольно легко теряют серу. Мы помним из описания наших экспериментальных работ, что возгонка серы начинается уже при незначительном нагревании. Это вероятно, но не доказано, что значительный железистый компонент, сопоставимый с мышьяковым, в этом минерале, видимо, присутствовал.

Интересные результаты получены при исследовании минералов, образовавшихся в ходе металлургических реакций (таб. 5-4, 5-5, 5-6, рис. 5-VII.5, 6). Было проанализировано светлое включение, рассматриваемое первоначально как металл. При большом увеличении выяснилось, что оно состоит из двух фаз — светлой и темной. Анализ темной фазы выявил присутствие 7% Cu, 79,9% Fe, 13,2% As (обр. 751, ан. 5). Анализ светлой фазы выявил медь с небольшой примесью железа (обр. 751, ан. d). Сходное включение, состоящее из двух фаз, дало похожую картину, но это был окисел. Темная фаза содержала 40,6% Fe, 16,1% Cu, 6% As, 35,4% O, 1,8% Si (обр. 751, ан. 6). Проверка этого результата другим анализом показала сходные значения (обр. 751, ан. 6 Wdh). Светлая фаза — 96,8% Cu, 3,2% Fe (обр. 751, ан. 7). Мышьяка в ней первоначально не выявлено. Но повторный анализ (обр. 751, ан. 7 Wdh) выявил меньшее содержание меди (87,86%), большее железа (7,02%) и мышьяк (5,06%).

Но в данном случае никель анализами не зафиксирован. Поэтому не исключено, что иногда в плавку поступали какие-то окисленные железо-медно-мышьяковые минералы. Использовались ли они целенаправленно для легирования или попадали вместе с медной рудой — сказать сложно.

Но серия других анализов показала связь мышьяка с никелем (таб. 5-4, 5-5, 5-6, рис. 5-V.1, 5-VI.5, 5-VIII.2-5). Королек меди в образце 3 содержал 12,5% As (обр. 3, ан. 2). Повторный анализ этого включения выявил наличие в нем двух фаз — светлой в центре и более темной по краям. Анализ светлой фазы (обр. 3, ан. 5) показал, что это медь с примесью Fe (4,17%), As (9,8%), Ni (1,26%). В темной фазе содержались близкие примеси железа, более низкие Ni (0,66%) и As (4,93%), и присутствовала сера (11,4%). Очень примечательно наличие здесь Se (2,76%).

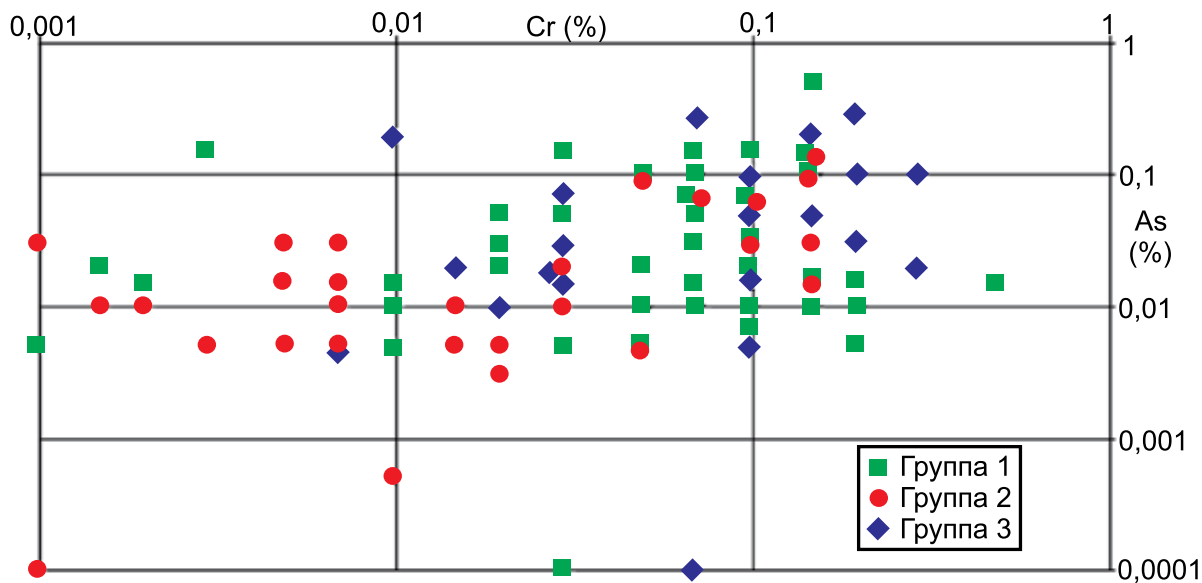


Рис. 5-53. Корреляция Cr — As в шлаке 1—3 минералогических групп

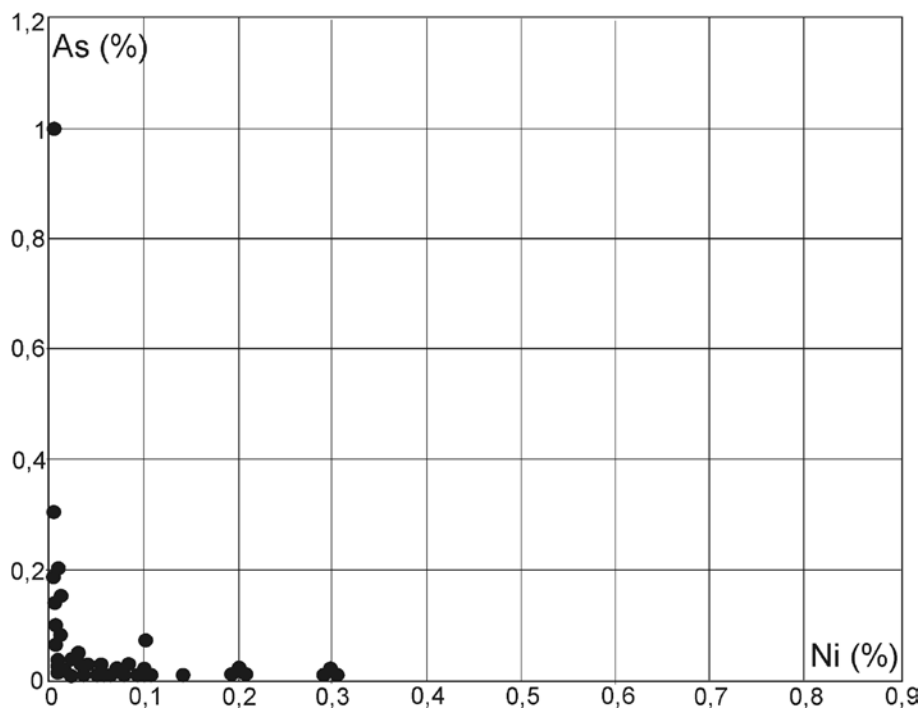


Рис. 5-54. Корреляционный график Ni — As в руде синташтинско-абашевского времени.

Королек меди в другом образце содержал 31,6% As (обр. 680, ап. 5), что указывает на его формирование в зоне, где присутствовал какой-то минерал с высоким содержанием мышьяка.

При исследовании образца 839 были зафиксированы расплавленные крупные включения, состоящие из трех фаз: светлой металлической фазы, голубой фазы и серо-голубой фазы. Все эти фазы образовались уже в результате металлургических реакций.

Серо-голубая фаза состояла из 6,9% Cu, 44,5% Fe, 10,5% As, 2,1% Ni, 36,1% O (обр. 839, ап. 1). В этом же включении проанализирована (качественный анализ) светлая фаза, распространяющаяся по краю. Состав ее тот же, но содержание железа несколько выше.

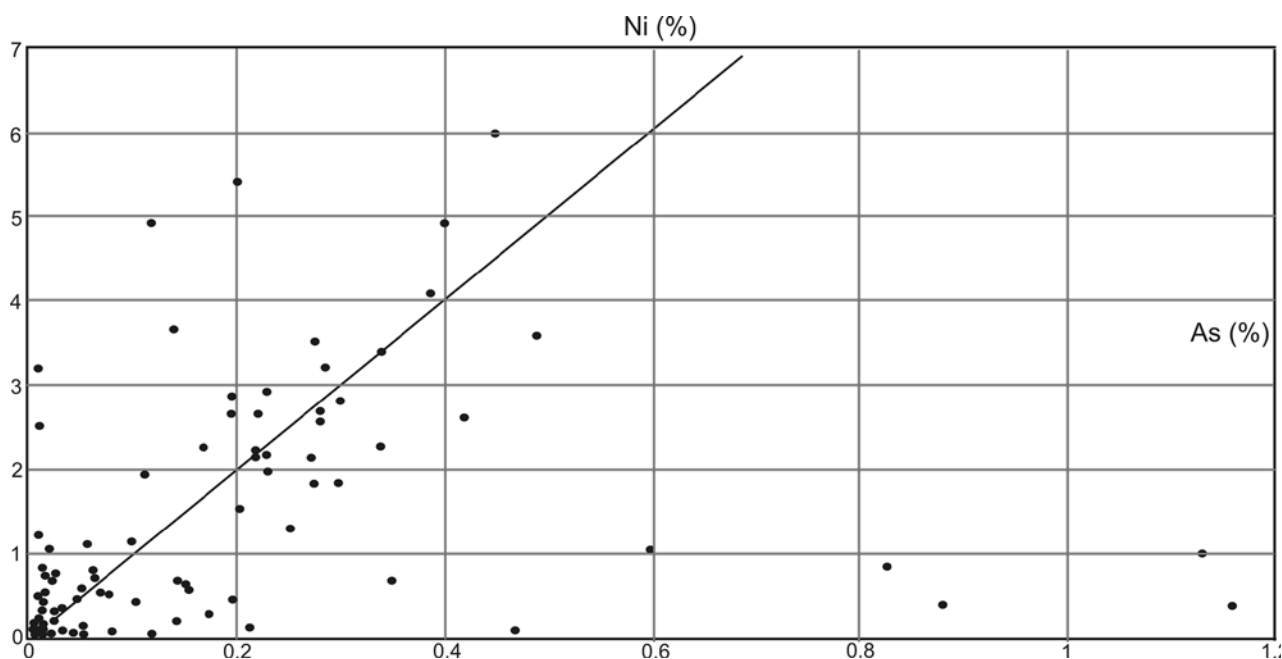


Рис. 5-55. Корреляция Ni — As в металле синташтинско-абашевского времени

В другом подобном включении содержалось 6,4% Cu, 40,6% Fe, 5,9% As, 9% Ni, 33,5% O, 4,6% Cl (обр. 839, ап. 3). Повторный анализ несколько скорректировал эти цифры, но не принципиально.

Голубоватая фаза в том же зерне — 11,2% Cu, 82% Fe, 3,8% Ni, 2,9% O (обр. 839, ап. 4). Повторный анализ выявил близкий состав (хотя и с некоторыми вариациями элементов) и наличие в этом включении As (4,45%) и полное отсутствие кислорода. Это, следовательно, не окисел, а металл.

В том же зерне светлая фаза — 89,4% Cu, 4,6% Fe, 4,4% As, 1,7% Ni (обр. 839, ап. 5).

В данных анализах интересно то, что соотношение мышьяка и никеля близко тому, что показал для гипотетического легирующего компонента спектральный анализ, хотя иногда встречается и их соотношение 5:1. И мы видим две фазы с мышьяком и никелем: одну с железом, вторую с серой¹.

Отдельные анализы не выявили присутствие мышьяка в корольках меди (обр. 173, ап. а; обр. 822, ап. б). В принципе, часть производства синташтинской металлургии была направлена на изготовление чистой меди. Вместе с тем, необходимо учитывать уже отмеченную выше неустойчивость диагностики мышьяка в первой серии анализов, а также то, что в шлаке, до переплавки, примеси могут распределяться неравномерно.

Выводы

Таким образом, основная масса мышьякового металла этого периода не связана с рудником Таш-Казган. Она происходит из плавки руд в ультраосновных породах. При этом имело место легирование мышьяковыми минералами в шихту на стадии плавки руды. Присутствие мышьяка неизменно сопровождается никелем, который отсутствует в проанализированной руде, породе или оливине. Можно с уверенностью утверждать, что для легирования применялся минерал, содержащий, наряду с мышьяком, довольно высокие концентрации данного элемента, а также железа и, иногда, серы.

Никель часто содержится в сульфидных и мышьякосодержащих медно-никелевых рудах, что вполне соответствует характеристике Ишкининского, Ивановского и Дерга-

¹ Идентичные данные были получены тем же методом при исследовании включений меди в синташтинском шлаке другой группой исследователей (Зайков и др., 2008, 2008а).

мышского месторождений, в которых встречается арсенид никеля — никелин (Зайков и др., 2001). Поэтому легирующие компоненты, скорее всего, добывались на тех же рудниках. При обсуждении анализов включений магнетита и хрома с помощью электронного микроскопа в некоторых синташтинских шлаках, мы говорили, что в них может присутствовать мышьяк, следовательно, он поступал с месторождения в ультраосновных породах, откуда поступала и медная руда. Точно определить минерал, базируясь на исследовании минералов, перерожденных в результате металлургических процессов, невозможно. К тому же, существует серия близких минералов, в которых соотношение компонентов варьирует. И все они могут присутствовать на одном месторождении. В том же месторождении могла местами присутствовать и руда, позволявшая получать мышьяковую бронзу, но основой производства она явно не была. Это предположение накладывает определенные ограничения на наши выводы о связи ряда шлаков с рудой Ишкининского месторождения, так как включения хромшпинелидов в шлаке может маркировать легирующий компонент, взятый на этом месторождении, а руда каких-то отдельных поселений может происходить из иных источников. Это не слишком вероятный вариант, но он вполне допустим.

Сделанные выводы не является поводом для отказа от идеи о возможной эксплуатации рудника Таш-Казган. Он вполне мог использоваться. Не исключено, что эксплуатировались и какие-либо другие мышьякосодержащие медные месторождения. Однако роль их была явно более ограниченной, чем это представлялось ранее, да и сама их эксплуатация была возможна лишь в силу имевшего место стереотипа изготовления мышьяковых бронз. Изредка руды подобных месторождений могли использоваться в качестве лигатуры. В древности легирование могло осуществляться как мышьяковыми минералами, так и мышьякосодержащей медной рудой.

Группе ТК, в связи с вышеизложенным, следует придавать, более широкий смысл. В нее, скорее всего, включаются как образцы, полученные при плавке руды месторождения Таш-Казган (и это весьма гипотетическое допущение), так и легируемые на стадии плавки руды различных месторождений Урала и Зауралья (львиную долю этой продукции давали синташтинские городища). Но необходимо помнить, что надежные данные об эксплуатации рудника Таш-Казган в этот период, как и возможность соотнести его руду с рудой или металлом этого периода, полностью отсутствуют¹.

¹ Не столь давно Е. Н. Черных (2007, с. 82, 83, рис. 5.9) опубликовал сопоставление концентраций мышьяка в меди ТК синташтинской-абашевских памятников с концентрациями в северокавказских мышьяковых бронзах, утверждая, что это сопоставление столь разительно, что продолжать обсуждение вопроса искусственного характера группы ТК не имеет смысла. На его взгляд, эта медь естественного происхождения и связана исключительно с рудником Таш-Казган. Приведенный рисунок действительно показывает значительно более высокие концентрации мышьяка в северокавказском металле, но обсуждения он, все же, заслуживает, так как не имеет смысла обсуждать лишь религиозные догмы. Дело в том, что в синташтинской культуре подавляющая масса металла представлена орудиями труда и оружием, доля украшений ничтожно мала. В противоположность этому, в металле СБВ Северного Кавказа доминируют украшения (Авилова, Черных, 1989, с. 73; Cernykh et al., 1991, с. 604). При этом сопоставление концентраций мышьяка в металле северокавказской культуры показывает достаточно контрастную картину: в литых изделиях (это, преимущественно, украшения) концентрации мышьяка колеблются в пределах 1,6—40%, а в прокованных — 0,25—6,3%, причем изделий с очень высокими концентрациями в последних встречено не столь много (Черных, 1966, с. 42, рис. 14). А это уже вполне сопоставимо с синташтинской ситуацией. Поскольку в обсуждавшийся график весь металл включен суммарно, то естественно появляется столь контрастная картина. При более корректной выборке, с близким соотношением орудий труда и оружия к украшениям, эта картина будет далеко не так контрастна и убедительна. Хотя, можно допускать, что в среднем концентрации мышьяка в металле Северного Кавказа будут несколько выше. Но это уже явно недостаточно для суждений об искусственном или естественном характере бронз, а должно обсуждаться в рамках проблемы различий легирования, последующих режимов литья иковки, доли переплавленного металла (все это могло приводить к снижению концентраций) и т. д.

Мышьяковые бронзы

Содержание мышьяка в синташтинском металле не слишком велико. Это позволяет задаться вопросом о самой необходимости подобного легирования. Дело в том, что существует мнение о том, что при легированности мышьяком с концентрацией 1—2% твердость сплава мало отличается от твердости меди. Только 4% дают металлу характеристики, приближающиеся к оловянной бронзе. Но для древних технологий проблематично добиться легированности мышьяком более 8%. Кроме того, содержание мышьяка при легировании трудно контролировать (Northover, 1987, p. 111, 113, 114). Поэтому иногда высказывается предположение, что смысла это легирование не имело, и это случайный металл. В Иберии, к тому же, нет связи между типом изделия и содержанием мышьяка (Hunt Ortiz, 2003, p. 324). Но необходимо помнить о том, что при высокотемпературной обработке, особенно при переплавке, содержание мышьяка уменьшается. Поэтому отсутствие этой связи может отражать также высокую степень утилизации металла, и этот признак не может быть надежным в решении вопроса о преднамеренности легирования.

Не исключено, что причиной подобных добавок иногда было стремление получить более жидкотекучий металл, так как они способствуют уменьшению температуры плавления меди до 830 °C (Palmieri et al., 1993, p. 597). Нельзя забывать и об эстетических особенностях мышьяковых сплавов, которым свойственна сегрегация и миграция на поверхность, что вело к образованию серебристого покрытия (Charles, 1980, p. 171). Но эстетические мотивы явно недостаточны для стимулирования массового производства, а стремление снизить температуру плавления для синташтинской металлообработки тоже не так актуально, поскольку в металлообработке доминировали кузнечные операции.

Обычно считается, что медь с содержанием мышьяка менее 1% случайность, выше — намеренный сплав с мышьяком или намеренная плавка медно-мышьяковой руды из-за удобства обработки или рабочих качеств этой меди. Ее твердость повышается при холодной ковке, но даже при малых добавках мышьяк работает как деоксидант, что улучшает механические свойства изделия. В Альпийской зоне и Северной Италии содержание мышьяка в разных типах изделий различается, что говорит о преднамеренности. Но в действительности, исследований о свойствах мышьяковых сплавов мало, и иногда даже высказывается мнение о том, что в литературе данные приводятся не вполне корректно, кочуя из публикации в публикацию (Budd, Ottaway, 1990, p. 95).

Это тоже некоторое преувеличение. К тому же, последнее время в отечественной науке появились данные, основанные на аналитических и экспериментальных данных. При повышении содержания мышьяка постепенно повышается и твердость металла. Это наблюдается до 3—4% содержания мышьяка, а при более высоких значениях твердость плавно снижается. До 3% концентраций мышьяка ковкость металла не изменяется, потом она резко снижается. (Поэтому при более высоких содержаниях удобнее отливать). Но мастер мог почувствовать это увеличение твердости лишь с 1% содержания (по С. Ровире). Важное значение играло в некоторых регионах и то, что в мышьяковых бронзах (майкопская и синташтинская культуры) фиксируются добавки никеля. Никель «сообщает сплаву способность к закалке и отпуску, что после дополнительной проковки приводит к его существенному упрочнению» (Рындина, Равич, 2012, с. 5, 6).

В случае с синташтинской металлургией речь должна идти, по-видимому, о стремлении повысить рабочие качества изделия, поскольку в металле этого времени наблюдается зависимость между типом изделия и наличием легированности. При этом, как следует из данных ряда авторов, зависимость между типом изделия и количеством мышьяка выражена менее четко (см. Зайкова, 1995; Черных, 1970; Кузнецов, 1983), что обусловлено характером легирования на стадии плавки руды, хотя это может иметь и вторую причину: повторные термические обработки и переплавки.

Базируясь на наших рентгенфлюоресцентных анализах синташтинско-абашевского металла, мы попробовали рассмотреть этот вопрос более детально. Обращает на себя внимание, что среднее значение концентраций мышьяка для каждого отдельного типа указывает на то, что среднее значение содержания мышьяка возрастает в тех типах изделий, которые испытывают при эксплуатации большую динамическую нагрузку (таб. 5-56). Исключением являются браслеты, но в них более высокое содержание мышьяка могло быть обусловлено либо технологическими причинами (большая пластичность и жидкотекучесть) или эстетическими соображениями. Вместе с тем, все типы изделий демонстрируют существенный разброс этих концентраций¹. В каких-то случаях это могло быть вызвано случайными причинами, например, отсутствием легирующего компонента или изготовлением нового изделия из лома. Но более типичной причиной является то, что при том способе легирования, который применялся в синташтинское время, было невозможно добиться четко контролируемого содержания мышьяка в металле. К тому же, после получения металла от одной плавки, даже если металлург мог весьма приблизительно оценить по свойствам металла степень его легированности, полученный металл не шел на изготовление изделия одного типа. Подобное было бы возможно при ремесленном товарном производстве, но характер синташтинского производства был явно иной. Поэтому общие представления о свойствах легированного металла, конечно, были, но стремление добиться этого любым путем отсутствовало.

Таб. 5-56

Диапазон содержания мышьяка и его среднее значение в отдельных типах изделий синташтинско-абашевского времени

Тип	Диапазон содержания As (%)	Среднее значение (%)
стержень	0,009	0,009
клин	0,046	0,046
крюк	0,005—0,32	0,163
рыболовный крюк	0,202	0,202
слиток	0,005—0,39	0,21
скрепка	0,082—0,72	0,334
обкладка сосуда	0,81	0,81
серп	0,005—3,2	0,836
браслет	0,67—1,11	0,89
пробойник	0,011—4,9	1,042
стамеска	0,005—3,6	1,328
шило	0,063—6	1,838
гарпун	1,94	1,94
тесло	0,34—4,9	2,421
нож	0,01—5,4	2,85
наконечник копья	2,85	2,85

Проблема мышьяковых бронз в археометаллургии

Сделанный вывод позволяет нам обратиться к проблеме мышьяковых бронз, в целом. Данная проблема давно обсуждается в археометаллургии и формулируется именно так, как это изложено выше применительно к синташтинской металлургии. Иными словами, вопрос сводится к тому — являются ли мышьяковые бронзы результатом преднамеренного легирования или они получены в результате плавки медных руд, содержащих повышенные концентрации мышьяка. Для различных случаев допускаются оба подхода: и получение этого металла из руды (Tylecote, 1982, p. 99) и путем искусственных добавок (Tylecote, 1987, p. 193).

¹ Сопоставимые результаты получены и при обработке анализов синташтинского металла А. Д. Дегтяревой, хотя она пишет о высокой степени корреляции между типом изделия и степенью легированности (2010, с. 138, 144). В данном случае разница лишь в словесной оценке, а не в несопоставимости результатов.

Довольно детально суть этой проблемы была изложена Ридерером, который привел аргументы обеих сторон (Riederer, 1991, p. 87, 88). Аргументы в пользу легирования медной руды мышьяковой рудой в его изложении следующие:

- 1) высокое содержание мышьяка в некоторых объектах;
- 2) соответствие определенного содержания мышьяка группам объектов;
- 3) улучшение качества меди при добавках мышьяка;
- 4) распространенность мышьяковых сульфидов в Анатолии и прилегающих областях.

Аргументы в пользу мышьякосодержащих руд:

- 1) колебание содержания мышьяка внутри большинства групп;
- 2) часто содержание от 0,5 до 1%, что недостаточно для легирования;
- 3) всеобщность подобного легирования от древности до Нового времени.
- 4) мышьякосодержащие медные руды встречаются чаще, чем реальгар или аурипигмент;
- 5) эмпирические знания руд, что позволяло подбирать подходящие.

Сам Ридерер склоняется ко второй позиции. При этом нетрудно заметить, что приводимые им аргументы в пользу именно этой позиции более убедительны. Эта точка зрения подтверждается, на его взгляд, и анализами металла: пп. 1, 2. Кроме того, в месопотамских источниках в качестве лигатур упоминаются только свинец и олово. Последнее, впрочем, не может являться достаточным аргументом в этом вопросе, поскольку в случае, если легирование осуществлялось на стадии плавки руды (а в Месопотамию поставляли уже металл), в источниках не могли отразиться упоминания об этих лигатурах.

Но во всех районах данные противоречивы. В Британии известны медные минералы с повышенным содержанием мышьяка. Они распространены не так широко, как блеклые руды, содержащие мышьяк и сурьму. Подтвердить их использование в РБВ (что по времени совпадает с синташтинской культурой) ввиду отсутствия шлака невозможно, но это предполагается, так как мышьяковые бронзы представлены достаточно хорошо (Icher, Patrick, 2003, p. 14, 15). Видимо, в этом случае надежные данные для каких-то уверенных суждений пока отсутствуют.

По всей вероятности, повсюду, даже внутри какого-либо отдельного региона, могли использоваться различные схемы легирования. Например, на некоторых ранних испанских поселениях найден малахит с примесями мышьяка. В изделиях концентрации мышьяка, как правило, составляют менее 1%. Очень редко они превышают 2%, и положительной корреляции между концентрацией мышьяка и типом изделия нет (Fernandez-Miranda et al., 1994, p. 23, 26). Эти факты, как будто, говорят в пользу того, что мышьяк привносился с рудой. Но не исключено и то, что металл неоднократно подвергался переплавке. Тем не менее, уже в СБВ Иберии мышьяк в металле типичен, порой его очень много, но это объясняется свойствами иберийских руд, так как руды с высоким содержанием мышьяка встречаются там повсеместно, даже в верхних частях месторождений (Hunt Ortiz, 2003, p. 323, 329—332). Обсуждая энеолитическую металлургию этого региона, мы говорили, что там есть данные и об использовании мышьякосодержащих руд и о легировании на стадии плавки руды.

В Иране ситуация была более однородной. На ряде памятников рубежа IV/III тыс. до н. э. (Геой тепе, Шах тепе, Гиссар, Сиалк, Гийян) обнаружены медно-мышьяковые минералы — домейкит (Cu_3As), алгодонит (Cu_3As) (Palmieri et al., 1993, p. 596). Предполагается, что источником этой руды были месторождения в районе Анарака, медные минералы которых содержат много мышьяка. Содержание его в руде месторождения сильно колеблется, что вызывало и колебания содержания мышьяка в медных изделиях (Zwicker, 1987, p. 192).

Ситуация в Анатолии более сложна. На поселении Икизтепе зафиксирована положительная корреляция между типом изделия и содержанием мышьяка, что указывает на преднамеренное легирование. С другой стороны, в слое СБВ поселения Ачеххёйюк выявлена руда с высоким содержанием мышьяка (Yener et al., 1994, p. 379). На поселении Начи Небе Тепе, мышьяк (менее 1%) в шлаке сопровождается никелем. Но эти примеси отмечены и в руде, поэтому предполагается использование полиметаллических руд (Yener, 2000, p. 28). На поселении Арслантепе в Восточной Анатолии наблюдается положительная корреляция между типом изделия и содержанием мышьяка. Так копья содержали 2,5—3% мышьяка, а мечи — 4,5—5%. Вместе с тем, мышьяк присутствует и в руде этого поселения. Встречены и минералы с повышенным содержанием сурьмы и никеля. При этом иногда содержание мышьяка в металле достигает 3—10%, чего невозможно добиться без искусственных добавок минералов с мышьяком (Palmieri et al., 1994, p. 447; Palmieri et al., 1993, p. 574, 577). Все это указывает на плавку медно-мышьяковых минералов и легирование подобными минералами плавок иных руд. Однако в слое РБ IV этого поселения руда мышьяка не содержала, хотя мышьякосодержащая медь в нем обнаружена, что, по мнению авторов исследования, является свидетельством легирования металла (Caneva, Giardino, 1994, p. 455). Аналогична ситуация в районе Малатьи или Трапезунда, где в собранных минералах содержится незначительное количество мышьяка, а на поселениях выявлено много мышьяковых бронз (Palmieri et al., 1993, p. 591). В шлаках энеолитических поселений Тюлентепе и Тепечик, энеолит, до 2—5% мышьяковых минералов, поэтому предполагается плавка руды с добавлением этих минералов (Yağar, 2002, p. 18). Очень показательными являются данные, полученные на поселении Норшун Тепе, где обнаружено два типа руды — в кварце, содержавшей значительные примеси мышьяка и сурьмы, и в песчанике, в которой подобные примеси почти отсутствовали. При этом в шлаках из этих слоев повышенные концентрации этих элементов выявлены не были, поскольку шлак был получен при плавке руды в песчанике. Руду же в кварце из-за очень высоких концентраций сурьмы плавить и вовсе было нельзя. Она годилась лишь в качестве лигатуры к руде в песчанике (Zwicker, 1980, p. 13, 14, 17). Собственно, в случае подобной легированности эти элементы частично могли остаться в шлаке, но если температуры были не слишком высоки.

Таким образом, для Анатолии мы можем предполагать не только плавку медно-мышьяковых минералов, но и способ легирования медно-мышьяковыми и мышьяковыми минералами. Причем, не исключено, что это не региональные особенности, а общее явление. В предшествующих синташтинской культуре слоях РБВ2 и СБВ поселения Дежирментепе найден арсенопирит, который добавляли к руде, но есть и медные руды с высоким содержанием мышьяка (Yener, 2000, p. 55). Вероятно, имело место и то и другое. Металлурги прекрасно могли определить присутствие мышьяка в руде по исходившему из печи запаху и использовали эти руды. В других случаях они легировали мышьяковыми минералами. Эти минералы в Анатолии приурочены к районам Карса и Сиваса. Именно они и могли служить источником подобных лигатур (Palmieri et al., 1993, p. 591).

Но не исключено, что ситуация на Ближнем Востоке была еще сложнее. Дело в том, например, что при обилии мышьяковых бронз в Иране, количество месторождений, содержащих такие руды, не так велико, как это принято считать. И это на фоне множества иных месторождений (Pigott, 2004a, p. 29, 31). Но сформировался историографический миф (Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004, p. 267). При анализе материалов Шахр-И Сохта в слое 2700—2500 гг. до н. э. была найдена шпейза, арсенид железа. Первоначально предполагалось, что имела место плавка малахита с арсенопиритом, что обеспечивало бы восстановительную атмосферу и получение мышьяковой бронзы. Тот же процесс позволили предполагать материалы Тепе Яхья и Намазга (Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004a, p. 51, 53). По мере накопления данных стало ясно, что есть серия памятников (например,

Шахр-и Сохта), где в шлаке мышьяк отсутствует, а в металле его много, что позволило сделать вывод об использовании шпейзы для легирования в металл (Thornton, Rehren, 2007, p. 316). Специальная исследовательская программа выявила преднамеренное легирование мышьяком на ряде иранских памятников конца IV—III тыс. до н. э. (Шахр-и Сохта, Арисман, Гиссар). Находки шпейзы указывают на то, что ее могли получать из арсенопирита, а потом легировать ей металл. Учитывая то, что шпейза плавится при низкой температуре, около 700 °С, это довольно простая операция. Вместе с тем, есть находки меди с 20% мышьяка, что близко медной шпейзе. И нельзя до конца исключать легирование арсенопиритом в медную руду. По-видимому, эти приемы были довольно широко распространены на Ближнем Востоке, и не ограничивались Ираном. Более того, в начале III тыс. до н.э. везде растет производство чистой меди, которую могли легировать уже потом шпейзой. Не исключено, что этим объясняется порой отсутствие в шлаке мышьяка при его наличии в металле (Thornton, 2009; Thornton et al., 2009).

Наши анализы синташтинского шлака не выявили металлических фаз исключительно с железом и мышьяком (таб. 5-5), все они содержат какое-то количество меди, или исключительно медь, хотя в одной из фаз содержание мышьяка превысило 32%, то есть это железно-медная шпейза, образовавшаяся, вероятно, все же, в результате легирования мышьяковым минералом медной руды. К тому же, в наших шлаках медной плавки мышьяк встречается везде. Но и для Ближнего Востока легирование шпейзой нельзя считать действительно основой производства. Не исключено, что оно имело место, но находок шпейзы мало. Основой было, все же, легирование минералами в руду.

Из огромного количества кавказских месторождений (около 500) археологически обследовано менее 10%, но данных о разработке медно-мышьяковых месторождений нет. При этом искусственный характер медно-мышьяковых сплавов Кавказа, начиная с энеолита, не вызывает сомнений (Palmieri et al., 1993, p. 593, 594).

Таким образом, синташтинская металлургия по признаку способа легирования очень близка металлургии Анатолии и Кавказа. Менее ясно, каким образом это легирование в данных районах осуществлялось. Мы можем обсуждать два способа: в руду и в металл. Тайликот писал, что непосредственно в медь мышьяк можно добавить в чистом виде или в виде арсенопирита. В последнем случае сульфид железа отделится, окислится и ошлакуется (Tylecote, 1987, p. 193). На основе анализа ошлаковки тигля с Кипра предполагается, что мышьяковую руду легировали в металл (Zwicker, 1982, p. 67). А. М. Палмиери, К. Серток и Е. Н. Черных полагают, что употреблялись оба способа, в медь и металл, но легирование в медь применялось чаще, поскольку это способствует снижению температуры ее плавления (Palmieri et al., 1993, p. 597). На наш взгляд, это не столь существенно, так как если до этого в процессе плавки руды была получена мышьякосодержащая медь, температура плавления ее будет тоже несколько ниже, а такой элемент, как сера, содержащаяся в мышьяковых минералах, будет способствовать повышению температуры в процессе плавки руды, но при добавках в металл ухудшает его качество. Можно, вероятно, добиться и полного удаления серы из металла, но это приведет к неоправданному увеличению времени переплавки.

Кроме того, не вполне ясен способ легирования в металл. Легировать непосредственно мышьяком, полученным при плавке мышьяковой руды, безусловно, не могли. Подобные данные для этого времени отсутствуют. Вероятность легирования мышьякосодержащими минералами в металл тоже сомнительна. Во-первых, отсутствуют надежные данные, свидетельствующие в пользу подобного легирования, во-вторых, не ясна вообще технологическая возможность этого процесса, несмотря на приведенное выше мнение Тайликота.

Поэтому более оправдано получение таких бронз добавлением мышьяковых руд (Muhly, 1976, p. 90). Эксперименты показывают, что получение мышьяковой бронзы

путем совместной плавки окисленной медной руды с мышьяковыми минералами является достаточно простым процессом (Yener, 2000, p. 57—59).

Этот вопрос, вероятно, требует специального изучения, но более вероятен, на мой взгляд, все же, тот способ легирования, который применяли синташтинские металлурги — при компоновке шихты. Этот способ также более оправдан с точки зрения логики. Возникнуть подобное легирование могло из плавок медно-мышьяковых минералов. Поэтому у нас нет оснований отделять синташтинскую технологию легирования от анатолийской.

Таким образом, имели применение три способа получения мышьяковых бронз — из мышьякосодержащей медной руды, добавлением мышьякосодержащей медной руды к обычной руде (способ наиболее сомнительный, и если имевший место, то довольно редко), добавлением мышьякосодержащих минералов к медной руде. В каждом регионе использовался свой способ. Это зависело от сырья, которое имелось под рукой.

Экзотические сплавы и металлы в синташтинской культуре

В результате анализа изделий синташтинской культуры А. Д. Дегтяревой (2010, с. 83) металл был разбит на несколько групп: медь и сплавы на ее основе (88,1%), биллоны и серебро (7,8%), золото (4,1%). В свою очередь, внутри меди и сплавов выделены небольшая группа чистой меди, обсуждавшийся выше ведущий синташтинский сплав меди с мышьяком, сплав меди с цинком и сложные многокомпонентные сплавы: оловянно-мышьяковые, свинцово-мышьяковые, сурьмяно-мышьяковые, цинково-мышьяковые, оловянно-свинцово-мышьяковые и редкий сплав с оловом, свинцом, цинком и мышьяком. Следует отметить, что в нашем анализе металла сплавы с содержанием цинка, свинца и олова, за исключением единичных случаев, не выявлены (таб. 5-48). Объясняется это тем, что в нашей выборке почти не задействованы украшения, а эти сплавы использовались, преимущественно, при их изготовлении. Поэтому при дальнейшем обсуждении мы будем исходить из членения, произведенного А. Д. Дегтяревой.

Мы не будем тут обсуждать золото, поскольку технологические проблемы золотообработки совершенно несовместимы с тем, что обсуждается в этой книге. Кроме того, золото занимает совершенно незначительную долю в объеме синташтинского металла. Приводимые выше 4,1% изделий в действительности означают тонкую золотую фольгу на височных подвесках. Поэтому в весовом отношении в синташтинской коллекции этот металл составлял доли процента.

Преднамеренный характер многокомпонентных сплавов тоже очень сомнителен. Скорее всего, эти единичные изделия являются результатом переплавки металлического лома. Сурьмяно-мышьяковые сплавы встречаются редко и являются, по-видимому, результатом плавки сульфидных минералов. Во введении мы обсуждали, что сурьма часто замещает серу в сульфидных минералах мышьяка и других элементов. Оловянные или оловянно-мышьяковые бронзы тоже особых проблем не вызывают, поскольку такая лигатура как олово не характерна для синташтинской металлургии и является признаком контактов с сейминско-турбинскими производящими центрами. А проблемы присутствия в меди цинка, никеля, свинца и серебра будут рассмотрены ниже.

Медь с примесью цинка

В коллекции выявлено 4 изделия из мышьяково-цинковой бронзы, в которых содержание мышьяка сильно различается, и одно изделие из латуни (сплав меди с цинком). Содержанием цинка в них варьирует от 0,4 до 5%.

Латунь могла быть привлекательным сплавом, так как она имеет золотистый цвет и легко обрабатывается. Правда, этот цвет появляется при содержаниях от 8% цинка, когда действительно можно говорить о преднамеренности этого. Кроме того, получить

цинк для сплава очень трудно. Он возгоняется при температуре 906 °С, ниже температуры плавления его руды. Но можно легировать методом цементации, нагревая медь при низкой температуре с оксидом цинка в закрытом тигле, а потом переплавив полученный продукт, чтобы получить однородный сплав (Хаврин, Чугунова, 2004, с. 352, 354; Thornton, 2007, p. 124).

Поскольку в синташтинских коллекциях четкая связь цинка с типом изделия отсутствует, то намеренное получение этого металла сомнительно. Поэтому предполагается, что его источником были месторождения Южного и Среднего Зауралья Кыштымской, Пышминско-Ключевской групп, которые тоже разрабатывались синташтинскими металлургами (Дегтярева, 2010, с. 89, 148). Однако эти месторождения находятся далеко на севере, в лесной зоне, которая не осваивалась синташтинским населением (Григорьев, 2008). Месторождения с повышенными концентрациями цинка должны находиться где-то ближе к району городищ. На это указывает, в частности, присутствие в нашей коллекции отдельных руд и шлаков, в которых зафиксированы повышенные концентрации цинка. Так в отдельных образцах руды поселений Аркаим, Устье и Бурли спектральным анализом выявлено 1% цинка и более (таб. 4-1). С учетом того, что, согласно нашей калькуляции, цинк переходит в шлак с понижающим коэффициентом 0,392 (см. таб. 0-6 во введении), в шлаке это может давать более 0,25%. Таких образцов было выявлено восемь (таб. 5-23) — на поселениях Семиозерки, Аркаим, Бурли, Устье, Сергеевка и могильнике Кривое Озеро. В трех образцах содержание цинка составляло 1% и более. Все это, в целом, соответствует слабой представленности сплавов с цинком на синташтинских памятниках, из чего следует, что источники этой меди находятся где-то поблизости.

Предполагать же преднамеренный характер этих сплавов вряд ли оправдано. Для этого времени подобные сплавы не известны. В эпоху поздней бронзы на Ближнем Востоке известны отдельные латунные изделия с содержанием 5—15% цинка. Но они тоже трактуются как случайный продукт, образовавшийся за счет того, что цинк присутствовал в руде, а плавка проходила при невысокой температуре и в условиях восстановительной атмосферы. Целенаправленное производство латуни начинается только с 500 г. до н. э. (Craddock, Eckstein, 2003, p. 216, 217). В Китае, самый ранний металлический предмет это латунная пластина V тыс. до н.э. Были обнаружены и несколько более поздние подобные сплавы. Но большинство исследователей сходятся во мнении, что три латунных предмета из Шанси (культура яншао) и еще одно культуры луншань тоже вызывают вопросы. Скорее всего, цинк присутствовал в руде (Линь Юнь, 1991, с. 78, 79; Mei, Li, 2003, p. 112).

Вместе с тем, возможно, что это не всегда была рудная примесь. Обращает на себя внимание то, что на Ближнем Востоке латунь появляется с III тыс. до н.э., одновременно с появлением олова. И латунные изделия чаще содержат примеси олова, а не мышьяка, хотя в месторождениях цинк и олово не связаны (Thornton, Ehlers, 2003, p. 3-5; Thornton, 2007, p. 123, 130—132). Поэтому не исключены попытки легирования, но в нашем случае, когда есть шлаки с повышенным содержанием цинка и изделия содержат мышьяк, этот вариант исключается. Эту группу металла можно рассматривать исключительно, как рудную примесь.

Свинец и серебро

В свое время К. В. Сальников, обсуждая обнаруженный на Мало-Кизильском селище уральской абашевской культуры свинцовый браслет, писал, что это является доказательством наличия местной выплавки свинца (Сальников, 1962, с. 66). Это селище находится в Челябинской области, где впоследствии были открыты памятники синташтинской культуры. Как и синташтинские городища, оно было окружено оборонительным рвом, но по характеру материала отличается от синташтинских памятников, хотя имеет с ними много

общего. Длительное время подобные находки не повторялись, и этот браслет исследователями не упоминался, рассматриваясь как нечто случайное. Однако с началом работ на синташтинских городищах, была сделана новая находка — свинцовая проволока, которая была обнаружена на поселении Куйсак (Зайков и др., 1999, с. 194, 195). К сказанному можно добавить наличие свинцово-мышьяковых и олово-свинцовых лигатур в синташтинском металле, преимущественно, в украшениях (Дегтярева, 2010, с. 83, 87, 133).

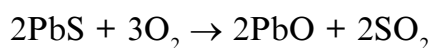
В принципе, как показали наши экспериментальные работы (см. соответствующий раздел), получить металлический свинец из свинцовой руды особого труда не составляет, но остается существенный вопрос — с какой целью это делать? Свинец в древности использовался редко, иногда для весовых гирек или лигатуры к меди, в стремлении получить жидкотекучий металл; и только с античного времени начинается его широкое применение. А подобные изделия и лигатуры в синташтинской культуре единичны.

Единичность этих находок на фоне огромного размаха раскопок синташтинских памятников, как будто подчеркивает редкость свинца в эту эпоху. Причины присутствия этого металла на памятниках были не ясны, пока в наших руках не оказались анализы шлака, сделанные с помощью сканирующего электронного микроскопа. Этими анализами были выявлены два образца с поселений Аркаим (FG1788) и Синташта (FG1817), в которых был зафиксирован свинец, что подтверждает мнение К.В. Сальникова о местном его производстве. Эти шлаки ничем не отличались визуально от большинства синташтинских шлаков медной плавки, представляя собой шлаковые лепешки с закраинами, сформировавшиеся на металле.

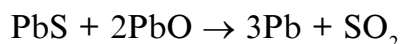
Были произведены качественные и количественные анализы образцов (таб. 5-4, 5-5, 5-6, рис. 5-IX.6, 5-X.1). В таблице качественных анализов отмечены те элементы, чье существенное присутствие было зафиксировано анализом. Этими анализами в шлаке были выявлены корольки чистого свинца, реже силикаты свинца со значительными примесями железа. В принципе, изредка металлический свинец, иногда с примесями железа, может присутствовать и в медной руде. Таковой выявлен, например, анализами образцов с рудника Таш-Казган и поселения Синташта (таб. 5-4). Поэтому мы вправе поставить вопрос о возможности получения небольшого количества свинца попутно, при плавке медной руды, что и объясняло бы редкость его находок на памятниках. Однако исследование корольков свинца не выявило в них примесей меди. Собственно медные корольки или включения медной руды в этих образцах тоже не были обнаружены. Кроме того, описанные включения в руде очень маленькие и могут дать лишь микропримеси металлу, но не позволят получить достаточное количество металлического свинца. Присутствие самородного свинца в руде лишь указывает на возможное наличие небольшой свинцовой минерализации на рудниках, эксплуатируемых на медь. Соответствующие минералы иногда могли использоваться для плавки с целью получения свинца, хотя их могли получать и на иных месторождениях. Более сложно сказать какие это были минералы, поскольку их остатки в шлаке выявлены не были.

Нет определенности и с технологией плавки. Присутствие в исследованных образцах вюстита указывает на восстановительную атмосферу плавки. Причем, эта атмосфера была, возможно, более восстановительной, чем атмосфера плавок медных руд в синташтинской металлургии, поскольку вюстит для шлаков медной плавки был менее типичен, чем магнетит.

Основным сырьем для получения свинца является галенит (PbS). Плавка его описывается двумя последовательными химическими процессами. Первый — обжиг руды в условиях окислительной атмосферы:



Второй процесс — получение металлического свинца в условиях восстановительной атмосферы:



В принципе, если почти весь галенит перешел в оксид, то возможно восстановление металла с помощью древесного угля. Присутствие в шлаке металлического свинца и его оксидов указывает на оба этих процесса, причем, второй завершен не был.

Можно предполагать и довольно высокие температуры плавки, поскольку анализ расплава кварца выявил состав, отличающийся высокой тугоплавкостью (таб. 5-4, ан. FG1817-1, таб. 5-6, ан. FG1817-a), так как на снижение вязкости влияют окислы кальция, магния, железа, марганца, титана и сульфиды, а на увеличение кремнезем и глинозем (Bachmann u.a., 1987). В исследованной пробе сумма $\text{Fe} + \text{Ca} + \text{K} + \text{Ti}$ составляет всего 12,55%, а сумма $\text{Si} + \text{Al}$, работающая на увеличение вязкости, 49,25% (весовые проценты). Довольно проблематично рассчитать, при какой температуре должен плавиться подобный состав. В лабораторных условиях данное вещество будет плавиться при температуре около 1600 °С. В печах, при температуре 1400 °С, вязкость этого вещества будет около 19—20 Pa·s. Но в условиях шлаковых реакций, в особенности при наличии расплава свинца и его оксидов, температура плавления будет заметно ниже. Однако, в любом случае, речь идет о достаточно высоких температурах, в которых нет необходимости при получении свинца, поскольку он плавится при температуре 327,4 °С, а кипит при температуре 1750 °С. Оксид свинца плавится при температуре 890 °С, а кипит при 1470 °С. Однако уже при температурах свыше 750 °С PbS (галенит) и PbO начинают улетучиваться (Циммерман, Гюнтер, 1982, с. 354, 360, 876). Температура же плавления самого галенита составляет 1115 °С (Дир и др., 1966, с. 205).

Таким образом, химический состав описанного расплава фиксирует бессмысленно высокие температуры, которые приводили к испарению вещества. Исследование шлаков античного времени острова Тасос, расположенного у побережья Греции, оставшихся после плавки свинцовых руд, позволило предполагать значительно более низкие температуры. По данным дифференциального термического анализа (ДТА) шлаки с Тасоса расплавляются в промежутке 820—960 °С. В целом же, температуры держались в пределах 1100 °С (Hauptmann u. a., 1988, S. 106).

По этой причине, не исключено, что в данном случае имел место иной процесс — получение серебра. Сырьем для этого в древности и в настоящее время служит галенит, обогащенный серебром, поскольку свинец и серебро — связанные между собой металлы. В древности в Анатолии серебро добывали, обжигая галенит до оксида свинца, а затем расплавляли полученный продукт в чаше, чтобы отделить серебро от оксидов свинца. Например, на анатолийском поселении Начи Небе Тепе, в доурукском слое, руда (галенит) содержала до 43% свинца (Yener et al., 1994, p. 380; Yener, 2000, p. 28).

В последнее время появились надежные аналитические данные, позволяющие реконструировать данный процесс. При раскопках энеолитического поселения Фатмали-Келечик, датируемого IV тыс. до н. э., и расположенного в Юго-восточной Анатолии в районе Кебана, было найдено 50 г. шлака и 200 г. окиси свинца в слитках. Шлак этот похож на синташтинский, но небольшого размера. Это лепешки, сформированные на металле. Кусочки окиси свинца имели диаметр 1,5—5 см (Hess et al., 1998, p. 59—62). Основные включения в шлаке SiO_2 , FeO , PbO . Количество серебра незначительно — 0,08—0,17%. Это близко шлаку РБВ из Сифноса, в то время как на Арслантепе серебра в шлаке было только 0,01%. Количество серы очень мало, поэтому использовалась, скорее, окисленная руда. На это же указывают низкие концентрации цинка, который

свинцу обычно сопутствует, но не характерен для верхних зон месторождений. Шлак такого состава плавится при температуре 800 °С, то есть значительно ниже, чем медный шлак. Вместе с тем, кристаллизация хеденбергита (Са-Fe-клинопироксен) указывает, что шлак застыл при температуре 1100 °С. Это, впрочем, вовсе не означает, что не были достигнуты более высокие температуры. Таким образом, шлак этот близок тому, что мы наблюдаем для синташтинских памятников.

В проанализированных с Фатмали-Келечик слитках окись свинца (PbO) содержится в количестве 63—70%. Но большинство ее трансформировалось в карбонат церуссит (PbCO₃) и гидроцеруссит, что и привело к выявленному анализом меньшему содержанию, чем 100%. В верхней части слитков зафиксированы мелкие включения серебра. Но в целом его содержание колеблется в пределах 0,01—0,2%. Следовательно, окисление свинца и отделение серебра в результате вторичной переплавки произошло почти полностью (Hess et al., 1998, p. 63; Pernicka et al., 1998, p. 128).

Хесс и соавторы полагают, что галенита в плавке было мало. Более вероятно использование церуссита или ярозита в рудонесущей породе из оксидов железа, кремнезема и свинцовых арсенатов (Hess et al., 1998, p. 64). Перница с соавторами считают, что в настоящее время серьезных аналитических данных для суждений об исходной руде нет, так как при плавке галенита и церуссита применялись идентичные приемы и происходили сходные процессы. Однако присутствие в некоторых слитках оксида свинца таких элементов как мышьяк и сурьма, не характерных для галенита, указывает, скорее, на минералы из группы вторичных сульфидов (Pernicka et al., 1998, p. 123, 128).

Кроме того, свинец легко реагирует с кварцем, формируя силикаты. Если кварца много, то они могут сформироваться и остановить процесс, так как потребуется более высокая температура и восстановительная атмосфера. Нежелательна и сера, приводящая к формированию штейна, из которого свинец трудно извлечь (Kassianidou, 2003, p. 198, 199).

Наше исследование шлаков тоже не позволило делать каких-то определенных выводов об исходной руде для этого процесса. Присутствие силикатов в этом шлаке подтверждает положение, приведенное выше. Но мне кажется, что обсуждаемые выше анализы позволяют предполагать использование различных минералов на различных территориях. Для синташтинской культуры можно все же допускать плавку галенита, поскольку присутствие вюстита указывает на восстановительную атмосферу при очень высоких температурах. Их достижение требовало интенсивного дутья, которое в случае плавки церуссита привело бы к созданию окислительной атмосферы. Не исключено, что достижению высоких температур способствовала и экзотермическая реакция выгорания серы из галенита. В ходе этой реакции происходило связывание кислорода с серой и удаление ее из печи, и это препятствовало формированию штейна. Но процесс, кажется, был не совсем классический.

В современной археометаллургии он видится следующим образом. Свинцосодержащие минералы (галенит или церуссит) плавят в условиях слегка восстановительной атмосферы с получением шлака и сплава свинца с серебром. Затем полученный слиток свинца подвергают вторичной плавке в условиях окислительной атмосферы, получая оксид свинца и серебро. Этот процесс получил название купеляция. В ходе его часть оксида свинца испарялась и впитывалась стенками печи. Помимо Юго-восточной Анатолии и Северной Сирии (Фатмали-Келечик, Арслантепе, Хабуба Кабира), подобная технология зафиксирована и для древней Иберии, начиная с СБВ, а также в Эгее на острове Сифнос с первой половины III тыс. до н. э., и являлась единственно возможной (Hess et al., 1998, p. 65; Pernicka et al., 1998, p. 123; Kassianidou, 1988; Hunt Ortiz, 2003, p. 345, 346; Wagner et al., 1980, p. 77).

Исследованные нами шлаки относятся к первой стадии данной технологии. Однако высокие температуры этого процесса у синташтинских металлургов позволяют допу-

сказать, что они уже на этой стадии стремились выпарить оксиды свинца, что характеризует, в целом, вторую стадию данного процесса. Температура плавления серебра составляет 960,8 °С, а кипения 2212 °С, что намного превышает температуру кипения свинца и его оксида. Свинец был при этом лишь попутной продукцией, которую использовали в редких случаях. Этим, а также его физическими характеристиками, и объясняется единичность изделий, обнаруженных на синташтинских поселениях. Украшения же из серебра, напротив, хорошо известны на синташтинских и абашевских памятниках. В частности, наконечники украшений из серебра были выявлены в могильнике Синташта (Генинг и др., 1992, с. 324). Собственно, детали этих двух наборов и повышают долю серебра в синташтинском металлокомплексе. Серебряная подвеска с существенной медной примесью обнаружена в кургане 25 Большекараганского могильника (Бушмакин, 2002, с. 138). Из абашевских памятников происходит серия серебряных украшений (Черных, 1970, табл. 5). Но, с учетом незначительного веса этих изделий, доля серебра в объеме синташтинского металла весьма незначительна.

Первое серебро в Анатолии появляется в IV тыс. до н. э. Первоначально его получали, возможно, в самородном виде или из хлорида серебра (Yener, 1983, p. 8). Но эта ситуация довольно быстро меняется, так как самородное серебро и серебряная руда крайне редки. Но серебро присутствует также в медных блеклых рудах и в рудах свинца (Kassianidou, 2003, p. 198). Получение серебра из свинцовой руды методом купеляции и из серебряной руды отмечено на анатолийском поселении Арслантепе VI в позднем энеолите, где обнаружены свинец и серебро, причем, последнее может быть чистым или иметь примесь свинца (Yener, 2000, p. 54). Впрочем, и из свинцовой руды могли получать достаточно чистое серебро. Но, вероятно, переход на метод купеляции произошел именно в это время.

Нам уже приходилось писать, что появление свинцовых изделий на синташтинских памятниках связано с ближневосточной металлургией (Григорьев, 2000, с. 509). Остается не до конца ясным, с какого времени начинается металлургия свинца в ближневосточном регионе, поскольку бусы из Чаттал Уйюка и браслет из Ярым Тепе I (Müller-Karpe, 1990, S. 107) сделаны, возможно, из галенита (Muhly, 1987). Относительно бус это более вероятно, а относительно браслета уверенности нет, так как определение проводилось с помощью спектрального анализа. Но уже в энеолите и ранней бронзе известны собственно свинцовые изделия и использование свинца в качестве лигатуры к меди. Знаменитая фигурка льва из Урука периода Джемдет Наср содержит 9% свинца. Подобный сплав часто употреблялся в IV—III тыс. до н. э. (Müller-Karpe, 1990, p. 109). Повышенное содержание свинца присутствует в медных изделиях из Кушуры В и Трои II в Анатолии (Yener et al., 1994, p. 378). В отдельных случаях легированность свинцом была очень высока. В комплексе РБВ2 анатолийского могильника Хасек Хейюк одна цилиндрическая печать содержала 27,5% свинца (Schmitt-Strecker et al., 1991). В месопотамских источниках свинец часто упоминается в качестве лигатур (Riederer, 1991, p. 88). Вместе с тем, на Ближнем Востоке достаточно рано известны и свинцовые изделия. Три свинцовых изделия найдено в уже упомянутом выше могильнике Хасек Хейюк (Schmitt-Strecker et al., 1991).

Примечательно, что наиболее древние серебряные изделия известны на памятниках этого региона тоже с энеолита, что указывает на технологическую связь этих металлов. Они всегда сопутствуют распространению свинца. Стоит обратить внимание и на то, что слитки оксида свинца и шлаки, указывающие на обсуждаемый здесь технологический процесс, тоже датируются с IV тыс. до н. э. (Pernicka et al., 1998, p. 123; Hess et al., 1998, p. 59). Однако металлургия свинца занимает, в любом случае, более раннюю хронологическую позицию, чем получение серебра, что вполне естественно на фоне извлечения последнего из свинцовых руд.

В Турции месторождения серебра достаточно велики, особенно в свинцовых рудах.

Одним из районов в Анатолии, где есть месторождения свинца, является район Кебана и Центрального Тавра в Юго-Восточной Анатолии, где сделано также значительное число находок серебряных изделий ((Yener, 1983, p. 2; Yener et al., 1994, p. 380). Примечательно, что в Месопотамию Старовавилонского периода свинец и серебро доставлялись, по-видимому, из районов Тавра (Reiter, 1999, p. 168).

Вероятно, исследования серебра синташтинско-абашевского времени позволят показать его происхождение в результате описанного технологического процесса. Индикатором этого будут выступать примеси свинца. Однако они могут быть очень незначительны. Во включениях серебра в слитках оксида свинца, полученных в результате вторичной переплавки (купеляции), микроанализы показывают примеси свинца 4—8% (Hess et al., 1998, p. 64). Однако в серебре, получаемом таким образом, примесей свинца обычно значительно меньше. Как правило, такое серебро содержит несколько десятых процента свинца. Это характеризует почти все проанализированные серебряные предметы на Ближнем Востоке, за редким исключением. Это позволяет считать, что почти все серебро получали именно так. Кроме того, оксиды свинца легко испаряются и обычно присутствуют в обмазке печей или в стенках использованного для этого тигля, что может тоже являться диагностическим признаком. При плавке могли использовать сосуд или ямку в земле. Очаг могли обмазать глиной — чтобы впитывала свинцовые испарения (Pernicka et al., 1998, p. 124, 125). Наконец, на этот процесс может указать и анализ свинцовых изделий. При неполном удалении серебра, в свинце его может оставаться около 0,1%. Содержание серебра ниже 0,07% может свидетельствовать в пользу эксплуатации довольно чистых свинцовых руд. Более высокое количество — 0,4—0,6%, указывает, как правило, на слабую квалификацию, проблемы с топливом и т.д. (Reher, Prange, 1998, p. 189).

Таким образом, находки свинца и шлаков, содержащих свинец, свидетельствуют, в первую очередь, о добыче серебра. Об этом свидетельствует и редкое обнаружение свинцовых изделий по сравнению с серебряными. Кроме того, вплоть до эллинистического времени нет данных о том, что после извлечения серебра оксид свинца восстанавливали в свинец. А его продукция при несопоставимо большем содержании в исходной руде могла быть очень велика. Какое-то количество свинца могли получать попутно, и изредка использовать в мышьяково-свинцовых и олово-свинцовых сплавах.

Исходная руда могла содержать не так много серебра. Исследования показывают, что в РБВ использовали руды, начиная с 0,5% содержания серебра, в римское время — уже с 0,1%. Отдельные свинцовые изделия могут быть результатом случайного восстановления из оксида при получении серебра или проверочных плавок свинцовой руды (Pernicka et al., 1998, p. 128). Вся эта картина, в целом, соответствует той, которую мы наблюдаем в синташтинско-абашевское время, где, помимо единичных сплавов со свинцом известны серебряные изделия и биллоны (сплав меди с серебром). Это подкрепляется и данными Е.Н. Черных. В его исследовании волго-уральского металла на 12 серебряных предметов приходится лишь один из свинца (Черных, 1970, таб. 5). Помимо абашевских, серебряные изделия встречены в сейминско-турбинских памятниках, в которых известны также медно-серебряные сплавы (Черных, Кузьминых, таб. 10). Поэтому не исключено, что предложенная здесь концепция может быть распространена и на эту группу памятников Северной Евразии, тем более, что на Ближнем Востоке биллоны известны (Hauptmann, Palmieri, 2000, p. 77).

Судя по редкости находок, объемы плавок этой руды на Урале, как и объемы получаемого серебра, были незначительны. Но, помимо Анатолии, где серебро было необходимо для обслуживания месопотамской торговли, эти объемы были незначительны везде. Ситуация резко изменилась лишь в античности. Плавка галенита и использование метода купеляции для получения серебра зафиксированы в финикийских колониях в Испании (Kassianidou, 2003, p. 204; Hunt Ortiz, 2003, p. 358). Но самым знаменитым древним производством серебра являются, конечно, афинские рудники в Лаврионе. Бла-

годаря огромным печам, плавки на серебро там были очень экономичные, в шлаках содержится мало свинца, и этот свинец содержит меньше серебра, чем обычно. Это производство было технологически совершенным. В огромной печи руду обжигали и окисляли. Отдельно сооружался небольшой очаг для купеляции, куда затем помещали свинцовый окисел и получали серебро (Tylecote, 1987, p. 138).

Медь с примесью никеля

Анализ металла городища Аркаим специалистами Института минералогии УрО РАН позволил обнаружить изделие из никелевой бронзы с содержанием никеля 1,1% (Зайков и др., 1999, с. 194, 195). Как показали наши исследования синташтинского металла, примесь никеля в меди не является чем-то уникальным. Было выявлено 16 изделий, в которых концентрации никеля укладываются в диапазон 0,3—1,16% (таб. 5-48). Как правило, эти изделия характеризуются и повышенными концентрациями мышьяка¹.

Установленная выше для шлаков связь никеля с мышьяком, обусловленная легирующими компонентами, заставляет именно в этом видеть причину присутствия подобной меди. Поскольку тот же способ легирования имел место в Передней Азии, правомерно искать там и аналоги подобным примесям в металле. В Восточной Европе подобный металл известен только в одной группе майкопского металла РБВ Северного Кавказа, и Е. Н. Черных предположил его происхождение из районов к югу от Кавказа (Черных, 1966, с. 49, 50), а В. А. Галибин предложил рассматривать как результат легирования меди мышьяково-никелевым минералом никелином (NiAs) (Галибин, 1991, с. 60, 61). Существуют и возражения против этой точки зрения и предложения рассматривать эти мышьяковые бронзы с примесью на Кавказе как результат плавки блеклых руд, в которых может содержаться и никель (Егорьков, 2002). Но какими-либо аналитическими данными это предположение не подкрепляется. Более того, хотя в майкопском металле, содержащем повышенные концентрации никеля, содержание сурьмы действительно несколько выше, оно все же слишком незначительно для того, чтобы говорить об использовании блеклых руд (см. Черных, 1966, рис. 12, 13).

Изделия с повышенным содержанием никеля действительно часто встречаются на Ближнем Востоке. Наиболее известна в этом плане коллекция медных изделий из слоя Амур F содержавших от 0,39 до 2,73%, а в исключительных случаях до 10% никеля. Повышенное содержание никеля зафиксировали исследования металла таких анатолийских памятников, как Хассек Хёйюк, Тарсус и Тепечик. А на Икизтепе в одном украшении присутствовало даже 22,7%. Помимо Анатолии, подобные изделия присутствуют в знаменитых израильских кладах Кфар Монаш и Нахал Мишмар, в Сузе, Хабубе, Египте, Луристане и Мохенджо Даро (Tylecote, 1981, p. 45, 50; Yener et al., 1994, p. 378; Schmitt-Strecker et al., 1991; Riederer J., 1991, p. 89). В Месопотамии и Иране в половине мышьяковых бронз наблюдается повышенное содержание никеля (Авилова, 2008, с. 86, 87, 124).

Столь широкая распространенность металла, обогащенного этим элементом, заставляло искать источники подобной меди, поскольку в Турции и на Кипре таких месторождений нет. Ранее считалось, что повышенные концентрации никеля являются надежным признаком происхождения меди из Омана (Tylecote, 1981, p. 45). Поскольку месторождения в Омани связаны с офиолитами, то предполагалось, что та же примесь может быть и в офиолитах и ультрабазитах Анатолии, и это естественная примесь (Hauptman, Palmieri, 2000, p. 80). Однако последние исследования показали, что в Омани подобные руды тоже отсутствуют (Müller-Karpe, 1990, p. 107, 108). Тем

¹ Близкий результат получен А. Д. Дегтяревой (2010, с. 87), которая установила, что около 20% изделий имели концентрации никеля от 0,2 до 0,96%, и они сопровождалась повышенными концентрациями мышьяка.

не менее, в Анатолии, где медь с мышьяком и никелем встречается с конца энеолита, но типична, все же, уже для эпохи бронзы, действительно выявлены месторождения в офиолитах и серпентинитах, обогащенные этими элементами, в частности, знаменитое крупное месторождение Эргани Маден (Yalcin Ü., Yalcin H., 2009, p. 130—133).

Предположить легирование никелем в металл при столь ураганных концентрациях в единичных случаях тоже невозможно. Поэтому источник этой меди не ясен. Но южное ее происхождение безусловно. Наиболее вероятным объяснением является (по аналогии с синташтинской ситуацией) легирование медной руды минералами, содержащими мышьяк и никель. Это подтверждается, в частности, тем, что в изделиях с анатолийского поселения Икизтепе распределение мышьяка и никеля бимодальное, часть изделий не показывает корреляции между этими элементами, а часть показывает. При этом в районе Галиса имеются древние шахты с мышьяковой минерализацией (Gülçur, 2002, p. 44—45).

Большое значение для решения этой проблемы имеют металлографические анализы и работы по майкопскому металлу. В этих работах было показано следующее. Получение заметных примесей никеля из комплексных блеклых руд маловероятно, поскольку они его не содержат в заметных количествах, но их плавка приводит к возгонке мышьяка. Месторождения с никелином известны в ареале майкопской культуры, причем, эти месторождения содержат также примеси оксида урана, а следы урана присутствуют в майкопских бронзах. Плавка никелина с малахитом позволяет получать мышьяковые бронзы соответствующего состава и с идентичными включениями. Благодаря прочному соединению мышьяка с никелем возгонка его не происходит, что и было главным фактором в выборе именно этого минерала для легирования: «Итоги экспериментов показали, что плавка малахита или меди с никелином позволяет при нагреве до 1100—1200 °С получить высококачественные бронзы без шлаков и дефектов, а главное, без потерь мышьяка. Как известно, при нагреве двойных медно-мышьяковых сплавов идет активное улетучивание мышьяка, а вернее, его окислов (As_2O_3), которое дает о себе знать уже при температуре 457 °С» (Рындина и др., 2008; Рындина, Равич, 2012, с. 5—9).

Важные результаты были получены и при изучении физических свойств мышьяково-никелевых бронз. Различий в твердости этих сплавов, по сравнению с мышьяковыми бронзами, не наблюдается. Но наличие никеля вносило коррективы в технологиюковки. Для повышения пластичности были необходимы отжиги в узком диапазоне температур 600—750 °С. При более высоких температурах происходит упрочнение сплава, замедление рекристаллизации и образование трещин. При температурах от 400 до 600 °С удается достичь максимальной твердости изделия. В случае высоких содержаний мышьяка повышать пластичность отжигами не удается. Поэтому в этих бронзах не бывает слишком высоких концентраций мышьяка.

Учитывая это исследование, становится понятным сравнительно невысокое содержание мышьяка в синташтинской меди. Интересно то, что выбранный метод легирования диктовался стремлением избежать возгонки мышьяка, но он же требовал и особого характера кузнечных операций, избегающих слишком высоких температур.

Не исключено, что подобное легирование иногда имело место и в более позднее время. Анализы шлака и слитков металла с поселения Клингльберг в районе Миттерберга в Австрии показали, что в сульфидах меди, содержащихся в шлаке, присутствует мало мышьяка и никеля, а в слитках они представлены, причем никеля может быть достаточно много (до 5%). Из этого делает вывод о том, что никель — не рудная примесь, а результат легирования (Moesta, 1995a, p. 331). Но легирование никелем вряд ли допустимо. Не исключен, в данном случае, вариант легирования мышьяково-никелевым минералом, как это имело место в синташтинской культуре, хотя смысл этого легирования на фоне распространения в СБВ Европы (по времени это позже синташтинской культуры) легирования оловом не вполне понятен.

Глава 6. Технология синташтинской металлообработки

Технология синташтинской металлообработки

Важным для понимания характера синташтинской металлургии является осуществленное металлографическое исследование. Этот анализ позволил сделать ряд выводов. Синташтинцы целенаправленно подбирали шихту для получения низколегированных медно-мышьяковых изделий, поскольку в технологии металлообработки доминировали послелитейные кузнечные операции, а сплавы с высоким содержанием мышьяка, более 3—5%, непригодны для кузнечной обработки, так как в них трудно добиться гомогенизации (Дегтярева, 2010, с. 17, 87).

Литье с небольшой кузнечной доработкой встречается редко, для изготовления стрел и гвоздиков. При этом сложное литье не было освоено. Крупные орудия (тесла, серпы, ножи) отливались в односторонние, реже двусторонние (топоры, часть ножей) литейные формы с последующим проковыванием. Все прочие орудия (долота, шилья, крючки, иглы) изготавливались из полуфабрикатов кузнечной ковкой. Для изготовления копий отливалась треугольная заготовка, из которой потом ковкой формовалось изделие. Украшения получали иногда литьем, но чаще формообразующей ковкой на фигурных наковальнях (Дегтярева, 2010, с. 121, 123, 134, 138). Иногда, когда в металле присутствовало олово, проявляется несоответствие кузнечной технологии составу металла, что вызывало быстрый наклеп металла или трещины красноломкости. Соответственно, олово было явно не слишком знакомой лигатурой для синташтинских мастеров (Дегтярева, 2010, с. 133).

При кузнечной обработке существовало два температурных режимаковки — низкотемпературный (400—500 °С) и для трети изделий — более высокотемпературный (600—700 °С), реже использовалась холоднаяковка, порой с промежуточными отжигами. Предполагается, что низкие температурыковки были обусловлены стремлением избежатьвозгонки мышьяка (Дегтярева, 2010, с. 121, 138). Однако, вкинжалах анатолийского поселения Икизтепе влезвиях среднее содержание мышьяка 4,27%, а в рукоятях, которые не проковывались — 4,21%, то есть приковке совершенно незначительная часть мышьяка улетучивалась (Gülçür, 2002, р. 45). Поэтому причина была, вероятно, иная. Судя по одной категории изделий (ножи), выбор того или иного температурного режима не зависел от концентраций мышьяка или никеля (см. Дегтярева, 2010, таб. 10). Кроме того, обсуждая анализ майкопских мышьяково-никелевых бронз, мы говорили, что при более высоких температурах повышается трещиноватость изделий (Рындина и др., 2008). Поэтому в данном случае выбранные температурные режимыковки и предпочтение кузнечных операций были вполне адекватны сырью, что проявилось в отсутствии кузнечных дефектов.

В противоположность этому, ямная металлургия Приуралья была основана на обработке чистой окисленной меди при высоких температурах (Дегтярева, 2010, с. 58). Майкопские традиции кузнечной обработкиРБВ, которые мы выше обсуждали, оказываются даже ближе синташтинским, хотя отделены значительным временным промежутком. Вероятно, это объясняется присутствием в обоих случаях примесей никеля в мышьяковых бронзах, что вынуждало выбирать сходные температурные режимы. К сожалению, с югом ЦМП мы сравнить ничего не можем, поскольку там подробные металлографические исследования отсутствуют.

Только исходя из общих археологических соображений можно сказать, что сходные принципы металлообработки существовали в СБВ на Северном Кавказе и юге Восточной Европы (Кореневский, 1983, с. 99, 100). Но на анатолийских поселениях применялись близкие литейные технологии. Как правило, простые изделия (бруски, ножи,

тесла, простые копья) отливались в одностворчатые литейные формы. Топоры и некоторые украшения отливались в закрытые двустворчатые формы (Müller-Karpe A., 1994, S. 140, 143—146). То есть, можно говорить о корнях синташтинской металлообработки в среднебронзовых комплексах ЦМП, а в рамках РБВ прослеживаются черты сходства в майкопской металлообработке.

Типы изделий синташтинской культуры

Как уже отмечалось, синташтинская культура выделяется обилием металла, которое демонстрируют, прежде всего, ее погребальные памятники. Количество этого металла растет с каждым годом, далеко не все изделия опубликованы, поэтому здесь приводится далеко не полная выборка имеющихся изделий, но она достаточна для того, чтобы дать представление о характере синташтинской металлообработки. В приводимых таблицах рисунки этих изделий даются по публикациям, отраженным в нижеприведенном тексте. Помимо синташтинских изделий приводятся некоторые абашевские, проанализированные в Горной Академии Фрайберга. Этот анализ нам необходим, в первую очередь для того, чтобы показать общий характер синташтинской металлургии, связь технологии плавки руды с типами изделий и сырья. Он поэтому не претендует ни на то, чтобы рассматриваться как полная характеристика синташтинского металла, ни как попытка дать его полную и корректную типологию. За последними характеристиками следует обращаться к иным работам, в которых эти вопросы решены более детально. В частности, недавно опубликована монография А. Д. Дегтяревой (2010), в которой учтено 599 синташтинских изделий, а с учетом комплекса поселения Устье (где присутствует и петровский металл) — 750 изделий¹.

Топоры представлены двумя изделиями с массивным обухом, прямоугольным гребнем и узким удлиненным клином, обнаруженными в могильнике Синташта (Генинг и др., 1992, с. 122, 232; Пряхин, 1976, с. 131). Втулка топоров хорошо выражена, отверстие на втулке округлое с намечающейся овальностью, сечение клина линзовидное (рис. 6-1). Е.Н. Черных, в своей классификации топоров Урала и Поволжья выделял топоры с узким и массивным обухом (Черных, 1970, с. 58). Топоры с узким обухом характерны для абашевских памятников. По всей вероятности, они отражают дальнейшее развитие традиций металлообработки катакомбного времени Восточной Европы (Кореневский, 1983, с. 99). Топоры с массивным обухом происходят только с синташтинских памятников и генетически с абашевскими формами не связаны.

Ближние топоры, но без гребня, известны в КМК (Археология УССР, 1985, с. 456; Ковалева И., 1981, с. 27). Некоторые изделия КМК относятся к топорам «костромского» типа катакомбного времени (Кореневский, 1983, с. 97, 98), что рассматривается как указание на кавказское влияние и датировку второй четвертью II тысячелетия до н. э. в системе традиционной хронологии (Ковалева И., 1981, с. 27). Это соответствует датам синташтинской культуры. Эти топоры отличаются выделенной втулкой и изогнутостью клина. В силу синхронности этих изделий, у нас нет возможности связывать происхождение синташтинских топоров с металлообработкой КМК. Мной предполагалось

¹ На сегодняшний день предпочтительней пользоваться именно этой типологией, хотя и в ней существуют определенные изъяны. Но она сделана на достаточно большом массиве материала, и увязана с металлографическими исследованиями. К сожалению, чаще встречается ситуация когда мы видим описание какого-то изделия, относимого одним исследователем к типу 1Б или 2.2 по классификации иного исследователя. Эта ситуация представляется мне бессмысленной, создающей лишь видимость исследовательской процедуры. Как уже говорилось, классификации должны осуществляться на большом массиве материала, охватывающем не только комплекс одного-двух памятников, а, как минимум, нескольких культур, то есть в рамках специализированных исследований по данному направлению. И они должны основываться на четко выработанных критериях и выверяться статистическими процедурами, как это делается, например, в работах Е. Н. Черных.

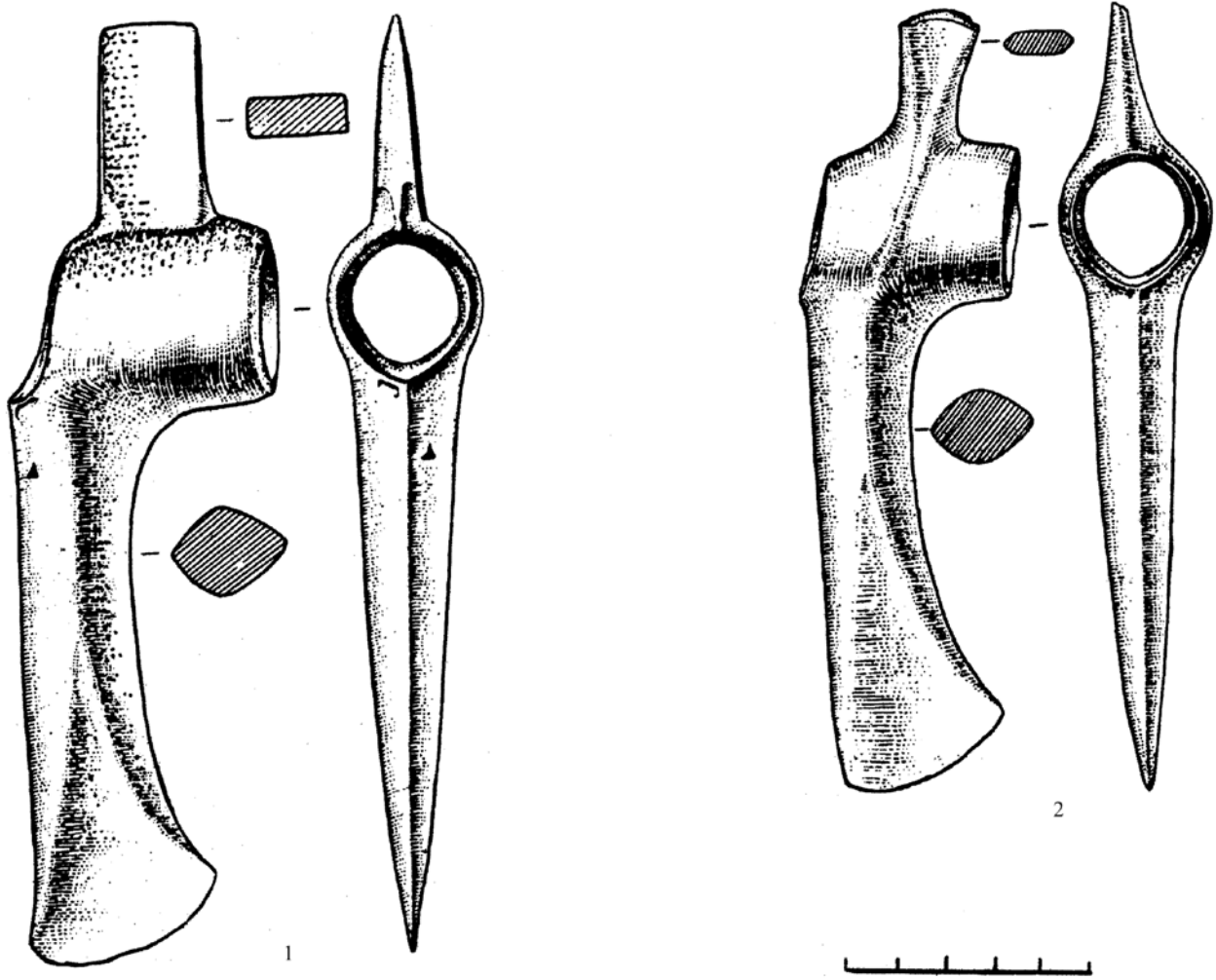


Рис. 6-1. Топоры. Синташта, СМ, 1 — погр. 39; 2 — погр. 3

кавказско-переднеазиатское происхождение этих изделий (Григорьев, 1999, с. 66, 70). В этой связи заслуживает внимания мнение С.С. Березанской о том, что топоры КМК имеют морфологические параллели на Кавказе (Березанская и др., 1986, с. 38). Поэтому не исключено, что южные импульсы оказали, в целом, воздействие на формирование металлообработки СБВ II Северной Евразии. Изделия таких известных кладов Восточной Европы, как Колонтаевский, Рыбаковский и Бериславский (Лесков, 1967, рис. 14) имеют параллели среди топоров с массивным обухом и коленчатым клином Закавказья (Сванетия) и Анатолии. В Восточной Грузии тоже известны топоры, близкие восточноевропейским (Pischelauri, 1997, Taf. 8, 85—87). Близкие параллели синташтинским топорам встречаются на Кавказе. На обухе одного из кавказских топоров имеется шаровидный гребень (Крупнов, 1951, с. 45).

В рамках синташтинской проблематики наибольший интерес для нас представляют топоры с массивным обухом. В первую очередь, необходимо обратить внимание на присутствие таких топоров в Анатолии. Втулка их, впрочем, круглая. Появляются они в конце РБВ, но существуют и в более позднее время (Stronach, 1957, p. 120, fig. 11.3). Форма для отливки топора с массивным обухом обнаружена на поселении Кюльтепе в Анатолии (Müller-Karpe A., 1994, Taf. 41). Топоры с массивным обухом известны и в Египте. Они отличаются от синташтинских, но речь идет в данном случае, лишь о строении обуха (Müller-Karpe, 1974, Taf. 161.4).

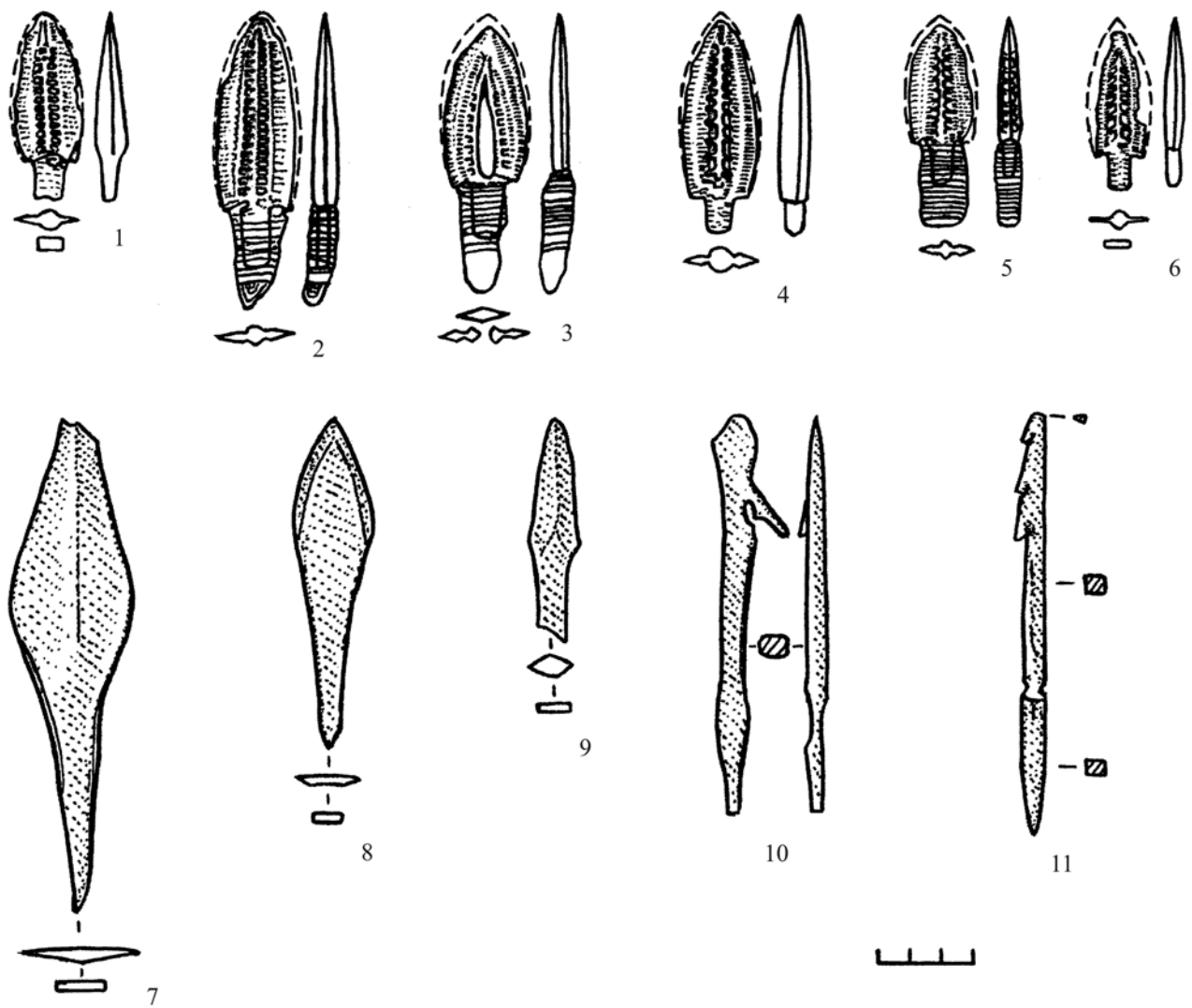


Рис. 6-2. Наконечники стрел, дротиков и гарпунов. 1 — 5 — Синташта, СII, погр. 7; 6 — Синташта, СII, погр. 1; 7 — Синташта, СМ, погр. 31; 8 — Синташта, СII; 9 — Синташта, СМ, погр. 16; 10 — Синташта, СМ, погр. 12; 11 — Большекараганский, к. 24, погр. 1

Наконечники стрел из металла обнаружены лишь в могильнике Синташта и одно изделие в Актюбинской области в могильнике Танаберген II (рис. 6-2.1—6) (Генинг и др., 1992, с. 302, 321; Ткачев, 2007, рис. 9.8). Они имеют короткий подпрямоугольный черешок и вытянутое листовидное перо. Вдоль стержня проходит «елочковидный» орнамент. В Восточной Европе параллелей они не имеют. Следует заметить, что в Северной Евразии в предшествующее время металлические наконечники стрел отсутствовали. Известны лишь один, обнаруженный в кургане возле Ливенцовской крепости в Нижнем Подонье (Рогудеев, 1997, рис. 1.5) и датированный, по-видимому, временем синташтинской культуры, а также два довольно простых двухлопастных черешковых наконечника среди материалов абашевской культуры (Пряхин, 1976, с. 152). Однако эти изделия синхронны Синташте. При этом следует отметить, что синташтинские наконечники отличаются проработанностью и стандартизованностью формы, что указывает на длительную эволюцию типа. Поэтому представляется более логичным искать корни этого типа на Ближнем Востоке, где черешковые двухлопастные наконечники известны, начиная с РБВ, а к началу II тыс. до н. э. они достаточно широко распространены и демонстрируют большую вариабельность форм. При этом все эти наконечники черешковые и двух-

лопастные (Археология Зарубежной Азии, рис. 17; Медведская, 1980; Горелик, 1993, таб. XLIII, 29—33, 43—45, 56—105; Müller-Karpe, 1974, Taf. 167). В литературе обращалось внимание на то, что эти наконечники, в отличие от синташтинских не орнаментированы и предлагалась связь синташтинских наконечников с сейминско-турбинской металлургией на основании орнаментации копий (в целом, иной орнаментации), оформления ребра жесткости и проковки пера (Ткачев, 2007, с. 287). Однако эти сейминские параллели не могут быть отнесены к разряду типологических соответствий. Не менее сомнительным является вопрос о возможности влияния сейминской металлообработки на формирование синташтинского комплекса металла.

Из могильника Синташта происходит три *наконечника дротики* (Генинг и др., 1992, рис. 105, 175). Они имеют ромбическое перо и вытянутый приостренный черешок (рис. 6-2.7—9).

Известны три находки *бронзовых гарпунов* (рис. 6-2.10, 11): два на могильнике Синташта и один на Большекараганском (Генинг и др., 1992, рис. 79; Боталов и др., 1996). В Северной Евразии подобных находок больше нет. Аналоги им встречаются на юге. Бронзовый гарпун, например, обнаружен в Египте, Тэлль эд Дабья (Müller-Karpe, 1974, Taf. 161.9), хотя эта параллель не безупречна с типологических позиций.

Наконечники копий с относительно короткой разомкнутой втулкой и вытянутым листовидным пером обнаружены на синташтинских и потаповских памятниках (Синташта, Большекараганский, Каменный Амбар, Танаберген II, Жаман-Каргала I) (Генинг и др., 1992, с. 176, 212, 320; Костюков и др., 1995, с. 197; Боталов и др., 1996, рис. 17,2; Ткачев, 2007, рис. 9.1, 23.3) (рис. 6-3.1—4, 7). Кроме того, копия этого типа найдены в сейминско-турбинских могильниках Ростовке, Сейме, Усть-Гайве и раннесрубном Покровском могильнике. Все они выплавлены из мышьяковой бронзы и отражают не сейминские, а синташтинские традиции металлообработки (Черных, Кузьминых, 1989, с. 65, 66). Абашевские копья, в отличие от них, имеют удлиненную втулку и короткое перо, хотя встречаются экземпляры и с укороченной втулкой (Пряхин, 1976, с. 135—137). Сопоставимые с абашевскими изделия происходят с ямных и балановских памятников (Моргунова, Кравцов, 1994, с. 79; Орловская, 1994, с. 112). Поэтому наиболее вероятно, что, как и в случае с топорами, абашевские наконечники копий продолжают традиции восточноевропейской металлообработки. Тем не менее, конструирование генетического ряда наконечников копий от балановских к абашевским, верхнекизильским и синташтинским (Ткачев, 2007, с. 281, 282) более, чем сомнительно. Единственным объединяющим признаком здесь выступает разомкнутая втулка, что является отражением общего уровня технологии металлообработки на огромной территории. Если не акцентировать внимание именно на этой детали, то сопоставлять балановские копья с верхнекизильскими и последние с синташтинскими невозможно. Прекрасно понимая это, В.В. Ткачев вводит в действие «сейминский» фактор, благодаря которому происходит специфическое оформление пера синташтинских наконечников.

Аналогии синташтинскому типу копий находятся на Кавказе и в Анатолии, хотя строение пера копий этого региона не всегда точно соответствует синташтинским. Чаще они более узкие, однако, некоторые изделия отличаются близким строением пера (Авилова, Черных, 1989, с. 504; Черных, 1966, с. 104; Джапаридзе, 1994, табл. 25; Техов, 1977, с. 34; Erkanal, 1977, Taf. 15, 16; Picchelaury, 1997, с. 24, Taf. 70—73; Müller-Karpe, 1974, Taf. 297.43, 45).

Очень своеобразной находкой являются два *штыковидных орудия* с четырехгранным наконечником и крюковидным окончанием черешка (рис. 6-3.5, 6), обнаруженные в Потаповском могильнике, в кургане 3. На территории Северной Евразии подобные орудия неизвестны. В одной могильной яме с ними находились ножи, типичные для металлообработки полтавкинской культуры. Все эти изделия мышьяком не легированы,

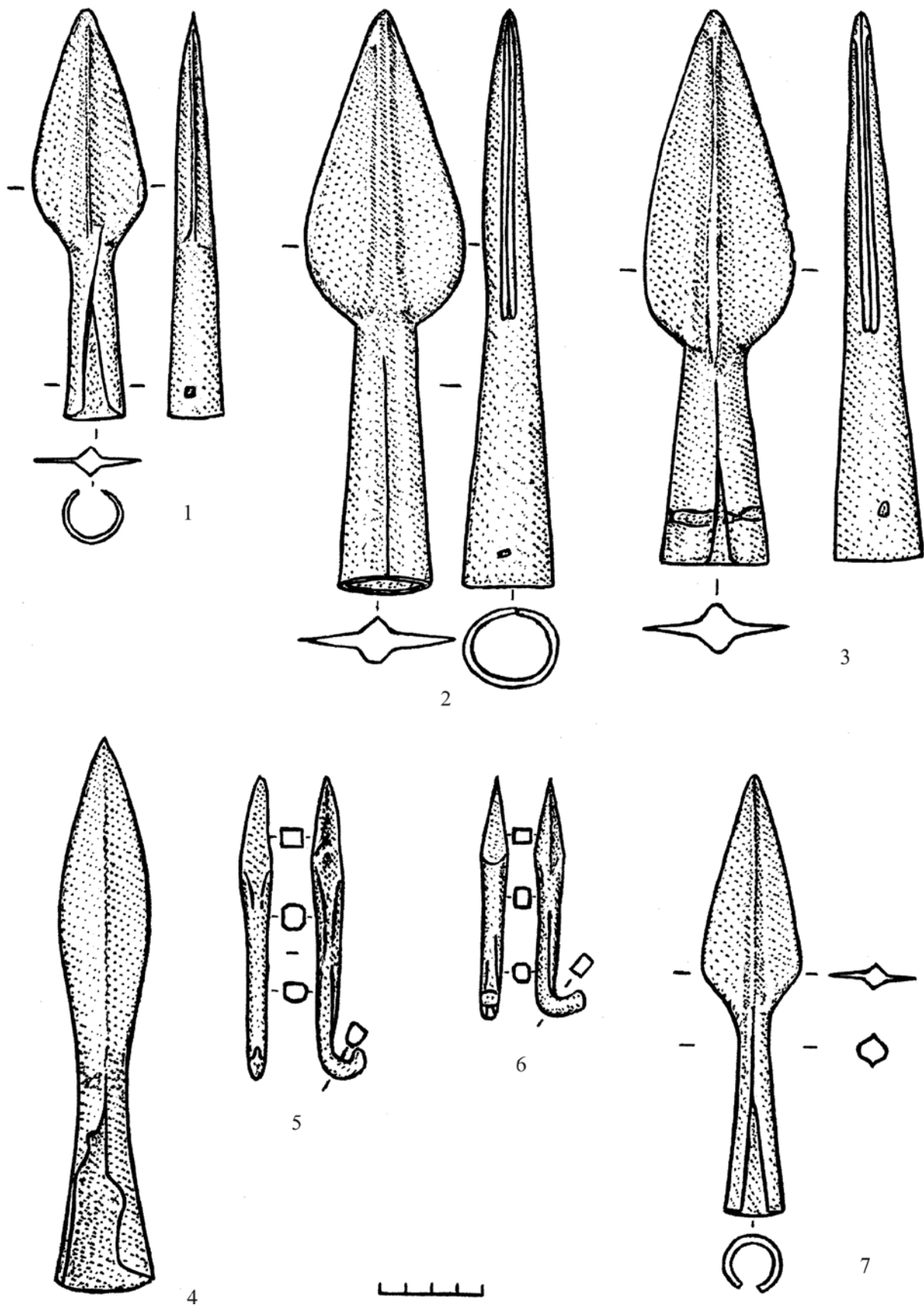


Рис. 6-3. Наконечники копий. 1 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5; 2 — Синташта, СМ, погр. 18; 3 — Синташта, СМ, погр. 30; 4 — Синташта, СП, погр. 7; 5, 6 — Потаповка, к. 3, погр. 5; 7 — Большекараганский, к. 24, погр. 1

что тоже вписывается в параметры полтавкинской металлургии (Агапов, Кузьминых, 1994). Вместе с тем, под тем же курганом обнаружен комплекс, содержащий типичные синташтинские вещи. Следует заметить, что, по мнению авторов раскопок, полтавкинский и синташтинский комплексы могильника синхронны и отражают контакт этих популяций (Васильев и др., 1994). В принципе, с частичной синхронизацией полтавкинской и синташтинской культур следует согласиться, однако надо заметить, что материалы Полтавкинского могильника дают для этого мало оснований. Более того, они могут содержать разновременные комплексы, на что уже указывалось в литературе (Отрощенко, 1999, Григорьев, 1999, с. 48—50). Поэтому вопрос о хронологической позиции двух описываемых изделий остается открытым. Крюковидные завершения черешков копий были типичны для Ближнего Востока (Авилова, 2008, рис. 23, 28, 31), среди них часто встречается узкое массивное перо, но более точные аналоги этим изделиям мне не известны.

Топоры-тесла, обнаруженные на синташтинских памятниках, как правило, прямые, в большинстве случаев со слегка раскованной рабочей частью и часто с небольшим расширением пятки. Боковые грани орудий чаще слегка сужаются к верхней части. Многие изделия имеют дугообразное окончание верхней части (Генинг и др., 1992, с. 61, 232, 255, 265, 268, 272, 307, 320; Костюков и др., 1995, с. 196, 197; Боталов и др., 1996, рис. 2, 17, 18, Ткачев, 2007, с. 186; Дегтярева, Кузьминых, 2003, рис. 1.1) (рис. 6-4, 6-5). Эти изделия могли использоваться для обработки дерева. Некоторые из них сохранили остатки ременной оплетки рукояти. Однако часть этих изделий вполне могла использоваться в качестве боевых топоров, при условии крепления к ним перпендикулярной рукояти. Имеется также три экземпляра тесел вытянутой трапециевидной формы, сужающихся к пятке и расширяющихся к лезвию (Каменный Амбар, Потаповский могильник). Их отличают значительно меньшие размеры. Необходимо заметить, что в могильнике Каменный Амбар тесла стандартного типа отличаются тоже меньшими размерами. Особо следует отметить оригинальное тесло с кованой втулкой из могильника Танаберген II (Ткачев, 2007, рис. 9.2).

Топоры-тесла являются достаточно типичным изделием для Северной Евразии. Они часто встречаются на абашевских памятниках. Как правило, пятка абашевских тесел слегка расширена, хотя иногда встречаются экземпляры с легким сужением пятки. В сейминско-турбинских памятниках тесла известны лишь в западной зоне. Типологически они идентичны первой описанной группе синташтинских тесел, выплавлены из мышьяковой бронзы, что позволило связать их с абашевским (баланбашским) металлургическим очагом (Черных, Кузьминых, 1989, с. 134).

В КМК, в том числе в каменско-ливленцовой группе, тесла отличаются вытянутыми пропорциями, очень узкой пяткой черенка и широким дугообразно раскованным лезвием (Археология УССР, 1985, с. 456, 459). Аналогии им обнаруживаются в материалах северо-кавказской культуры (Черных, 1966, с. 104).

По мнению некоторых исследователей, синташтинские и абашевские тесла могут восходить к «привольненским» теслам катакомбного времени, постепенно расширяющимся к лезвию (Кореневский, 1983, с. 97, 103; Дегтярева, 2010, с. 94). Тесла этих типов представлены на Северном Кавказе. Кроме того, все указанные тесла, включая тесла КМК, присутствуют в Анатолии (Авилова, Черных, 1989, с. 54). Эти изделия были чрезвычайно широко распространены в ЦМП, вплоть до Палестины и Египта (Miron, 1992; Müller-Karpe, 1974, Taf. 167). Что касается втульчатого тесла из Танаберген II, то подобное изделие известно в Северной Сирии в слое Хама J (Müller-Karpe, 1974, Taf. 247D).

Долота с кованой втулкой являются сравнительно редкой находкой на синташтинских и абашевских памятниках. Два изделия обнаружены в могильнике Большекараганский и одно на поселении Тюбяк. Обломок долота выявлен в Синташтинском

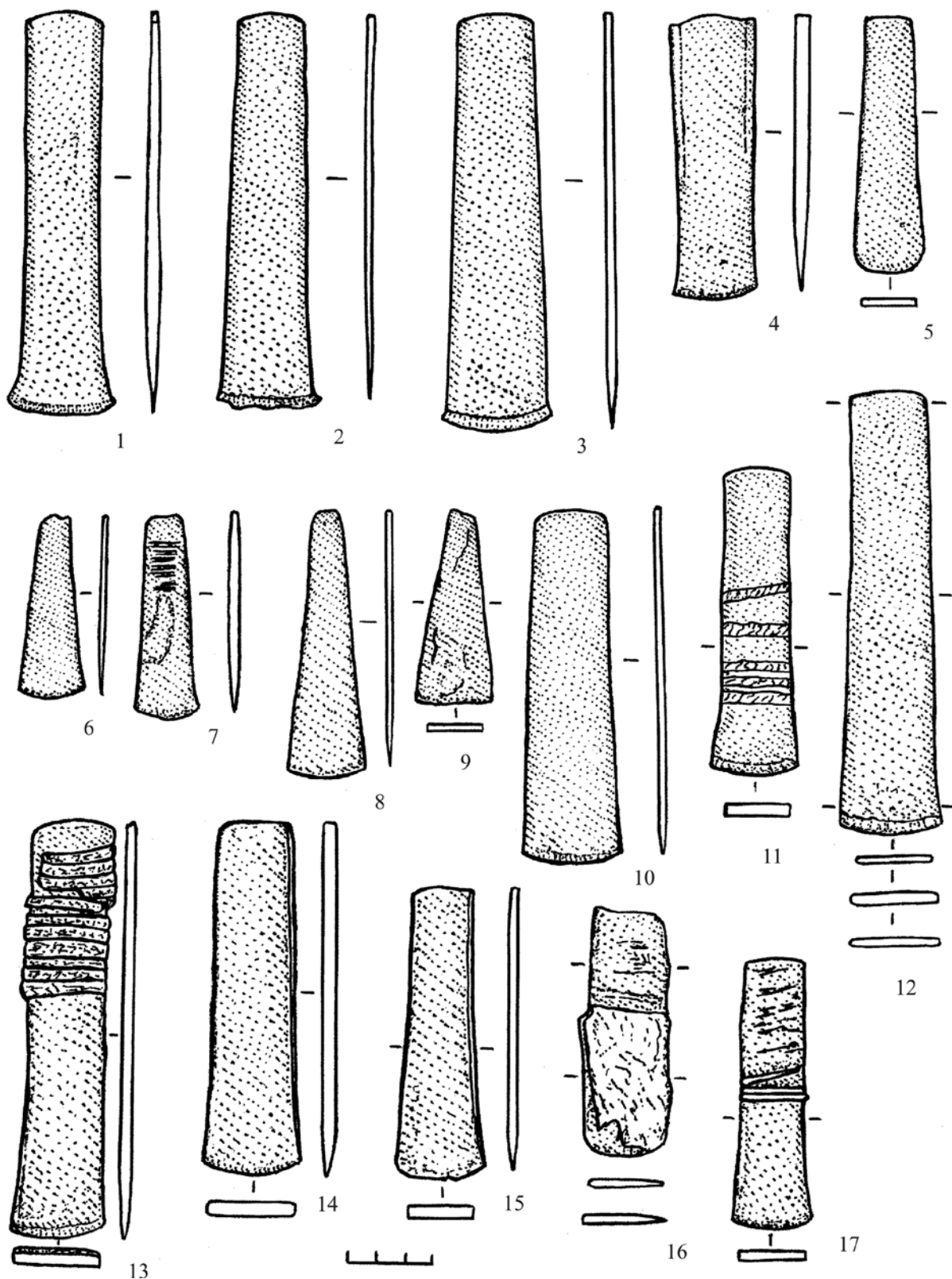


Рис. 6-4. Топоры-тесла. 1 — Большекараганский, к. 24, погр. 1; 2 — Большекараганский, к. 24, погр. 1; 3 — Большекараганский, к. 24, погр. 2; 4 — Большекараганский, к. 11; 5 — Каменный Амбар, к. 4; 6 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 12; 7 — Каменный Амбар, к.2, погр. 6.; 8 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 4; 9 — Потаповка, к. 5, погр. 4; 10 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5; 11 — Синташта, CI, погр. 1; 12 — Синташта, CI, погр. 14; 13 — Синташта, CII, погр. 2; 14 — Синташта, CII, погр. 2; 15 — Синташта, CM, погр. 39; 16 — Синташта, CI, погр. 4; 17 — Синташта, CI, погр. 3

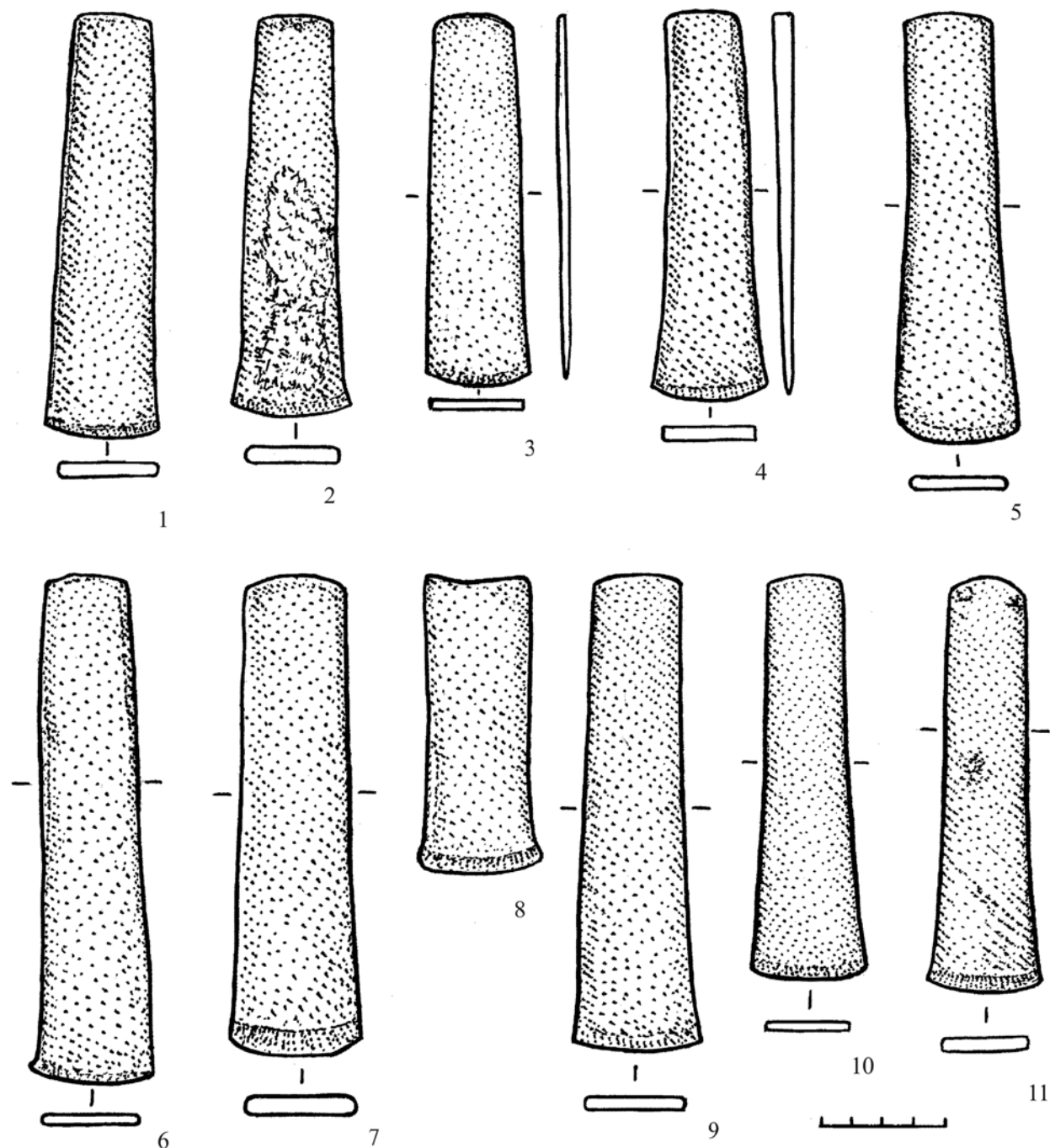


Рис. 6-5. Топоры-тесла. 1 — Синташта, СІ, погр. 15; 2 — Синташта, СІ, погр. 15; 3 — Синташта, СМ, погр. 6; 4 — Синташта, СІ, погр. 7; 5 — Большекараганский, к. 25, погр. 9; 6 — Большекараганский, к. 25; 7, 11 — Синташта, СІ, погр. 14; 8 — Большекараганский; 9 — Каменный Амбар, к. 4, погр. 14; 10 — Каменный Амбар, к. 4

могильнике (Боталов и др., 1996; Генинг и др., 1992, рис. 148.5). Восходят они, возможно, к изделиям катакомбного металлургического очага (Кореневский, 1983, с. 105), но широко представлены и в более южных очагах ЦМП (Авилова, Черных, 1989, с. 54). Характерные для СБВ Северной Евразии черенковые долота на синташтинских памятниках не представлены. Известно лишь одно изделие, происходящее из абашевского кургана (Кореневский, 1983, с. 105), что отражает большую степень связи абашевской металлообработки с прежними восточноевропейскими традициями, по сравнению с синташтинской металлообработкой.

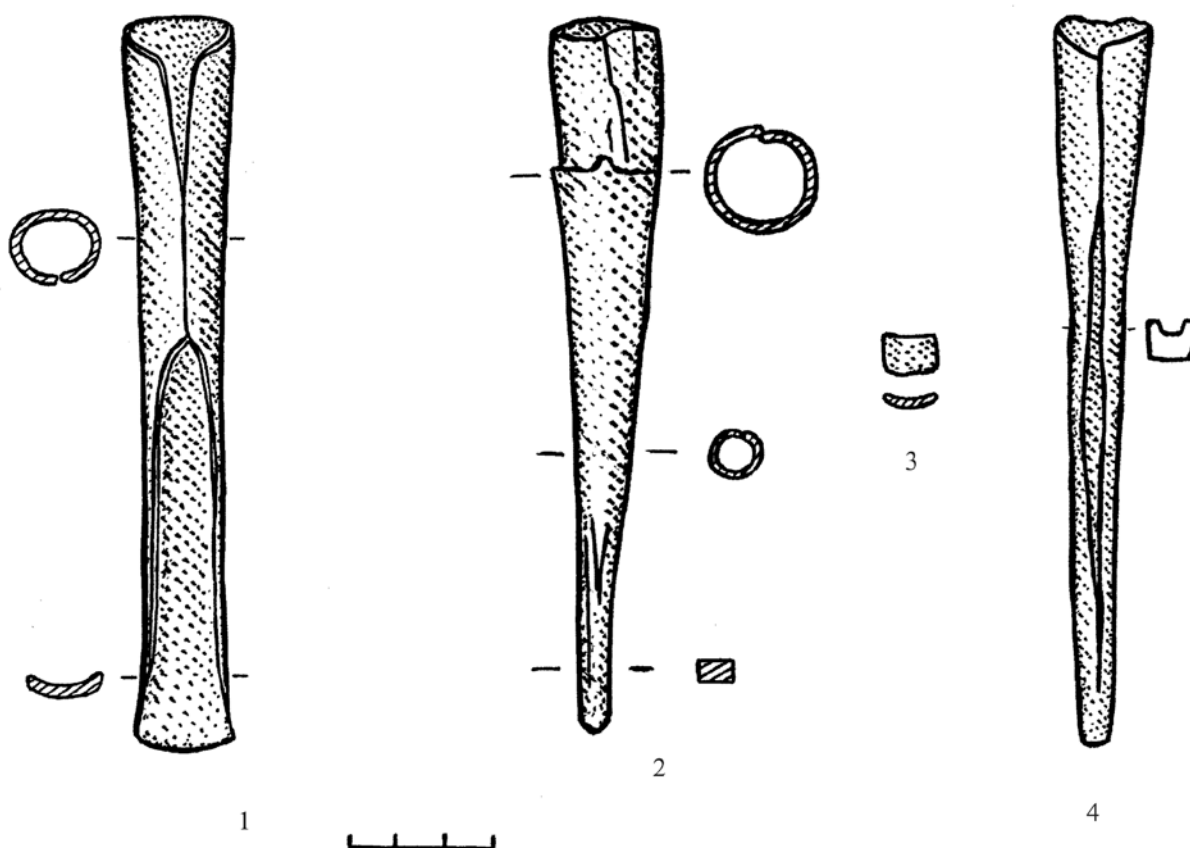


Рис. 6-6. Втульчатые долота. 1 — Большекараганский, к. 25, погр. 12; 2 — Большекараганский, к. 24, погр. 1; 3 — Синташта, С I, погр. 14; 4 — Тюбьяк, 1990, Р-3, уч. 3, 63/10.

Долота с кованой втулкой синташтинских памятников имеют многочисленные параллели в Анатолии и Северо-западной Сирии. Датируются они с конца III тыс. до н. э. — начала II тыс. до н. э. (Müller-Karpe A., 1994, S. 170—173, Taf. 74, 75).

Стержневидные долота, чеканы, пробойники и клинья (Боталов и др., 1996; Генинг и др., 1992; Костюков и др., 1995) представлены большой разнообразной серией, обычно они имеют четырехгранное сечение, и разнообразную длину (рис. 6-7). У долот имеется раскованная рабочая часть. Аналоги им известны на анатолийских поселениях (Müller-Karpe A., 1994, S. 159—174, Taf. 65—72). Но следует отметить, что это довольно простые изделия, слабо типологически выраженные. Поэтому представляется корректным вывод о том, что эти изделия, в целом, отражают циркумпонтийские традиции (Дегтярева, 2010, с. 95).

Ножи являются наиболее массовой категорией металлических изделий синташтинских памятников (см. Генинг и др., 1992; Васильев и др., 1994; Костюков и др., 1995; Боталов и др., 1996; Ткачев, 2007, с. 182—184; Дегтярева, Кузьминых, 2003, рис. 1.2-10). Самым распространенным типом является двулезвийный нож с намечающимся перекрестием и ромбической пяткой черенка (рис. 6-8...6-11). Варибельность его чрезвычайно высока, что позволило В. В. Ткачеву разделить их на три отдельных типа, отличающихся оформлением пятки черенка: ромбическая, приостренная и округлая (Ткачев, 2007, с. 182—183). Сделать это действительно возможно, но в действительности эта классификация носит искусственный характер, так как в каждом из этих трех типов можно выбрать изделия, очень близкие изделиям другого типа. Небольшая недоработанность пятки черенка (два-три иначе сделанных удара молотком) и орудие оказывается другого типа. Эта часть орудия была спрятана в костяную или деревянную

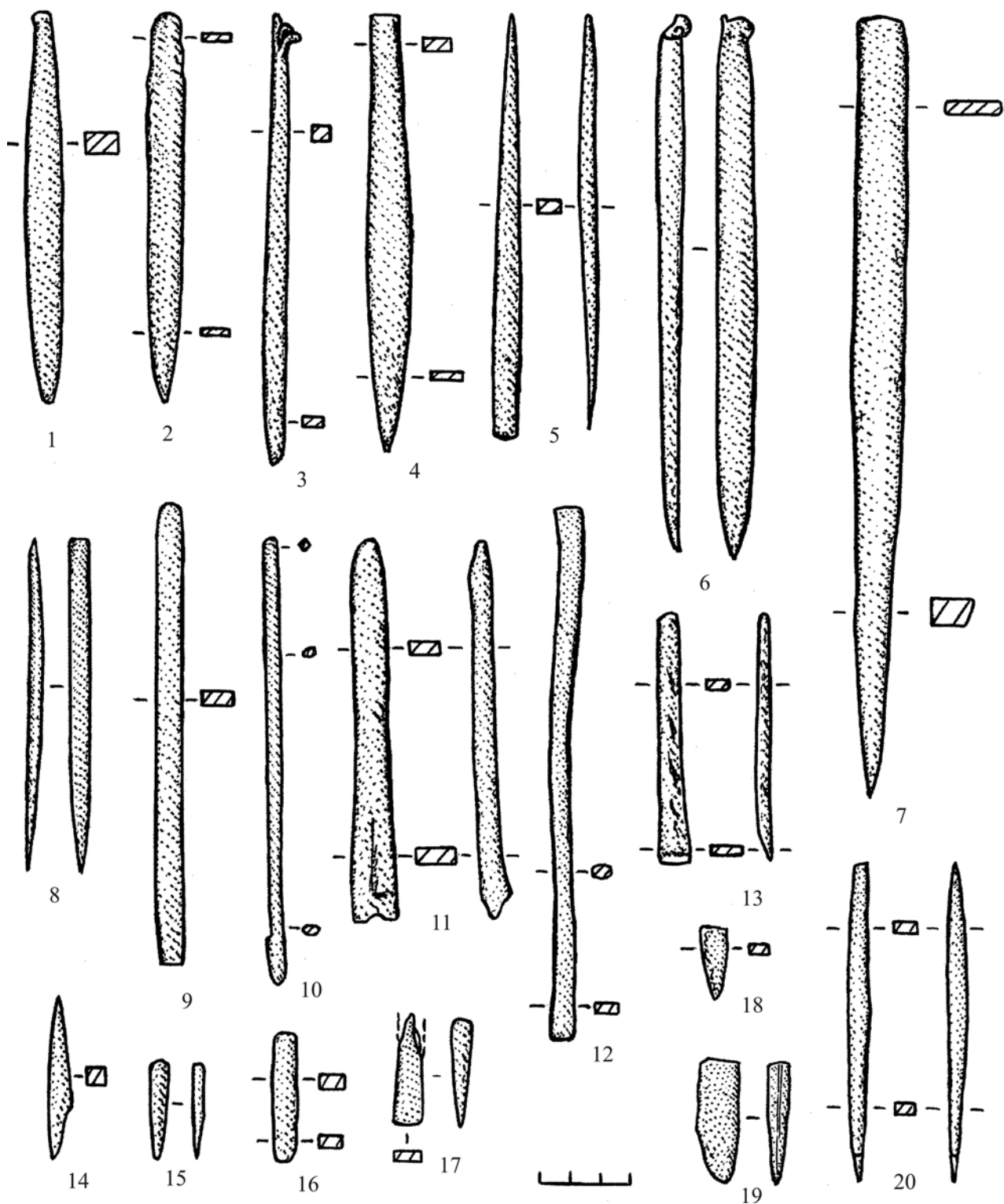


Рис. 6-7. Чеканы, долота, пробойники и клинья. 1 — Синташта. С1, погр.14; 2 — Тюбьяк, 1990, R-3, 26 4; 3, 9 — Аркаим; 4 — Бирское I, Р-VIII, 32/3; 5 — Каменный Амбар; 6 — Каменный Амбар, к.4, погр. 8; 7 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 8; 8, 11, 13, 16, 20 — пос. Синташта; 10 — Юмаково, 1988; 12 — Тюбьяк, 1990, Р-III, уч. 3; 14 — Синташта. С1; 15 — Каменный Амбар; 17 — Синташта, СМ, погр. 16; 18 — Большекараганский; 19 — Синташта, С1, погр. 1

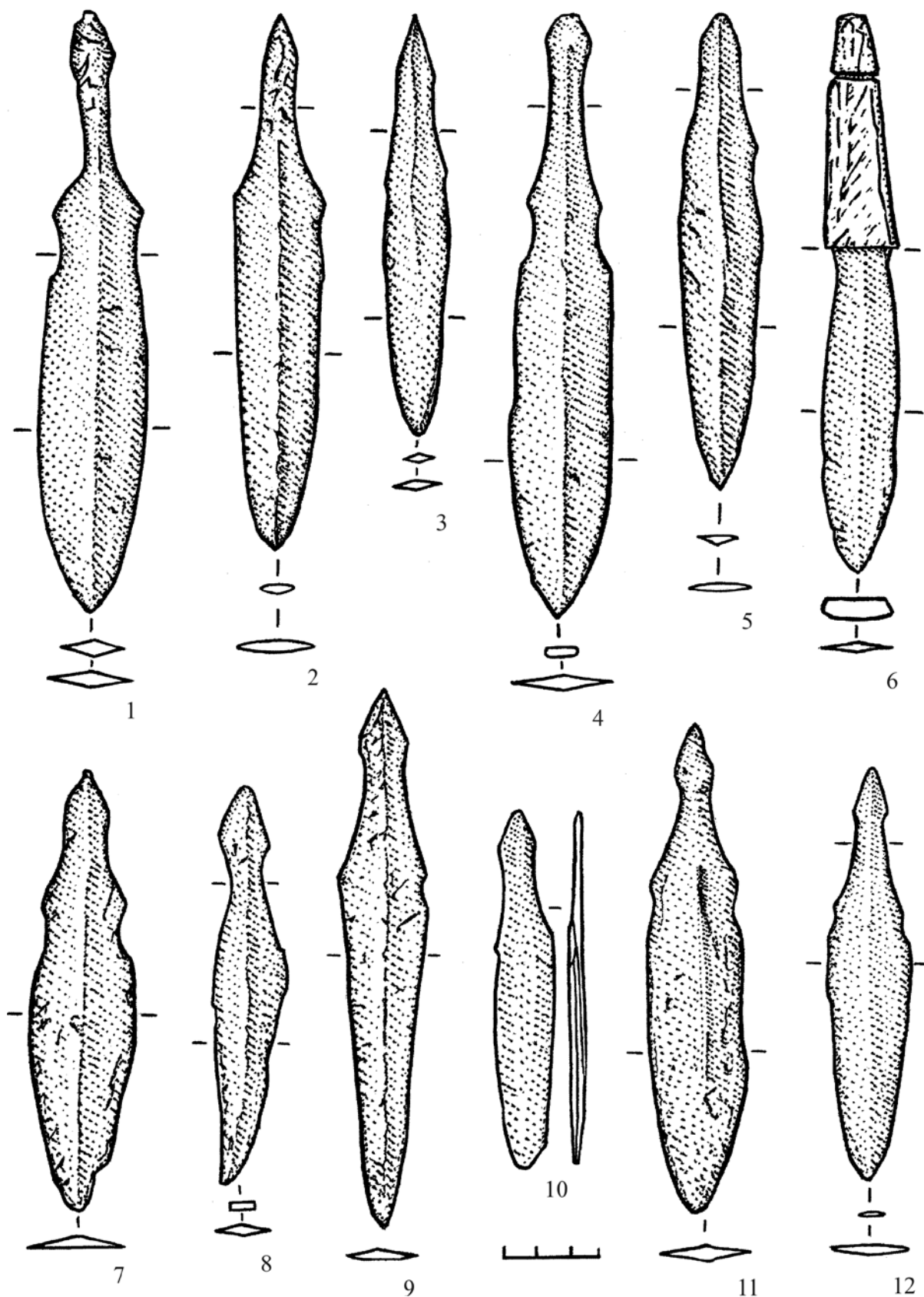


Рис. 6-8. Двухлезвийные ножи с перехватом и намечающимся перекрестием. 1, 2 — Большекараганский, к. 24, погр. 1; 3 — Большекараганский, к. 24, погр. 8; 4, 5 — Большекараганский, к. 11, погр. 1; 6 — Большекараганский, к. 11, погр. 3; 7 — Потаповка, к. 5, погр. 14; 8 — Потаповка, к. 1, погр. 5; 9 — Потаповка, к. 3, погр. 8; 10 — Синташта, СII, погр. 7; 11 — Синташта, CI, погр. 14; 12 — Синташта, CM, погр. 5

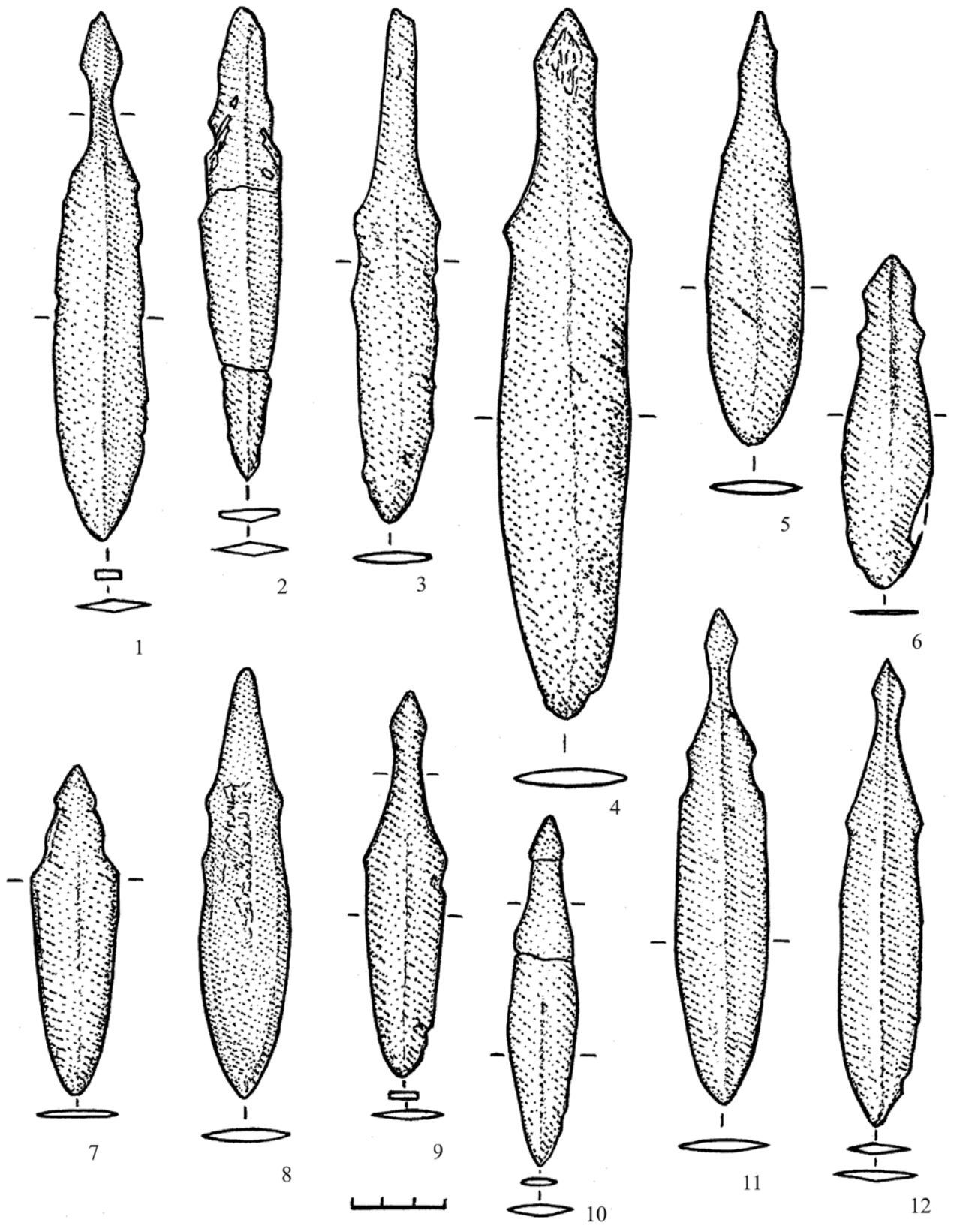


Рис. 6-9. Двулезвийные ножи с перехватом и намечающимся перекрестием. 1 — Синташта, СМ, погр. 39; 2 — Синташта, СМ, погр. 27; 3, 4 — Синташта, СІ, погр. 3; 5 — Синташта, СІ, погр. 5; 6 — Синташта, СМ, погр. 2; 7 — Синташта, СМ, погр. 30; 8 — Синташта, СІ, погр. 15; 9 — Синташта, СМ, погр. 5; 10 — Синташта, СМ, погр. 11; 11 — Синташта, СІ, погр. 14; 12 — Синташта, СМ, погр. 16

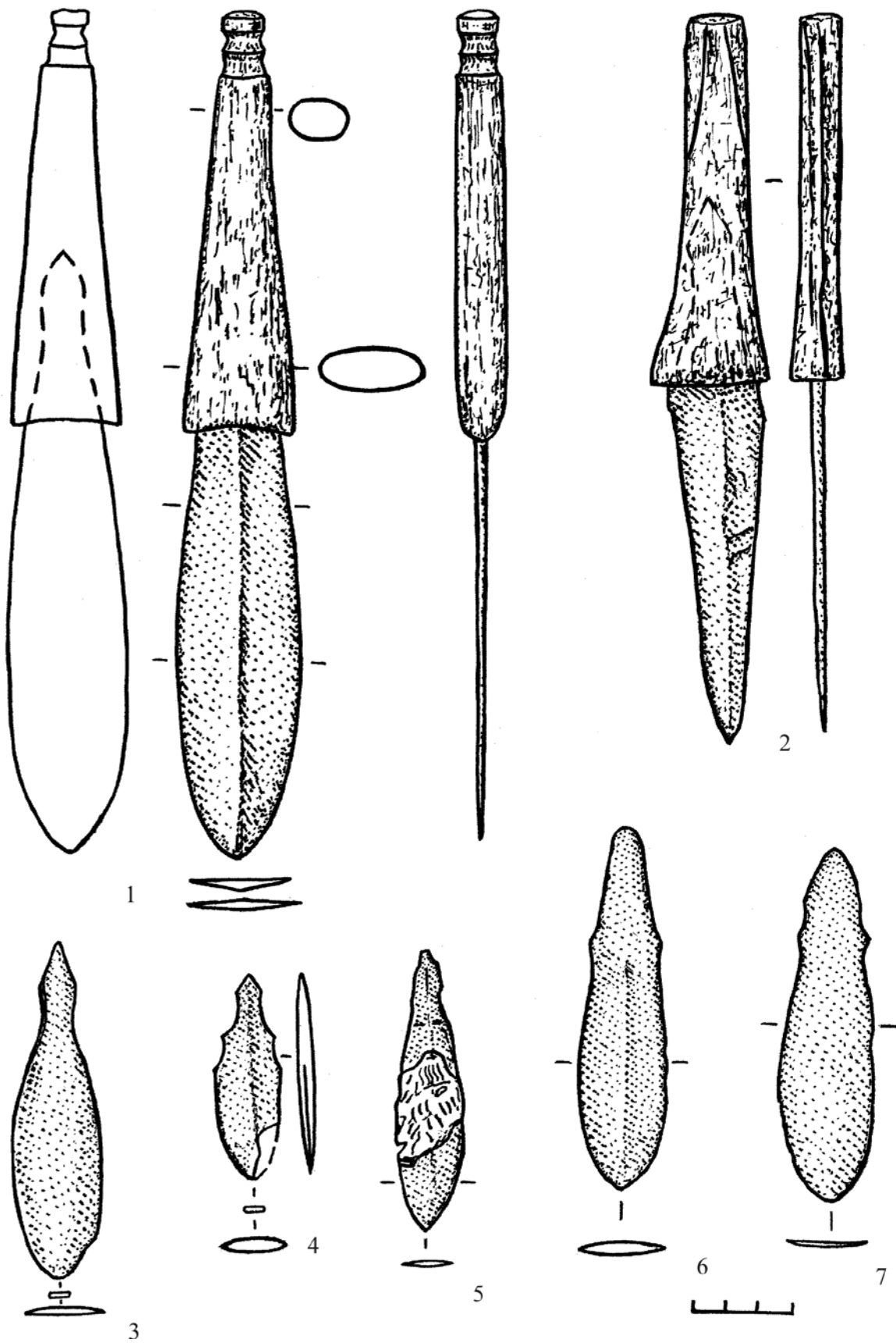


Рис. 6-10. Двулезвийные ножи с перехватом и намечающимся перекрестием. 1 — Потаповка, к. 5, погр. 8; 2 — Потаповка, к. 3, погр. 8; 3 — Синташта, СМ, погр. 15; 4 — Синташта, СП, погр. 7; 5 — Синташта, СІ, погр. 1; 6 — Синташта, СІ, погр. 14; 7 — Синташта, СМ, погр. 2

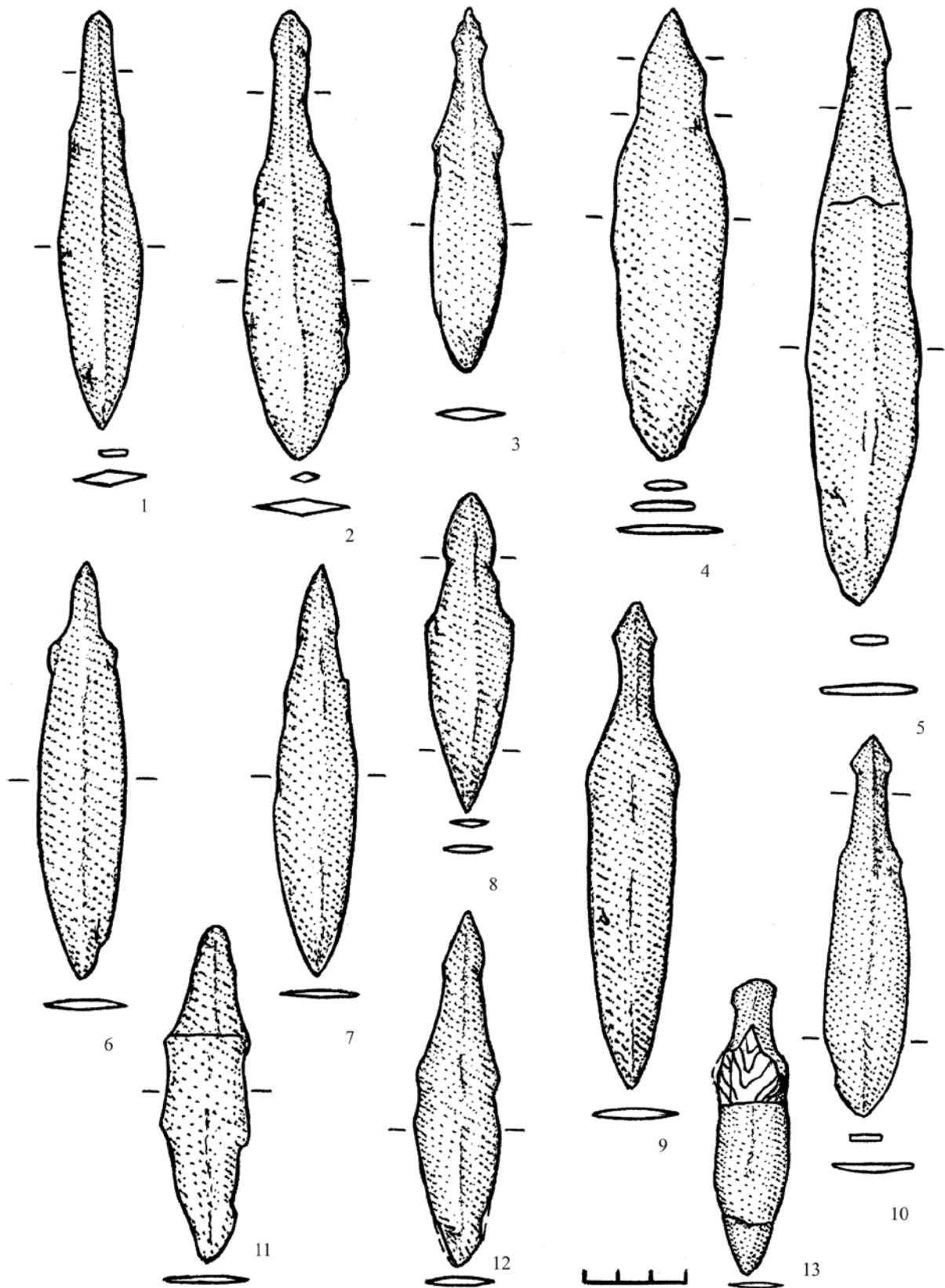


Рис. 6-11. Двулезвийные ножи с перехватом и намечающимся перекрестием. 1 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 6; 2 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 14; 3 — Синташта, С1, погр. 1; 4 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 12; 5 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 15; 6 — Большекараганский, к. 25; 7 — Большекараганский, к. 25; 8 — Бирское I, Р-VII, 64/3; 9 — Каменный Амбар, к. 4; 10 — Набережный; 11 — Большекараганский, к. 25; 12, 13 — Синташта, СМ, погр. 6

рукоять, и при любом завершении черенка это можно было сделать. Поэтому часто этот фактор имел случайный характер. Принципиальным является общая зауженность пятки черенка, наличие выступов и перехвата, что является функциональным для этих изделий. То есть, подобная классификация может иметь право на существование, но оказывается оторванной от действительности и потому не выполняет основной функции любой классификации — быть инструментом для получения нового знания. Безусловно, в случае, если выделенные типы окажутся статистически связанными с какими-то территориальными или хронологическими комплексами, это меняет дело. Но пока этого не случилось, мы будем рассматривать эти изделия в рамках одного типа.

Встречается он во всех синташтинских и потаповских комплексах. В синхронных культурах ножи этого типа известны в петровской культуре, в Приишимье и Притоболье (Зданович, 1988, с. 75; Потемкина, 1985, с. 264, 265), весьма характерны для абашевской культуры (Пряхин, 1976, с. 146; Черных, 1970, с. 66). Выявлены они и в сейминско-турбинских памятниках, где они интерпретируются, как типично абашевские (Черных, Кузьминых, 1989, с. 101, 102).

Появление этого типа ножей связывают с дальнейшим развитием в абашевской среде катакомбных типов изделий (Кореневский, 1983, с. 102). Происхождение ножей с перехватом из катакомбных ножей с пятиугольным лезвием может иллюстрироваться на примере экземпляра из Каменного Амбара (Костюков и др., 1995, с. 201). Тем не менее, переходных экземпляров практически не известно. Поэтому нельзя исключить привнесенность этого типа в Зауралье. На подобную гипотезу может указывать обнаружение ножей с перехватом в Карабахе. Относятся они к рубежу III—II тыс. до н. э. (Горелик, 1993, с. 222, табл. III, 54, 55). Кинжал с ромбическим черенком и перехватом обнаружен в погребении в Байиндиркёй (культура Йортан) в Северо-западной Анатолии. Однако черенок этого кинжала более широкий и имеет три отверстия для заклепок (Stronach, 1957, с. 92, fig. 1.17). Нож с ромбической пяткой черенка обнаружен в Тэлль эль Аджул, на границе Египта и Палестины, но строение лезвия его иное, чем у синташтинских ножей (Müller-Karpe, 1974, Taf. 167. 20). Очень близок синташтинским ножам экземпляр из Ура XVII—XVIII в.в. до н. э., имеющий приостренную пятку черенка, и катакомбный нож из Новокаменского, датируемый тем же временем (Горелик, 1993, с. 224, табл. IV, 13, 46). К этому же типу относится нож из погребения бахмутинского типа катакомбной культуры у хутора Верхне-Янченко. В отличие от большинства синташтинских ножей, он имеет притупленную пятку черенка (Братченко, 1976, рис. 46.5). Ножи КМК отличаются, хотя отдельные сходные черты в виде появления приостренности граней при переходе от лезвия к черенку в них заметны (Археология УССР, 1985, с. 456). В комплексах КМК известны лишь единичные находки этого типа (Пряхин, 1976, с. 147).

Помимо этого, в синташтинских комплексах представлены ножи восточноевропейских типов, но гораздо реже (рис. 6-12, 6-13). Это ножи с прямым черенком (редко без черенка) и подтреугольным, листовидным или пятиугольным лезвием (Генинг и др., 1992, с. 122, 124, 302, 307; Ткачев, 2007, с. 182—184). За счет этой варибельности они позволяют делать более дробную классификацию, основанную на форме черенка и лезвия. Следует заметить, что на абашевских памятниках они распространены несколько шире (Пряхин, 1976, с. 141—144). При этом в средневожском абашеве этих изделий, как, впрочем, и остальных орудий (за исключением шильев) крайне мало, а на севере Средней Волги они почти не известны (Кузнецов, 1983, с. 110). В потаповских комплексах известен один нож с черенком и листовидным лезвием (Васильев и др., 1994, с. 142). Прочие ножи восточноевропейского облика, найденные в Потаповском могильнике, относятся к полтавкинскому культурному комплексу.

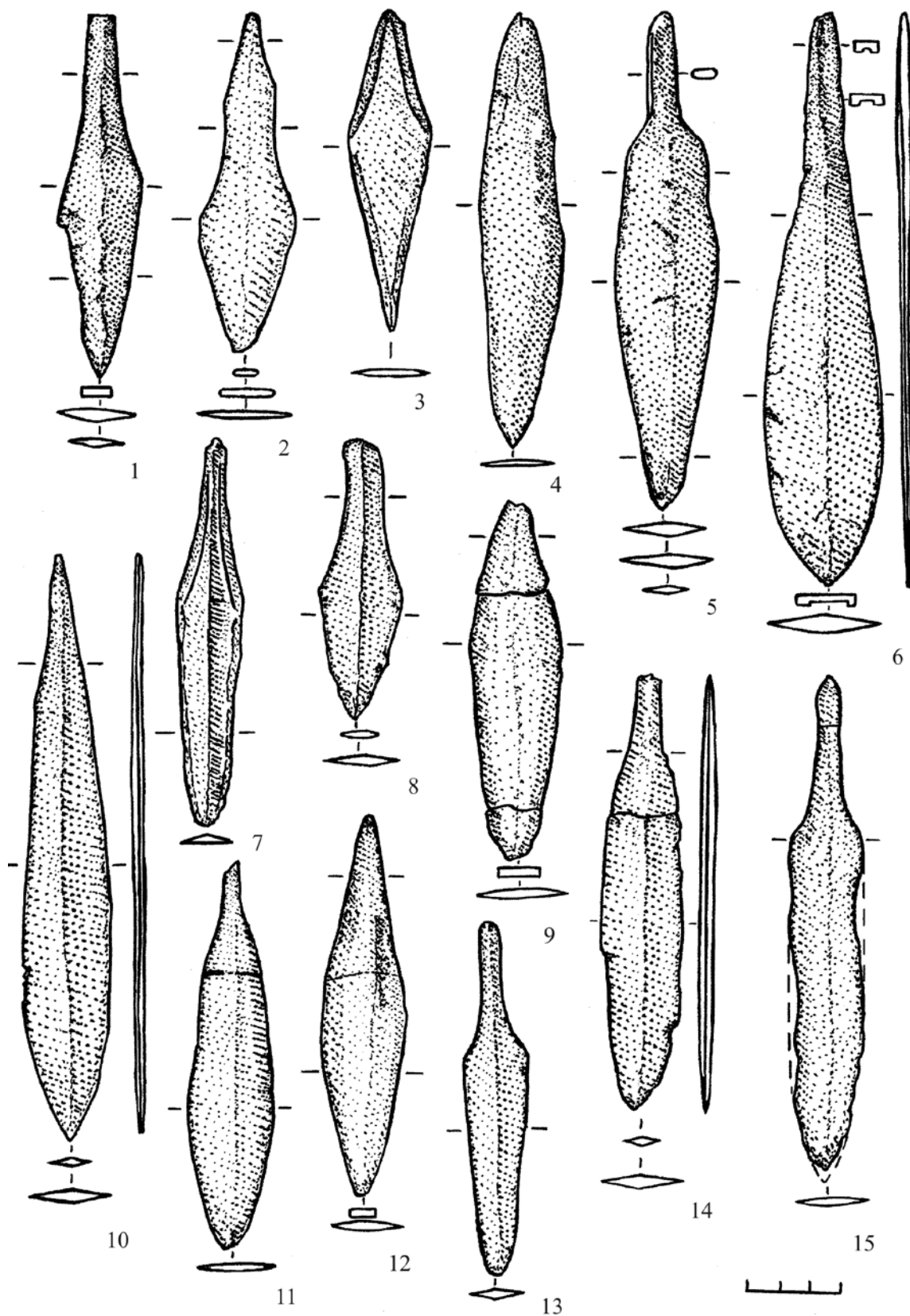


Рис. 6-12. Двухлезвийные ножи. 1 — Потаповка, к. 3, погр. 5; 2 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 12; 3 — Большекараганский, к. 20, погр. 7; 4 — Потаповка, к. 5, погр. 8; 5 — Потаповка, к. 2, погр. 1; 6 — Потаповка, к. 1, погр. 4; 7 — Потаповка, к. 5, погр. 14; 8 — Потаповка, к. 3, погр. 5; 9 — Синташта, СМ, погр. 8; 10 — Синташта, СП, погр. 1; 11 — Синташта, СМ, погр. 3; 12 — Синташта, СМ, погр. 10; 13 — Большекараганский, к. 25; 14 — Синташта, СП, погр. 1; 15 — Синташта, СМ, погр. 39

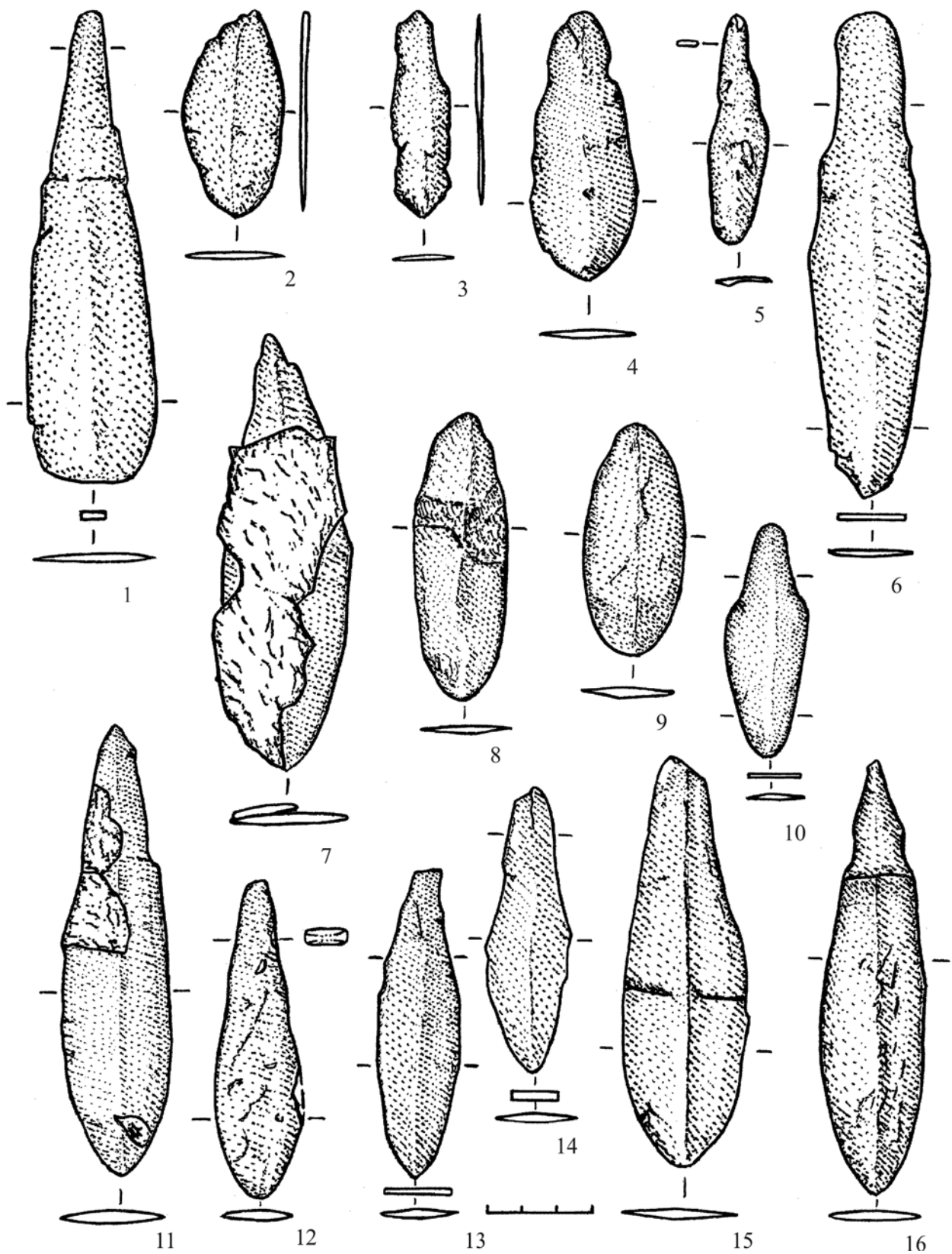


Рис. 6-13. Двухлезвийные ножи. 1 — Большекараганский, к. 24, погр. 9-2; 2 — Потаповка, к. 1, погр. 4; 3 — Потаповка, к. 3, погр. 4; 4 — Большекараганский, к. 11; 5 — Синташта, СШ, погр. 1; 6 — Бирское I, Р-VII, 63/3; 7 — Синташта, СI, погр. 4; 8, 9 — Потаповка, к. 5, погр. 14; 10 — Бирское I, Р-VIII, 85/3; 11 — Синташта, СI, погр. 4; 12 — Синташта, СI, погр. 14; 13 — Синташта, СМ, погр. 21; 14 — Синташта, СМ, погр. 18; 15 — Большекараганский, к. 11, погр. 5; 16 — Потаповка, к. 5, погр. 4

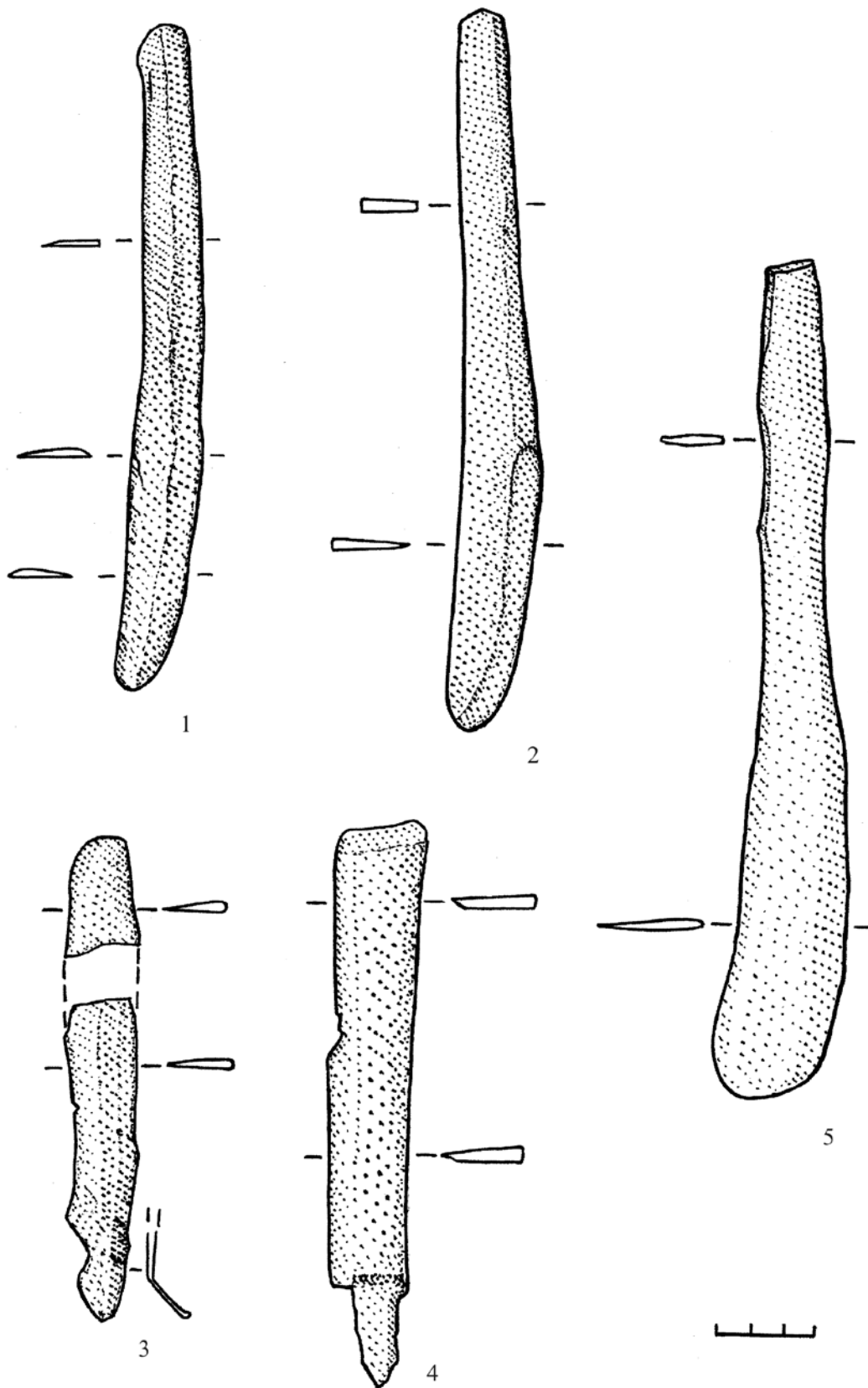


Рис. 6-14. Однолезвийные ножи. 1 — Потаповка, к. 5, погр. 13; 2 — Синташта, СІ; 3, 4 — пос. Синташта; 5 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 8

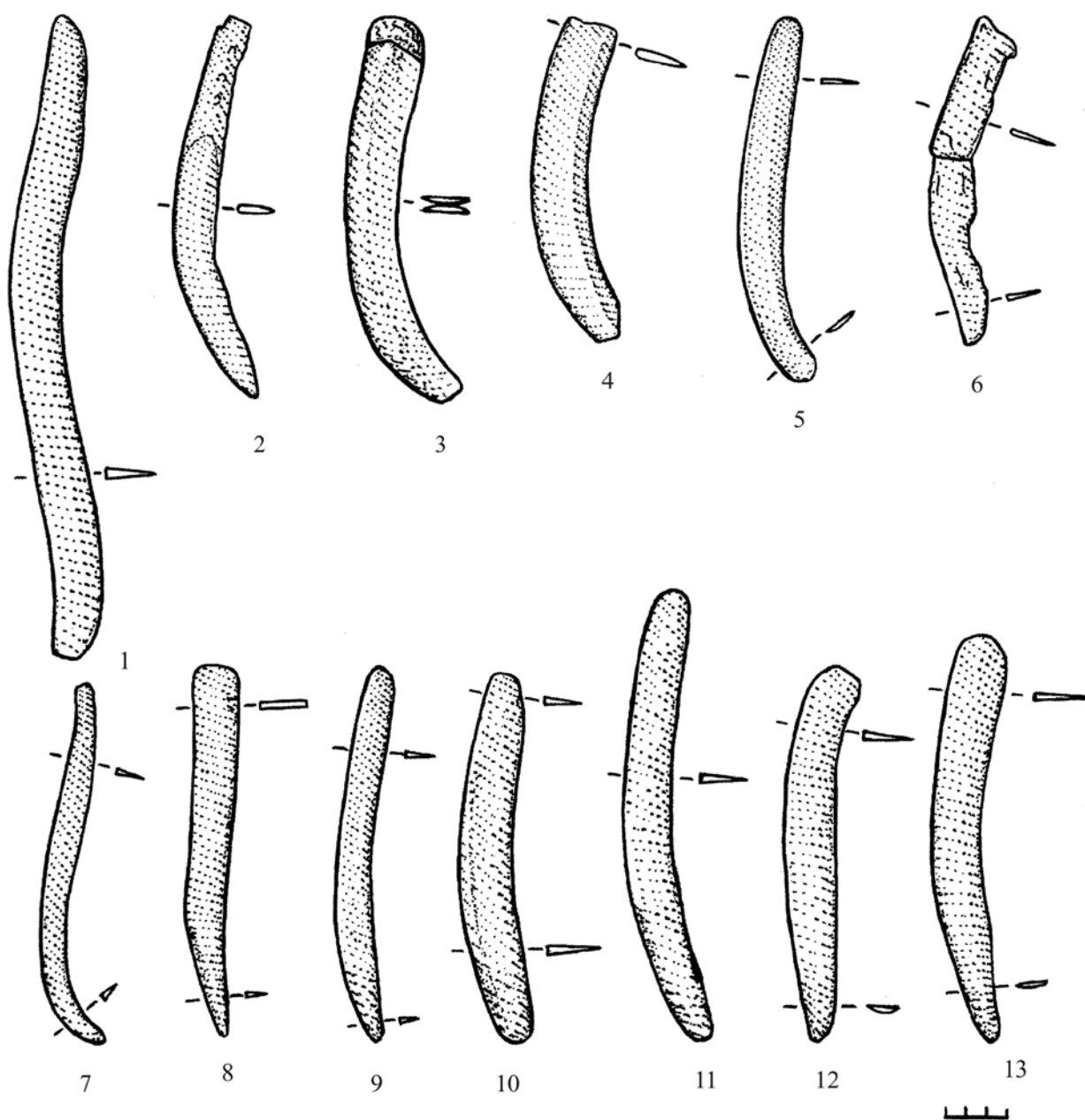


Рис. 6-15. Серпы. 1 — Синташта, СМ, погр. 11; 2 — Синташта, СІ, погр. 14; 3 — Синташта, СІ, погр. 12; 4 — пос. Синташта; 5 — Тюбяк, уч. 3, 30\8; 6 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 12; 7 — Набережный; 8 — Бирское, жил. Б, уч. 87\2; 9 — Юмаково IV, Р-1, 13\3; 10 — Юмаково I, За\3, жил 1; 11 — Каменный Амбар, к. 4; 12 — Юмаково III; 13 — Юмаково IV

Время бытования подобных изделий достаточно широко, но преимущественно они встречаются в ямно-полтавкинских, катакомбных, северокавказских комплексах, реже в КМК (Кореневский, 1978).

Наконец, довольно специфичными являются *ножи-серпы* встреченные в единичных случаях в материалах донского абашева, потаповки и синташты (Пряхин, 1976, с. 144; Костюков и др., 1995, с. 199; Васильев и др., 1994, с. 134). Они имеют прямое или слегка изогнутое лезвие, приостренное с одной стороны полностью, а с другой до половины длины. Аналоги этому типу нам не известны. По всей вероятности, это стадия формирования слабо изогнутых серпов, свойственных абашеву и синташте.

Некоторое количество ножей имеет аморфный характер и типологическому членению не поддается.

Серпы распространены достаточно широко, но большая их часть обнаружена на поселении и могильнике Синташта, где были проведены наиболее широкие раскопки. Одно изделие происходит с могильника Каменный Амбар. Для абашевских памятников серпы характерны в большей степени. Несколько изделий было выявлено на поселении Тюбьяк. Это пластинчатые, слабо изогнутые орудия. Степень изогнутости их сильно колеблется (Генинг и др., 1992, с. 109, 158, 268, 285; Пряхин, 1976, с. 139, рис. 25, 1-9; Костюков и др., 1995) (рис. 6-15). В катакомбных памятниках серпы не известны (Кореневский, 1983, с. 105). К закавказским прототипам они восходить тоже не могут, поскольку там бытовали более развитые формы изделий (Авилова, Черных, 1989, с. 53). Серпы северокавказской культуры отличаются тоже большой изогнутостью (Черных, 1966, с. 104), что исключает возможность появления орудий этого типа в абашевской среде с Северного Кавказа. Слабоизогнутые серпы известны в Месопотамии, в Кише (Müller-Karpe, 1974, Tab. 199). По форме они очень близки. Однако они датируются очень ранним временем, что не позволяет их напрямую связывать с синташтинскими. Поэтому связь этих орудий с ЦМП предпочтительна, хотя назвать прямые аналогии затруднительно.

На различных синташтинских памятниках обнаружена серия **рыболовных крючков** (Генинг и др., 1992, рис. 79.14, 122.4, 126.16,17, 140.6, 148.2,3, 153.19; Костюков и др., 1995, рис. 21.8; Зданович, 1997; Васильев и др., 1994; Ткачев, 2007, рис. 55.10—12). Они имеют различные размеры и довольно стандартную форму (рис. 6-16). Верхняя часть обычно загнута в петлю для привязывания лески. Из этого ряда выбивается только один крючок, верхняя часть которого раскована. На юге рыболовные крючки подобных типов выявлены в Сирии (Тэлль Ашмар) (Müller-Karpe, 1974, Taf. 206). Бронзовые рыболовные крючки хорошо представлены и в Сузах. При этом верхний конец их может быть, как загнут, так и раскован (Talton, 1987, p. 196).

Очень редким для синташтинской культуры изделием являются **втульчатые крюки** (рис. 6-17.1, 3, 4). Одно изделие обнаружено в могильнике Большекараганский. Кроме того, один втульчатый крюк происходит с поселения Тюбьяк, относящемся к уральской абашевской культуре. Есть находка втульчатого крюка на поселении Шибаетово в Челябинской области, однако это поселение многослойное, а крюк найден вне культурного слоя. Поэтому датировка его не вполне определена (Зданович Д., 2002, рис. 21.7; Горбунов, 1992, рис. 16.2; Нелин, 2004, рис. 8.12). Подобные крюки были повсеместно распространены в различных зонах ЦМП, однако для этого региона они не были никогда характерны. В ПБВ известен аналогичный крюк на поселении Павловка в Казахстане, относящемся к федоровской культуре и в Лобойковском кладе на Украине (Зданович, 1988, табл. 10,15; Черных, 1976, табл. XXXII). Последнее является, по-видимому, следствием федоровских импульсов на запад. В результате, крюк из Шибаетово может датироваться синташтинским или федоровским временем. Вопрос может быть прояснен анализом металла, поскольку федоровская металлургия базировалась на лигатурах оловом. Как показал наш анализ этого крюка (табл. 5-26), он содержит повышенные концентрации мышьяка, олово в нем отсутствует. Поэтому более вероятна связь его именно с ранней фазой появления этих крюков на Урале. Этому не противоречит и его относительно грациальная форма, что характерно для крюков СБВ в большей степени, чем для лобойковских. Происхождение этих крюков связано с катакомбной металлообработкой Восточной Европы (Кореневский, 1983). На Ближнем Востоке (Сузы) известны аналогичные крюки и ножи катакомбных типов (Авилова, 2008, рис. 29), но это связано, скорее, с проблемой происхождения катакомбной культуры Восточной Европы, и вряд ли имеет отношение к синташте. Известны эти крюки и в Анатолии.

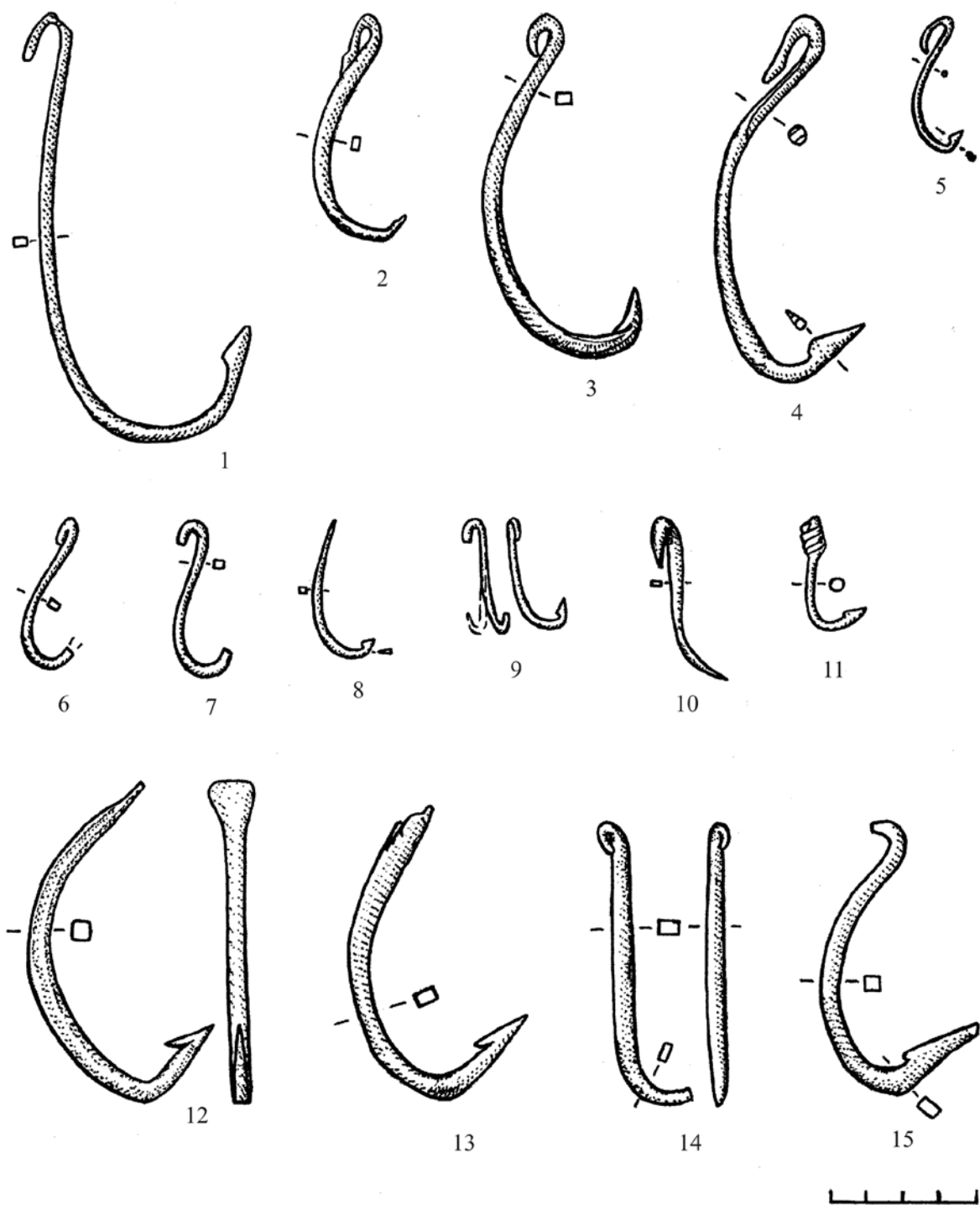


Рис. 6-16. Рыболовные крючки. 1 — Аркаим; 2 — Потаповка, к. 5, погр. 14; 3, 8 — Синташта, СМ, погр. 39; 4, 5 — Солнце, к. 11, погр. 1; 6, 15 — Синташта, СІ, погр. 14; 7 — Синташта, СІ; 9 — Синташта, СМ, погр. 35; 10 — Потаповка, к. 3, погр. 4; 11 — Синташта, СІ, погр. 1; 12 — Синташта, СМ, погр. 12; 13, 14 — пос. Синташта

Условно к крюкам отнесен согнутый прут с ромбическим сечением с поселения Тюбяк, но преднамеренность этой формы не очевидна (рис. 6-17.2).

Массовым инвентарем в синташтинских, абашевских, потаповских и петровских памятниках являются *иглы* и четырехгранные в сечении *шилья* (рис. 6-18). Распространенность этих типов в предшествующую эпоху на разных территориях была чрезвычайно

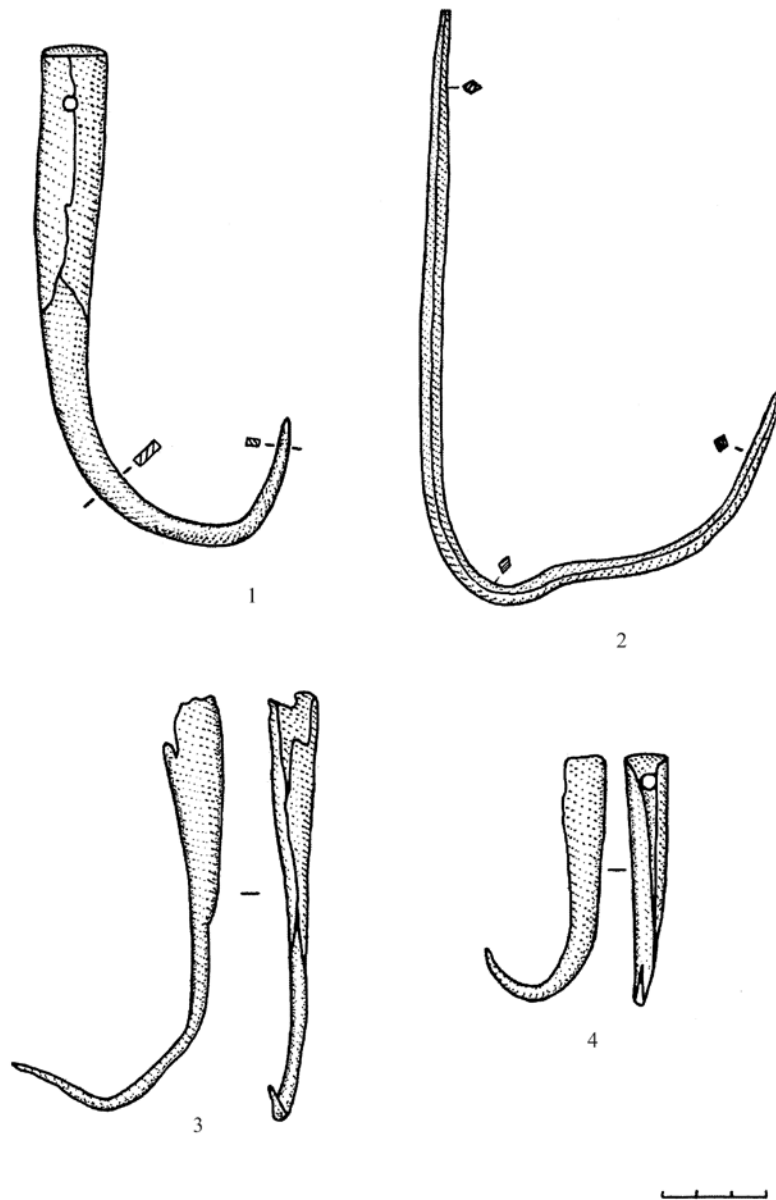


Рис. 6-17. Крюки. 1 — Тюбьяк, 1990, Р-3, уч. 3, 1а; 2 — Тюбьяк, 1990, 3 — Шибаяево; 4 — Большекараганский, к. 25

высока, но обращает на себя внимание отсутствие на памятниках вышеперечисленных культур столь свойственных ЦМП шильев с упором. А.Д. Дегтярева (2010, с. 117) выделяет небольшое количество шильев с упором. Но это не те выраженные упоры, что являются стандартом ЦМП, а небольшое расширение, вероятно, преднамеренное. Но и в ЦМП не все изделия имеют идеальные упоры. Поэтому корни этого типа наверняка циркумпонтийские.

Значительную коллекцию составляют также *скрепки*, использовавшиеся для соединения треснувших при просушке стенок керамических сосудов (рис. 6-19.3—9, 11—15, 18—20, 23, 24, 26, 35—38, 41, 43, 44) и различные *скобы* (рис. 6-19.1, 22, 29, 30—32, 45—49, 54). Неплохо представлены и различные мелкие изделия: *гвозди* (рис. 6-19.55, 59—62), фрагменты небольших *пластин* (рис. 6-19.10, 16, 17, 25, 27, 28, 33, 39, 40, 42), *заклепки* (рис. 6-19.50—53, 56—58), *провода* (рис. 6-19.2, 21), *накладки* на край деревянного сосуда (рис. 6-20.1, 4—6, 9), *пластины* (рис. 6-20.2, 3, 7, 8, 10, 11), *полосы* (рис. 6-20.12, 13) и фрагменты непонятных предметов (рис. 6-20.14—16).

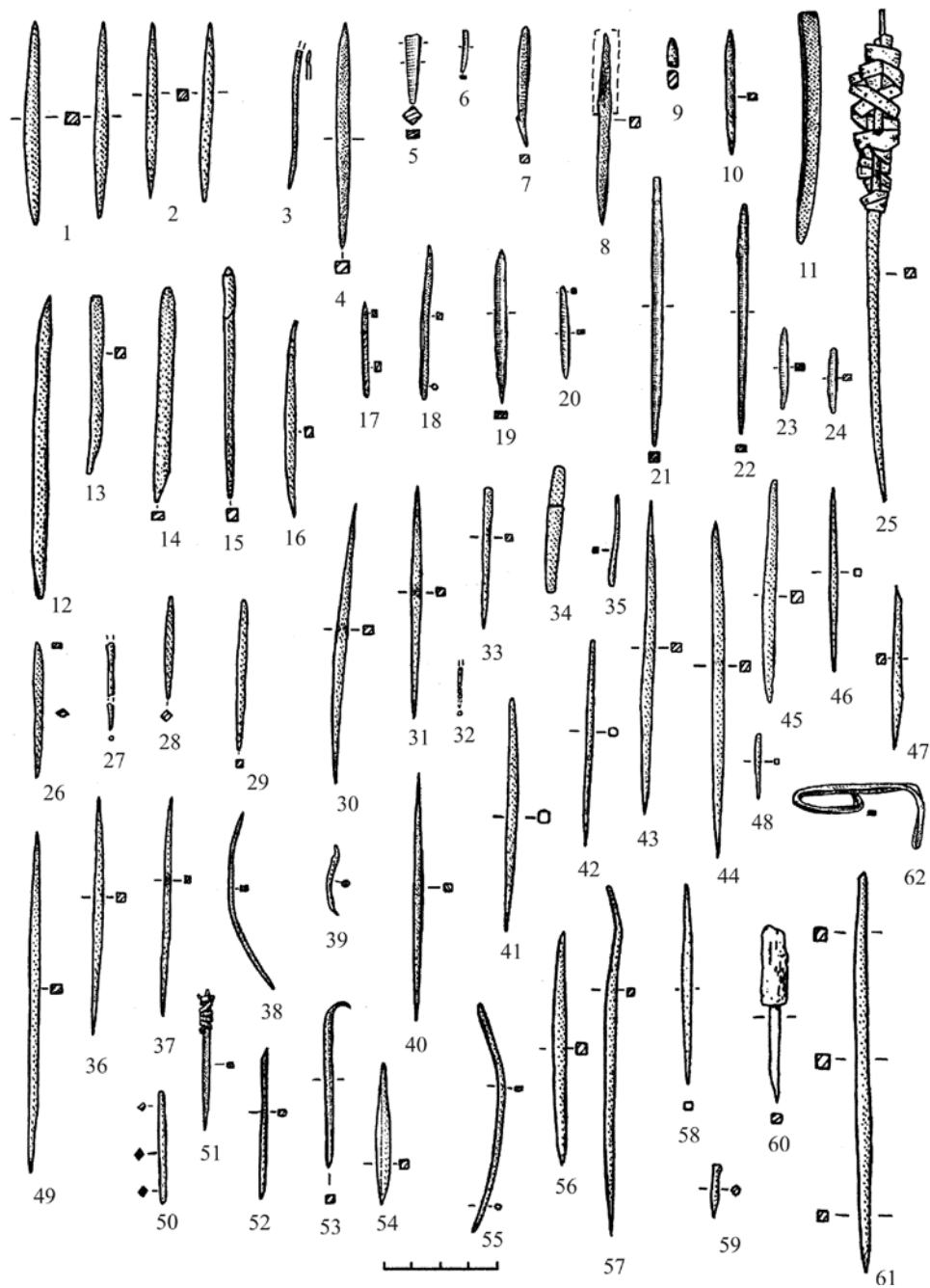


Рис. 6-18. Шилья (1, 2, 4-26, 28-31, 33-38, 40-47, 49-61) и иглы (3, 27, 32, 39, 48). 1, 2, 33, 34, 48 — пос. Синташта.; 3, 7 — Синташта. СМ, погр. 24; 4 — Синташта. СІ, погр. 15; 5 — Синташта. СМ, погр. 24; 6 — Синташта. СІ, погр. 12; 8 — Синташта. СІ, погр.1; 9 — Синташта, С ІІ, погр. 7; 10 — Синташта. СІ, погр.14; 11 — 13 — Синташта. СІ; 14 — Синташта, С ІІ, погр. 3; 15 — Синташта, С ІІ, погр. 7; 16 — Потаповка, к. 3, погр. 5; 17, 18 — Синташта, С ІІІ, погр. 1; 19 — Синташта, СМ, погр. 2; 20 — Синташта, СМ, погр. 3; 21 — Синташта, СМ, погр. 4; 22 — Синташта, СМ, погр. 9; 23, 24 — Синташта, СМ, погр. 6; 25 — Большекараганский, к. 24, погр. 1; 26 — Синташта, СМ, погр. 11; 27 — Синташта, СМ, погр. 13; 28 — Синташта, СМ, погр. 18; 29 — Синташта, СМ, погр. 22; 30, 31, 45 — Аркаим; 32 — Синташта, СМ, погр. 23; 35, 38 — Тюбьяк, 1990, Р-ІІІ, уч. 3; 36 — Каменный Амбар; 37 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5; 39 — Синташта, СІ, погр. 1; 40 — Большекараганский, к. 24, погр. 9-1; 41 2, — Каменный Амбар, к. 2, погр. 12; 43 — Большекараганский; 44 — Большекараганский; 46 — Большекараганский, к. 22, погр. 8; 47 — Потаповка, к. 1, погр. 4; 49 — Тюбьяк, 1989, Р-ІІІ, уч. 3, 20/4; 50 — Бирское І, уч. 55; 51 — Большекараганский, к. 24, погр. 7; 52, 59 — Потаповка, к. 5, погр. 11; 53 — Большекараганский, к. 11, погр. 3; 54 — Потаповка, к. 2, погр. 1; 55 — Потаповка, к. 3, погр. 8; 56 — Потаповка, к. 3, погр. 5; 57 — Потаповка, к. 3, погр. 4; 58 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5; 60 — Солнце, к. 4, погр. 3; 61 — Потаповка, к. 5, погр. 8; 62 — Синташта, СІІ, погр. 1

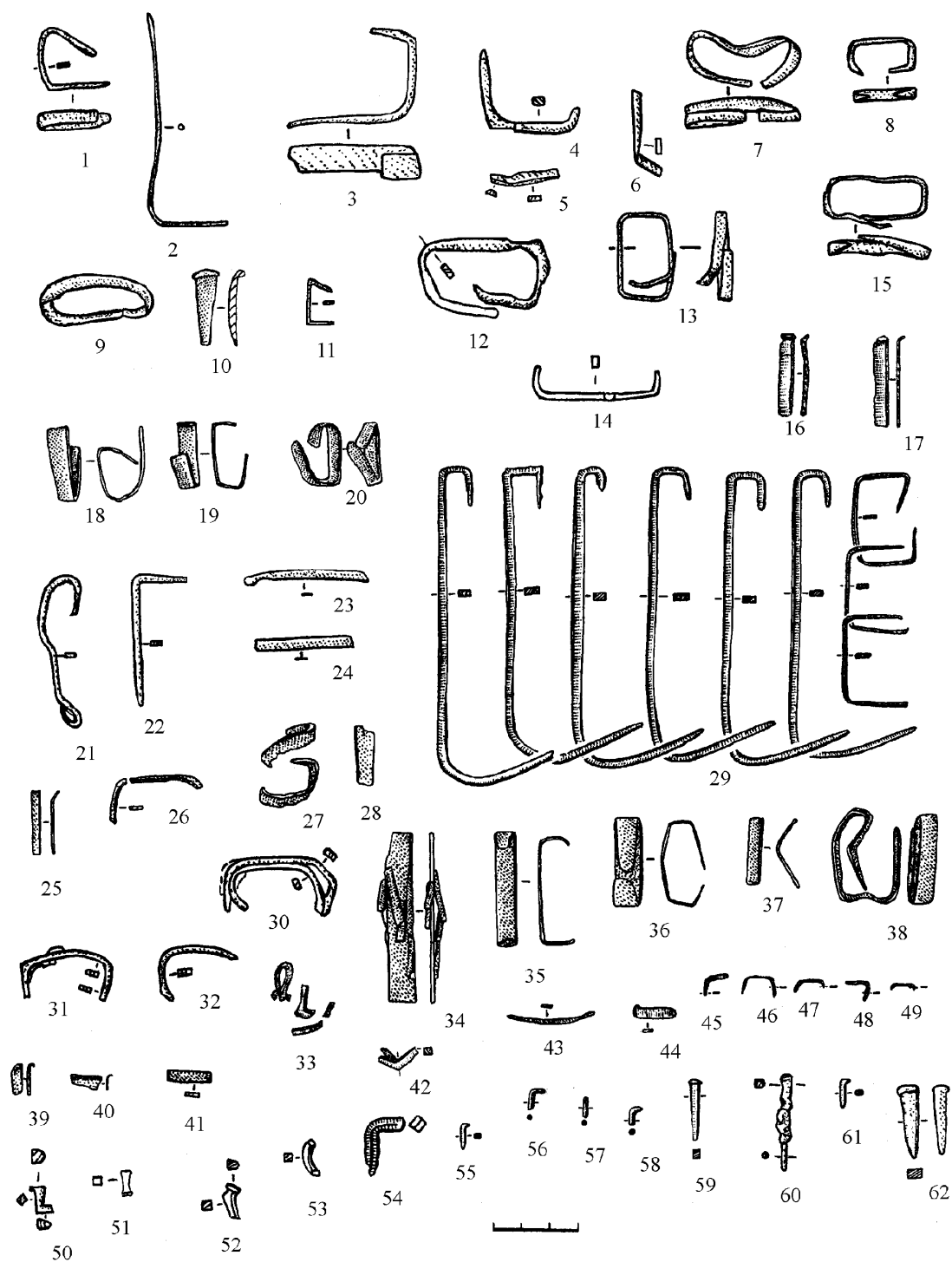


Рис. 6-19. Скрепки (3-9, 11-15, 18-20, 23, 24, 26, 35-38, 41, 43, 44), скобы (1, 22, 29, 30-32, 45-49, 54), гвозди (55, 59-62), фрагменты небольших пластин (10, 16, 17, 25, 27, 28, 33, 39, 40, 42), заклепки (50-53, 56-58), проволока (2, 21). 1, 2 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 17; 3, 60 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 8; 4 — Каменный Амбар, к. 2; 5, 6 — Синташта, СII, погр. 2; 7 — Потаповка, к. 3, погр. 8; 8 — Потаповка; 9 — пос. Синташта; 10, 18-20 — Синташта, СМ, погр. 28; 11 — Большекараганский; 12 — пос. Синташта; 13 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5; 14 — Синташта, СИ, погр. 14; 15 — Потаповка, к. 3, погр. 4; 16, 17 — Синташта, СМ, погр. 24; 21 — Тюбьяк, Р-VII; 22 — Тюбьяк, 1990, Р-3; 23, 24, 43, 44 — Синташта, СII, погр. 1; 25 — Синташта, СМ, погр. 22; 26, 28 — Синташта, СМ, погр. 23; 27 — Синташта, СМ, погр. 25; 29 — Синташта, СМ, погр. 2; 30-32, 50-53 — Синташта, СII, погр. 7; 33 — Синташта, СIII, погр. 1; 34-38 — Синташта, СМ, погр. 35; 39, 40 — Синташта, СМ, погр. 13; 41 — Синташта, СII, погр. 2; 42, 59 — Синташта, СМ, погр. 12; 45-49, 55, 61 — Синташта, СМ, погр. 6; 54 — Синташта, СМ, погр. 8; 56-58 — Синташта, СМ, погр. 39; 62 — Синташта, СМ, погр. 3

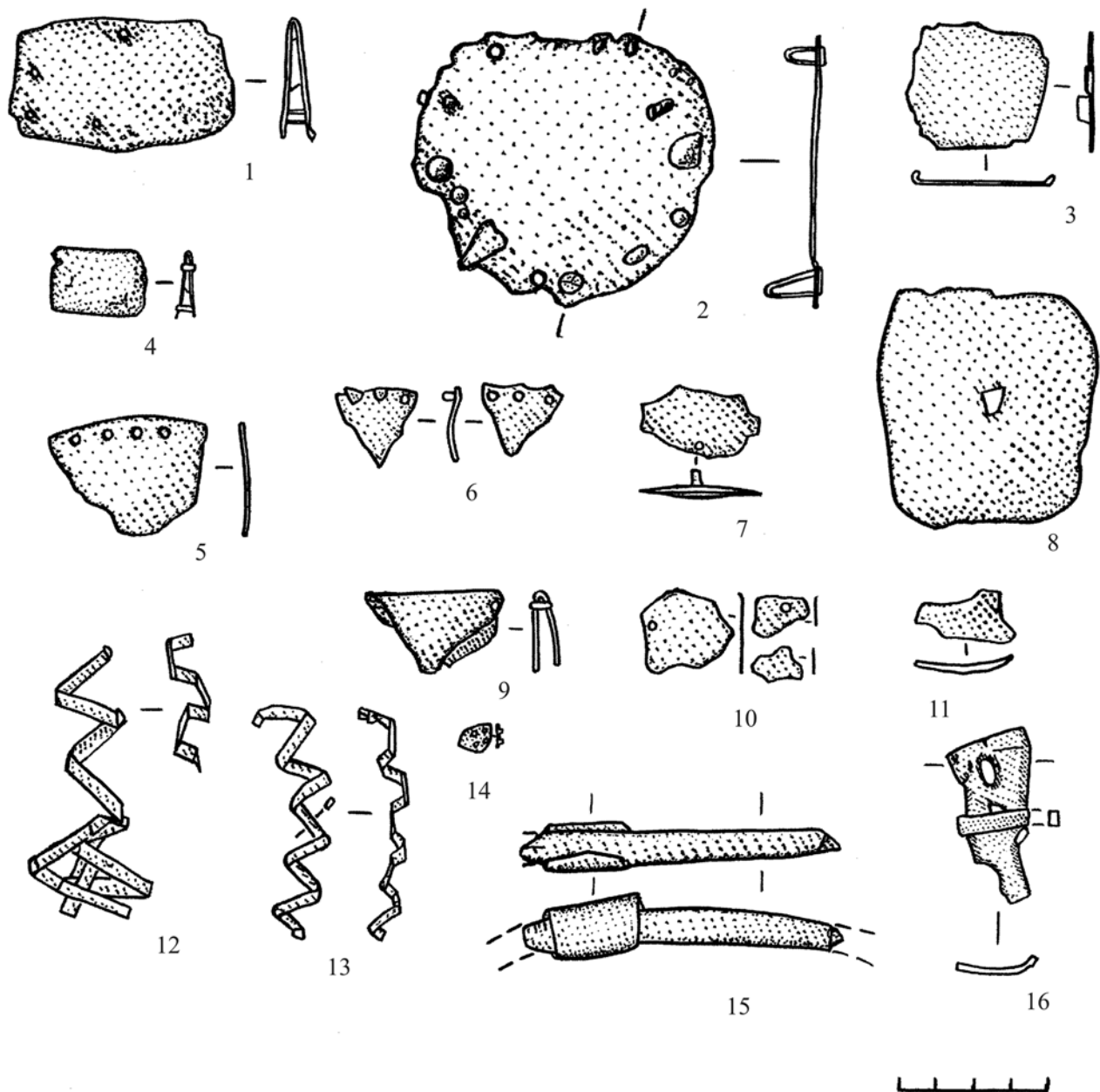


Рис. 6-20. Пластины и прочее (1,4-6,9 — накладки на край деревянного сосуда; 2, 3, 7, 8, 10, 11 — плоские пластины; 12, 13 — полосы; 14,16 — фрагменты предметов; 15 — стержень). 1 — Большекараганский, к. 24, погр. 1; 2, 16 — Большекараганский, к. 24, погр. 2; 3 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 6; 4 — Большекараганский, к. 24, погр. 9-1; 5 — Синташта, СІ, погр. 16; 6, 9 — Синташта, СІ, погр. 16; 7 — Синташта, СІІ, погр. 2; 8 — Тюбьяк, 1988,Р-ІІІ, 26/1; 10 — Синташта, СМ, погр. 15; 11 — Синташта, СМ, погр. 28; 12 — Солнце, к. 5, погр. 1; 13 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5; 14 — Синташта, СМ, погр. 19; 15 — пос. Синташта

Набор украшений в синташтинских и петровских памятниках представлен не столь широко и полно, как в абашевских, в особенности средневожских. Комплект сводится всего лишь к нескольким типам изделий (рис. 6-21, 6-22). Это *бусы*, в том числе с четырьмя шипечками, пронизи, желобчатые подвески в 1,5 оборота, круглые височные кольца, перстни в один и два оборота, иногда со спиралевидными завитками на концах, разомкнутые желобчатые браслеты со спиралевидными завитками на концах в отдельных случаях. Возможно, один фрагмент *очковидной подвески*.

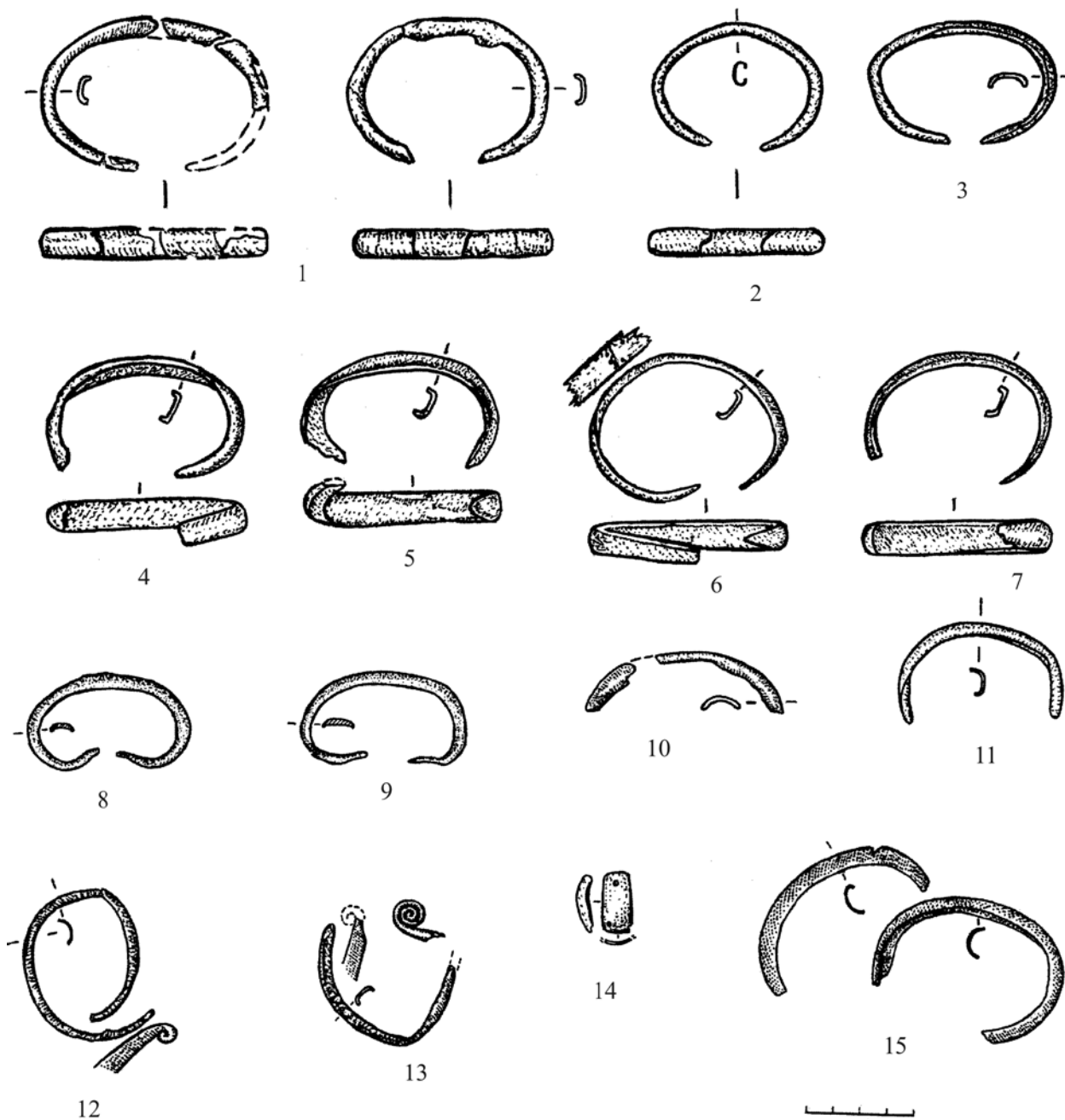


Рис. 6-21. Браслеты. 1 — Большекараганский, к. 20, погр. 3; 2 — пос. Синташта; 3 — Синташта, СІ, погр. 12; 4—7 — Потаповка, к. 3, погр. 8; 8, 9 — Синташта, СІ, погр. 11; 10 — Синташта, СІ, погр. 12; 11 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 12; 12, 13, 15 — Синташта, СІІ, погр. 2; 14 — Синташта, СМ, погр. 13

Специфическим типом являются *подвесные украшения* из серебра и пастовых бус, происходящие из могильника Синташта (рис. 6-23), которые, интерпретируются как нагрудник (Генинг и др., 1992, фото 52, рис. 99, с. 192, 318), но А. Д. Дегтярева справедливо относит их к накосникам, крепившимся к какому-то головному убору (2010, с. 128). Возможно, подобных наборов было больше, и изготавливались они не только из серебра. Бронзовая подвеска близкого типа известна в Потаповском могильнике (рис. 6-22.18). Еще одна происходит из могильника Жаман-Каргала I (Дегтярева, 2010, с. 128).

В абашевской культуре близкая ситуация наблюдается лишь в доно-волжских памятниках. В волго-уральских и, в особенности, средневолжских памятниках, наряду с перечисленным набором, присутствуют разнообразные в сечении браслеты с пристреленными

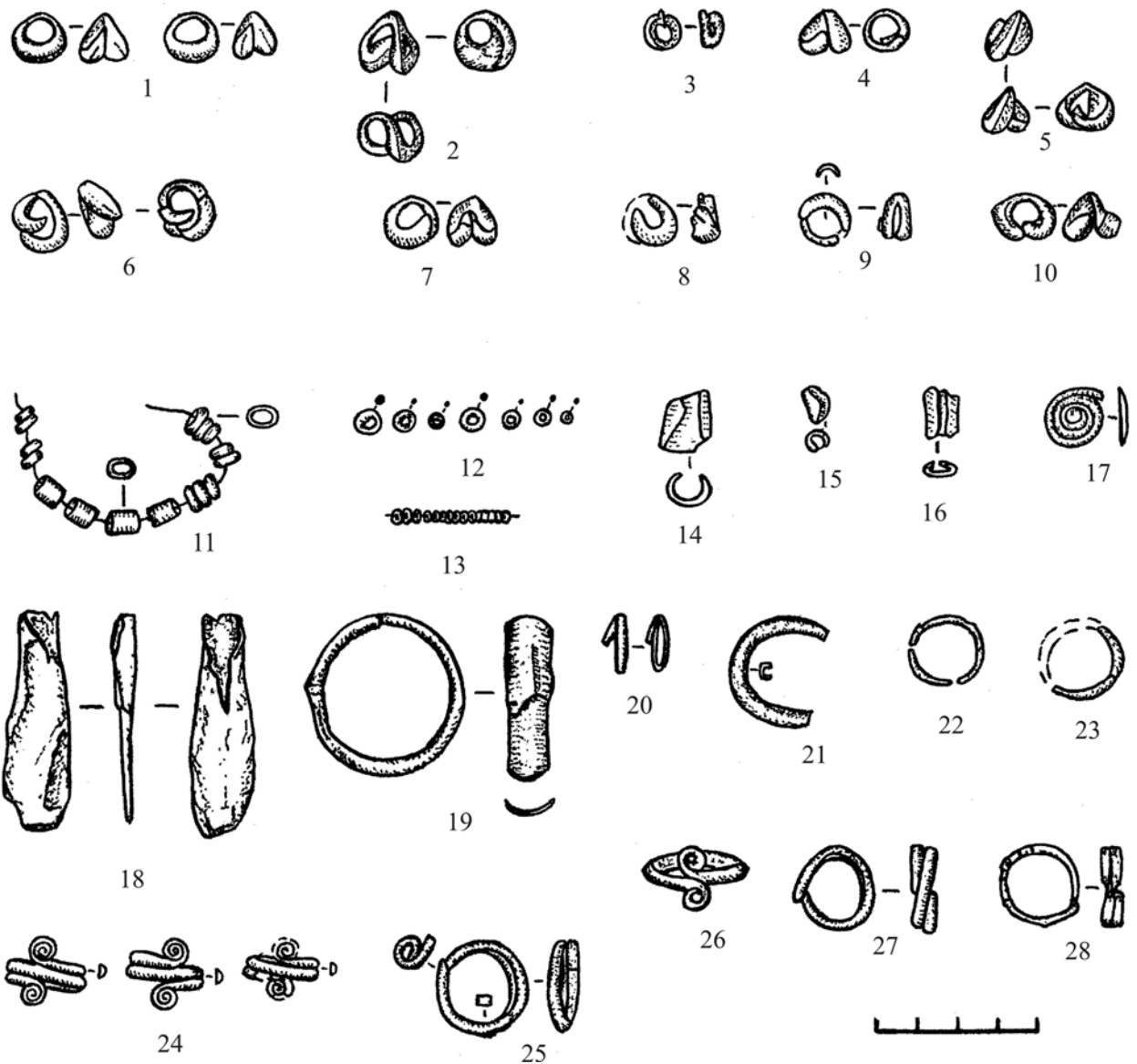


Рис. 6-22. Украшения. 1 — Синташта, СМ, погр. 2; 2 — Синташта, СІ, погр. 12; 3 — Потаповка, к. 3, погр. 5; 4 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 17; 5, 11 — Большекараганский, к. 20, погр. 3; 6 — Синташта, СМ, погр. 13; 7, 8, 23 — Синташта, СМ, погр. 17; 9 — Потаповка, к. 3, погр. 2; 10 — Потаповка, к. 3, погр. 8; 12, 18, 22 — Потаповка, к. 5, погр. 11; 13 — Синташта, СМ, погр. 5; 14 — Каменный Амбар, к. 2; 15 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 11; 16 — Потаповка, к. 2, погр. 4; 17 — Потаповка, к. 3, погр. 4; 19 — Большекараганский, к. 24, погр. 9-1; 20 — Большекараганский, к. 24, погр. 3; 21 — Потаповка, к. 1, погр. 4; 24 — Синташта, СМ, погр. 39; 25 — Синташта, СІ, погр. 9; 26 — Синташта, СІІ, погр. 7; 27 — Синташта, СІ, погр. 14; 28 — Каменный Амбар, к. 2, погр. 5.

1—10 — желобчатые височные подвески (1, 2, 5—10 — бронза; 3 — серебро; 4 — бронза, золото); 11—13 — бусы (бронза); 14, 16 — пронизи (бронза); 15 — коническая бусина из бронзовой фольги; 17 — фрагмент очковидной подвески (бронза); 18 — ножевидная подвеска (бронза); 19, 21—23 — кольцевые подвески и кольца (бронза); 20, 25, 27, 28 — кольца в 1,5 оборота (бронза); 24, 26 — кольца со спиралевидными окончаниями (бронза)

концами, бляшки-розетки, очковидные подвески, полусферические бляшки (Большов, Кузьмина, 1995, с. 110, 111; Кузьмина О., 1992, с. 49—58; Ефименко, Третьяков, 1961, с. 56—67; Халиков, 1961, с. 215—218; Черных, 1970, с. 71, 72; Кузнецов, 1983, с. 113).

Часть этих изделий, особенно имевших хождение в абашевской среде, была, вероятно, сформирована в лесной зоне Восточной Европы (Горбунов, 1990, с. 9, 10; Кузьмина О., 1992, с. 58). Вместе с тем, некоторые изделия, такие как очковидные подвески, известны достаточно рано на Кавказе и на Ближнем Востоке (Гаджиев, 1987, с. 7; Авилова,

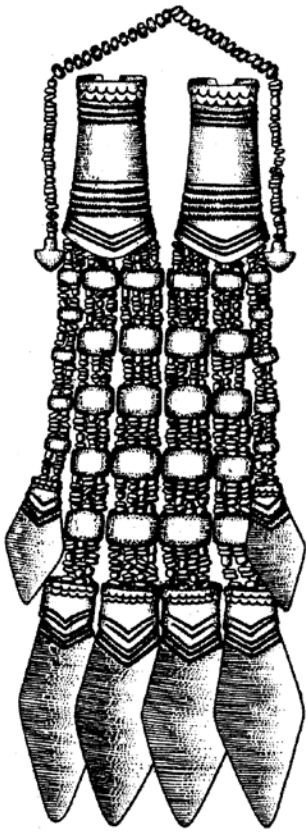


Рис. 6-23. Подвесное украшение из серебра и пастовых бус. Синташта, СМ, погр. 22. 1

Черных, 1989, с. 64; Археология зарубежной Азии, 1986, с. 116; Авилова, 2008, рис. 4.18), и не исключено их проникновение в Восточную Европу оттуда (Егорейченко, 1991). Но это может происходить раньше и не иметь отношения к формированию синташтинского набора, а может и иметь. Строгих данных тут нет. То же касается некоторых иных типов украшений — височных подвесок в 1,5 оборота, распространенных на Кавказе и у катакомбников (Техов, 1977, с. 56; Авилова, Черных, 1989, с. 67; Гаджиев, 1987, с. 10, 11) и пронизей (Авилова, Черных, 1989, с. 65; Гаджиев, 1987, с. 10).

Синташтинские наконечники аналогов в Восточной Европе не имеют. Золотые подвесные украшения, сделанные по тому же принципу, известны в Трое II (Авилова, 2008, рис. 1.3,4, 2.2, 3), но типологически они не идентичны.

Проблема генезиса синташтинского металлокомплекса

Проблема генезиса металлообработки синташтинской культуры уже рассматривалась нами (Григорьев, 1999, с. 111—113). К этому вопросу меня вынуждает вернуться новая работа В. В. Ткачева (2007, с. 279—287). По его мнению, корни синташтинской металлообработки следует искать в катакомбной среде, но поскольку прямой связи между синташтинской и катакомбной металлообработкой не прослеживается, то предполагается длительная эволюция катакомбных принципов в абашевской среде, восприятие в этой среде (и непосредственно синташтинскими металлургами) некоторых сейминских принципов металлообработки, что, в конечном итоге, и приводит к формированию синташтинского комплекса металла. Однако эта точка зрения наталкивается на серию противоречий, как конкретно типологических, так и системного характера. Абашевский комплекс металла тоже не имеет прямых связей с синташтинским. Мы не видим там этой декларируемой эволюции.

Сходство с приуральской абашевской металлообработкой, безусловно, может быть прослежено, но со средневожской синташтинская несопоставима ни по морфологическим, ни по технологическим основаниям (Дегтярева, 2010, с. 134, 145). Обращаем внимание также на то, что все приводимые параллели в катакомбной среде (и В. В. Ткачевым и выше в этом тексте) относятся к позднекатакомбному времени.

Поскольку позднекатакомбные и абашевские культуры в Восточной Европе сменяются позднебронзовыми срубными древностями, роль сейминского фактора (а это тоже переход к ПБВ) в формировании синташтинской металлообработки становится на место. Но в этом случае мы должны относить эту культуру к началу ПБВ и синхронизировать с ранними срубниками? И это даже без обсуждения сомнительной и недоказанной проблемы длительной эволюции катакомбной металлообработки в абашевской среде! А как быть с хорошо показанным (Васильев и др., 1994) формированием ранних срубников покровского типа на потаповской основе? А потаповские памятники формируются на синташтинской основе (Отрощенко, 2000, Григорьев, 1999). Может быть, стоит попробовать изменить это соотношение и попытаться показать формирование синташты из потаповского типа? Попытка заведомо бесперспективная! Здесь показаны только некоторые из парадоксов. Эту тему можно значительно расширить, доведя ситуацию до полного абсурда, хотя даже вышесказанным он, на мой взгляд, уже достигнут.

Исходя из вышеприведенного анализа отдельных категорий изделий, можно сделать следующие заключения. Синташтинский комплекс металла не выводим из абашевского. Есть отдельные изделия, на примере которых это еще можно обсуждать. Но с тем же успехом можно обсуждать и вопрос одновременного привнесения этих типов в синташтинскую и абашевскую среду, хотя отдельные абашевские включения вполне допустимы.

Более объемны связи с катакомбной металлообработкой, что проявляется как в металле, так и в рецептурах сплавов, на что уже обращали внимание исследователи (Дегтярева, 2010, с. 88, 147). И этот подход В.В. Ткачева правомерен. Но, если обращаться к конкретным параллелям, эти связи в наибольшей степени проявляются на позднем этапе существования катакомбной культуры. Следовательно, представляется допустимым и вывод о том, что в начале СБВ II некоторые новые категории изделий, проникают и в позднекатакомбную среду и оказывают формирующее воздействие на синташтинский металлокомплекс. Как мы видели, целый ряд изделий имеет параллели в южной зоне ЦМП. Некоторые из этих изделий имеют длительный генезис на юге. Но мы можем допускать их более раннее, досинташтинское проникновение в Восточную Европу и внедрение в синташтинскую металлургию уже из Восточной Европы с тем же успехом, как и непосредственное внедрение с юга. При любом варианте абсолютно точные типологические соответствия встречаются не часто. Для отдельных категорий инвентаря более предпочтительными оказываются восточноевропейские корни, для других — ближневосточные. Но явно и то, что в начале СБВ II в Восточной Европе наблюдается определенная трансформация металлокомплекса, и наиболее очевидными причинами этой трансформации оказываются именно южные связи.

Глава 7. Хронология, генезис и структура синташтинской металлургии

Хронологические рамки синташтинской культуры

Прежде, чем обсуждать возможные истоки синташтинской металлургии, необходимо определиться с ее хронологическими рамками. Синташтинскую культуру относят к началу эпохи поздней бронзы, к какому-то переходному этапу между средней и поздней бронзой или к концу средней бронзы. Проблема эта вызвана тем, что хронологически синташта синхронна комплексам средней бронзы на западе и поздней бронзы на востоке. Когда-то я объяснял это тем, что в рамках первого этапа Евразийской металлургической провинции формирующие импульсы были разнонаправлены, и система обладала значительным динамизмом (Григорьев, 1994). Но проблема в том, что в синташтинской культуре присутствуют вещи, которые в более раннее время встречаются в комплексах Циркумпонтийской металлургической провинции периода СБВ, и вещи, характерные для комплексов Евразийской провинции ПБВ. Понятно, что в данном случае важны историко-металлургические критерии. В этой связи А. Д. Дегтярева (2010, с. 142) пишет, что «В инвентаре отсутствуют изделия, в частности топоры, отлитые в не полностью закрытых формах. Именно по этим причинам синташтинский металл невозможно атрибутировать эпохой средней бронзы в рамках Циркумпонтийской провинции, что обосновывается некоторыми исследователями»¹. Будучи одним из этих некоторых исследователей, должен заметить, что из вышеприведенного анализа синташтинской металлообработки, произведенного самой А. Д. Дегтяревой, однозначно следует, что литье в полностью закрытые формы в синташтинской культуре встречалось редко, по сути дела, это касается только топоров, стрел и части ножей, и сложное литье освоено не было. Более того, попытки применения оловянных сплавов выказывали недостаток опыта работы с этим материалом. Отсюда вопрос: имеем ли мы право на основании одних топоров относить синташтинскую культуру к ПБВ? Если да, то следует ли пересмотреть хронологию Ближнего Востока, где втульчатые топоры хорошо известны в комплексах СБВ? Кстати, оловянные бронзы в это время там тоже хорошо известны, хотя не доминируют. Вопрос в базовых технологиях. Мышьяковые сплавы являются неизменным атрибутом ЦМП и менее свойственны ЕАМП (если не рассматривать синташтинские и абашевские комплексы), подтверждение чему можно найти в любой работе Е. Н. Черных. А. Д. Дегтярева сама полагает возможным соотносить синташтинскую металлообработку именно с катакомбной, и, анализируя материал, мы действительно обнаруживаем в катакомбном комплексе много параллелей. Главное же заключается в отсутствии оловянных лигатур и сложного литья.

Однако любое рассмотрение синташтинской культуры (в рамках СБВ или ПБВ) не помогает продвинуться в решении проблемы формирования ее металлообработки, поскольку для этого важно соотношение с иными культурами. Можно привести множество примеров тому, как с комплексами эпохи бронзы сосуществуют неолитические.

Вопрос относительной хронологии синташты обсуждался в 2005 г. в Челябинске в рамках круглого стола «Происхождение и хронология синташтинской культуры». Там не было, естественно, принято единой точки зрения, но большинство специалистов склонялось к мысли о синхронизации синташты с абашевской культурой, поздними катакомбниками и частично с сейминско-турбинскими комплексами (Происхождение и хронология..., 2010). Вопрос относительной и абсолютной хронологии синташты я рассматривал довольно подробно, причем, абсолютная хронология базировалась на

¹ Кстати, мне не удается вспомнить автора, который рассматривал синташтинскую культуру в рамках ЦМП, хотя о ее отнесении к СБВ и писали. Речь о том, что начальную фазу ЕАМП можно рассматривать в рамках СБВ II.

типологическом анализе и сопоставлении с ближневосточными и центральноевропейскими комплексами, а не на радиоуглеродном датировании, которого мы коснемся ниже (Grigoriev, 2002, р. 106—108, 130—137; Григорьев, 2010а). Это позволило синхронизировать синташтинскую культуру с абашевскими (для доно-волжской абашевской культуры допустимы и более поздние даты), с поздними катакомбными, частично с сейминско-турбинскими памятниками, которые возникают позже, но и существуют некоторое время после синташтинской культуры. Абсолютные даты синташты определены в системе калиброванных радиоуглеродных дат в пределах первой четверти II тыс. до н. э. Тот же интервал демонстрируют и радиоуглеродные даты при вероятности 68,2% (Епимахов, 2010). Это говорит, в целом, о корректности этого интервала. Необходимо, впрочем, отметить, что Е.Н. Черных предлагает иной, несколько более широкий интервал, полученный на 42 датах при той же вероятности — 2200—1650 гг. до н. э. (Черных, 2007, рис. 5.1, 5.10). Мы не будем обсуждать здесь причин этого расширения интервала и того — какой из них более корректен. Это проблема специализированных исследований. К радиоуглеродному методу вообще достаточно много вопросов¹, но он неплохо работает на больших выборках и позволяет сопоставлять хронологические диапазоны различных культур. В данном случае нас интересует именно последнее. Поэтому, даже при допущении неправомочности дат, в рамках одной методики обработки их сопоставление вполне корректно. Е. Н. Черных приводит там же диапазоны катакомбных (2650—1850 гг. до н. э.) и абашевских (2200—1650 гг. до н. э.) дат. Соответственно, мы видим, что абашевская культура полностью синхронна синташтинской, как и поздние катакомбные культуры. Вместе с тем, синташту можно синхронизировать с сейминско-турбинскими памятниками, а на позднем этапе с ранними срубными (там же). Все это вполне соответствует тому, что вытекает и из анализа материала, и должно лежать в основании решения проблемы происхождения синташтинской металлургии.

Истоки синташтинской металлургии

Одной из характеристик металлокомплекса является соотношение приуроченности металла к определенным типам памятников, морфологических классов изделий и типов лигатур. Эту проблему мы неоднократно обсуждали (напр. Grigoriev, 2002, р. 74—76), поэтому здесь мы не будем касаться приуроченности металла к типам памятников или соотношения морфологических классов друг с другом. В конечном счете, эти параметры отражают скорее социальные и ритуальные аспекты, чем технологические, а здесь хотелось бы не отклоняться именно от технологического аспекта. Поэтому лишь соотношение типов лигатур является вопросом принципиальным. Доминирующие в синташте мышьяковые лигатуры в предшествующее время (СБВ) в Волго-Уральском регионе почти не употреблялись. Исключением является баланбашская или уральская абашевская металлургия, если от общего обзора территории переходить к более конкретным объектам. И как мы увидим впоследствии, связь прослеживается и по иным технологическим признакам, а не только по лигатурам и типам изделий. Но абашево не предшествует синташте. К тому же, тот же вопрос об истоках уральской абашевской металлургии будет правомерен в той же мере, в какой он правомерен применительно к синташтинской металлургии. Со Средней Волги ее точно вывести невозможно. Это правомерно и для металлообработки (Дегтярева, 2010, с. 134) и для металлургии.

¹ В частности, с точки зрения статистики доверительный интервал 68,2% не слишком достоверен, а интервалы близкие 90% настолько широки, что не оставляют пространства для внятного обсуждения. И это не единственный парадокс. Поэтому Р. А. Мимоход совершенно прав, называя эту хронологию не абсолютной, а радиоуглеродной, подчеркивая, тем самым, ее условный характер и корректность внутри себя, а не при сопоставлении с иными системами периодизации и хронологии (Мимоход, 2009, с. 51).

В Балкано-Карпатском регионе металлурги предпочитали оловянную бронзу и чистую медь, мышьяковая же бронза им уступает. Сопоставления возможны со степной зоной Восточной Европы, Кавказом, Анатолией, Левантом и Месопотамией (Сernykh et al., 1991, p. 601; Черных, 2007, рис. 4.2). Последний район, впрочем, можно не рассматривать, так как в него металл ввозился.

Поскольку, как показано выше, легирование производилось на стадии плавки руды, то поиски исходного ареала для синташтинской металлургии должны осуществляться в районе, где известна не только металлообработка, но и собственно металлургия. Это позволило мне в свое время (Григорьев, 1994; 2000, с. 514) отказаться от катакомбного ареала Восточной Европы, поскольку там следы металлургии не известны, и предполагается, что металл в этот район ввозился из каких-то районов к югу от Кавказского хребта¹ (Черных, 1966, с. 47, 69). Однако не исключено, что вопрос этот попросту не разработан должным образом. Тем не менее, катакомбная зона, как источник для возникновения синташтинской металлургии маловероятна, поскольку легирование в синташтинской металлургии осуществлялось какими-то мышьяково-никелевыми минералами, и это теснейшим образом было связано с последующими операциями по металлообработке. Соответственно, наиболее приемлемым является ареал, где в мышьяковых бронзах зафиксированы примеси никеля. Таковые хорошо известны в майкопской культуре, отделенной от синташты слишком большим хронологическим промежутком, но где эти примеси тоже технологически обусловлены. Поэтому речь должна идти о том, что эта технология легирования мышьяково-никелевыми минералами проникала на север дважды.

Важной параллелью является также разработка и плавка руд в ультраосновных породах, что характерно для синташты и для районов офиолитового пояса Ближнего Востока, включающего Юго-восточную Анатолию, в результате чего мы имеем даже идентичные микроструктуры шлака. Использование именно этих руд на Урале мало оправдано, и это указывает на существование прочной технологической традиции. Не исключено, что эти традиции использованной рудной базы, технологии плавки и легирования на стадии плавки руды каким-то образом связаны. Плавка руд из ультрабазитов не требовала столь высоких температур и продолжительности, как плавка руд из более кислых пород, что препятствовало возгонке мышьяка². Проблему, конечно, можно было решить, но для этого было необходимо помещать в печь исключительно чистые куски малахита и плавить без получения шлаковой массы, что не могло быть основой для относительно массового производства. Существует еще один технологический элемент, тесно связанный с необходимостью плавки руды при невысоких температурах. В плавку поступала преимущественно окисленная руда с примесью вторичных сульфидов. Но при плавке этой руды было необходимо создавать восстановительную атмосферу, что решалось путем генерации монооксида углерода дутьем из колодца. Другой конструктивный элемент синташтинских печей — это дымоходы, которые способствовали удалению серы и мышьяка за пределы помещения.

¹ Гораздо менее значимым мотивом этого отказа было отсутствие в СБВ Восточной Европы сплавов с оловом, в ограниченном количестве представленных в синташтинской культуре и в большей степени на юге ЦМП, но нам не ясна пока природа синташтинских оловянных бронз. Они могли быть привнесены в качестве технологической традиции вместе с формирующим импульсом, но тогда возникает вопрос — из каких источников бралось сырье для этой лигатуры на Урале? Поэтому представляется более оправданным рассматривать их как признак контактов с сейминско-турбинскими популяциями на каком-то этапе существования синташтинской культуры. Хотя доказать аналитически именно это происхождение данного металла пока не представляется возможным, как и его относительно позднюю хронологическую позицию в рамках синташтинской культуры.

² И в этой связи представляется вполне оправданным осуществить поиск в районах распространения медного орудения в ультрабазитах в Предкавказье с целью выявления следов горно-металлургического производства майкопской культуры.

Но с этими технологическими операциями теснейшим образом связаны и технологии металлообработки, поскольку мышьяковые бронзы, а тем более бронзы с примесью никеля, было необходимо проковывать при определенных режимах. Отсюда вытекает и набор типов металла, которые возможно произвести, используя эти технологии, хотя в данном случае вариации уже допустимы, но есть и безусловные ограничивающие факторы, препятствующие возможности производства того или иного типа. Совершенно очевидно, что использование чистой и легированной меди требовало различных приемов изготовления изделий и позволяло производить различные типы этих изделий. С другой стороны, использование оловянных и мышьяковых лигатур тоже ориентировано на различные типы и требовало различных литейных и кузнечных операций, разных режимов кузнечных операций (Дегтярева, 2010, с. 14—19).

И здесь обращает на себя внимание то, что для синташтинской металлообработки, ориентированной, в первую очередь, на производство изделий из мышьяковой бронзы, характерно совершенство кузнечных технологий, высокая их приспособленность именно к этому виду сырья и крайне низкий уровень брака, что отражает следование устойчивой технологической традиции.

Поэтому возникнуть эта металлообработка могла лишь в регионе, где существовала длительная традиция использования мышьякового металла. На приуральских памятниках ямной культуры известно лишь три изделия, которые содержат более высокие концентрации мышьяка, и для них предполагается кавказское происхождение. В этом плане показателен нож из мышьяковой меди из Болдыревского I, который сделан по резко отличной технологической схеме (отлит и обработан холодной ковкой со степенью обжата 50—60%), в то время как другие ямные ножи обрабатывались в температурном интервале 600—800 °С или 900—1000 °С, из чего делается вывод о прямом импорте этого изделия (Дегтярева, 2010, с. 44, 45, 50).

С точки зрения металлообработки, как набора лигатур, рассмотренного выше, степени легированности, так и технологий, и типов изделий ареал параллелей тоже лежит в рамках ЦМП, хотя для северной зоны ЦМП эти параллели, преимущественно, относятся к позднекатакомбному времени, что синхронно синташте. В южном же блоке ЦМП возможные параллели известны на Ближнем Востоке. Поэтому можно предполагать, что какой-то формирующий импульс проникает с юга на север при переходе между СБВ I и СБВ II, переформируя катакомбную КИО и формируя синташтинскую культуру.

Очень важным являются и установленные факты металлургии свинца и серебра, поскольку корни этой технологии анатолийские.

Обсуждая формирование синташтинской металлургии, мы должны обсуждать не истоки отдельных ее элементов, а **тесно взаимосвязанный** комплекс последовательных производственных циклов, когда черты следующего цикла обусловлены предыдущим. И здесь мы не касаемся даже проблем горного дела, хотя при внимательном изучении этого вопроса наверняка выяснится, что существуют некие специфики поиска руд в ультрабазитах, по сравнению с поисками руд в иных породах, специфики добычи и последующей обработки этой руды при подготовке к плавке. Эта мысль может быть нова для археологов, но единодушно признается археометаллургами, которые рассматривают это производство как систему сложных взаимосвязанных операций (см. напр. Roberts et al., 2009, p. 1016).

Исходя из всего сказанного, наиболее приемлемым ареалом, откуда могла появиться синташтинская металлургия в Зауралье, является юго-восточная часть ЦМП.

Анализируя материалы синташтинской культуры, мы предполагали появление ее носителей именно из этого региона в результате миграции (Григорьев, 1996, 1999; Grigoriev, 2002). Характер металлургии подкрепляет этот вывод. Можно сколь угодно дискутировать о возможности заимствования через значительные расстояния черт мате-

риальной культуры или архитектурных традиций, но рассуждать о возможности переноса довольно сложных взаимосвязанных технологических цепочек без непосредственного появления носителей этой технологии нельзя. На невозможность диффузии металлургических технологий через безрудные районы уже указывалось в археометаллургической литературе (Craddock, 1999, p. 176). Мы обсуждали то, как сложно экспериментаторам воспроизвести процесс плавки руды, хотя, как будто, мы все об этом процессе знаем. Тем не менее, в археологии довольно популярны высказывания о переносе или заимствовании идей, без конкретизации причин и механизмов этого переноса.

Самое удивительное то, что подобное порой допускается и для технологий. Так, А. Д. Дегтярева допускает возможность передачи технологий через тысячи километров, при этом технологий, которые уже много веков отсутствовали на исходной территории, но существовали в латентном состоянии в виде идей, приводя в пример традиции металлопроизводства ямных племен Приуралья, которые напоминают стереотипы и навыки металлообработки балкано-карпатских племен эпохи энеолита (Дегтярева, 2010, с 58). В этой связи представляется полезным напомнить приведенные Е. Н. Черных примеры, когда в XVIII веке, в начале русской разработки Каргалинских рудников, В. Геннин вынужден был искать мастера, способного этот тип руды плавить. Другой пример — категорический отказ дагестанских кузнецов выковывать изделие нового типа, причем этим кузнецам с трудом удавались даже хорошо знакомые им изделия, но несколько иного размера (Черных, 2007, с. 28, 29, 177).

В случае с синташтинской металлургией мы имеем комплексную смену руды, технологий ее плавки, легирования, требовавшего точного выбора последующей температурыковки и ее режимов, и многое иное. Внедрение этого комплекса невозможно без длительного обучающего процесса. Поэтому миграционный характер появления этого производства представляется несомненным.

Структура производства

В свое время, анализируя структуру производства синташтинско-абашевского времени, я обращал внимание на то обстоятельство, что на пространстве от Дона до Средней Волги и Южного Зауралья известно лишь два района, где присутствуют следы металлургического производства: это район синташтинских городищ в Зауралье и абашевские памятники Приуралья в среднем течении р. Белой. Соответственно в пределах синташтинско-абашевской культурной общности выделялось две зоны: металлопроизводящая и металлопотребляющая (Григорьев, 2000, с. 519). Это не противоречило и картине, которую предлагал Е.Н. Черных, полагая, что мышьяковые бронзы (в его терминологии естественные бронзы, полученные с месторождения Таш-Казган) распространялись далеко на запад, в другие ареалы этой общности (Черных, 2007, с. 82). А. Д. Дегтярева (2010, с. 143) тоже полагает, что из ареала зауральской синташтинской культуры металл в виде слитков распространялся на восток, в петровскую среду, и на запад (потаповские памятники, приуральская абашевская культура, в меньшей степени абашевцы Поволжья и Подонья). Таким образом, в этом вопросе наблюдается определенный консенсус у основных исследователей проблемы.

Однако это отсутствие местных разработок, особенно в районах, где известны местные ресурсы, настораживает. В первую очередь, следует обратить внимание на то, что в средневожской абашевской культуре доминирует чистая медь. Следует ли из этого, что металлурги Урала поставляли туда именно ее? Вряд ли. Мы видели, что доля мышьякосодержащих шлаков на синташтинских памятниках, в целом, близка доле синташтинских мышьяковых бронз. Соответственно, какие-то преднамеренные выборки металла для торговых операций не производились. Можно допустить, что мышьяковый металл распространялся, южнее, где он действительно есть. Но подобная селекция еще

более удивительна, к тому же, к западу доля этого металла неизменно уменьшается, что в совокупности только усугубило бы ситуацию.

Поэтому следует предполагать наличие собственного, вероятно, ограниченного горного дела и металлургии на Средней Волге. Они пока не выявлены из-за незначительного количества раскопанных поселений. Это весьма маломощное производство, так как основная масса находок представлена мелкими украшениями, абсолютно непоставимыми по массе с изделиями синташтинских металлургов. Не исключено, что объемы производства различались на два порядка, и в этом случае в плавку мог поступать сравнительно чистый малахит, не дающий на выходе шлака. Налицо и дефицит легирующего компонента, вероятно, отсутствовала и определенная потребность в нем, так как типы изделий, литейные и кузнечные технологии его не требовали. Но именно последнее заставляет предполагать наличие собственной плавки руды, ориентированной именно на эти технологии.

Иначе обстоит дело с приуральской абашевской культурой, поскольку на ее поселениях следы плавки руды представлены достаточно хорошо, а на поселении Тюбяк в шлаке присутствует такая же доля мышьяка, как и в Зауралье. Поэтому оснований говорить о синташтинском импорте металла абашевцам Приуралья не существует.

Более проблематично обстоит дело с потаповскими памятниками. Поскольку представлены они исключительно могильниками, следы собственной плавки руды не могут быть выявлены. Но настораживает то, что в потаповском могильнике Утевка найдены два кусочка шлака, полученных при плавке руды из ультраосновной породы, которые химически не отличались от основной синташтинской коллекции. Более того, один из этих образцов содержал 0,1% мышьяка (таб. 5-23), соответственно, имела место плавка, давшая мышьяковую бронзу, так как было бы безумием обсуждать возможность импорта шлака. Соответственно, имели место местные аналогичные плавки. И строгих оснований говорить о синташтинском импорте металла за пределы зоны синташтинских городищ не существует.

Что касается импорта металла в петровскую среду, то в силу поздней хронологической позиции петровской культуры, лишь частично сосуществовавшей с синташтинской, это могло иметь место в самом конце существования синташты, и не может использоваться в реконструкции структуры синташтинского производства. Но даже для этого позднего периода существуют вопросы, так как шлак, полученный при плавке руды из ультраосновных пород, выявлен на петровском поселении Семиозерки II на Тоболе (Евдокимов, Григорьев, 1996). В нем не содержится в достаточной степени мышьяка, но и коллекция этого шлака не очень велика. К сожалению, надежно расчленить шлак из уральских многослойных синташтинско-петровских памятников не представляется возможным. Но и петровскому металлу не характерны массовые примеси мышьяка. Поэтому говорить о серьезных поставках металла на восток не представляется возможным до тех пор, пока не появится качественная аргументация, построенная на анализах и учитывающая вышесказанные соображения.

Торговлю (обмен) металлом внутри синташтинского ареала обсуждать и вовсе бессмысленно, поскольку не существует синташтинского поселения без следов металлургического производства.

Исходя из всего сказанного, можно допускать, что какое-то количество металла шло за пределы синташтинского ареала, какое-то обращалось внутри этого ареала, но количество такого металла было невелико, и эти гипотетические поставки не имели системного характера. Существовали, к тому же, синташтинские миграции за пределы основного ареала, которые вели к формированию потаповских памятников на западе и петровских на востоке. Ощутим синташтинский компонент в абашевской культуре Приуралья и Подонья. Часть металла могла поступать с этими миграциями, часть в виде

слитков или изделий, благодаря сохранению связей с исходной территорией. Иногда, судя по шлаку Утевки, привозилась руда. Определить соотношение типов попадания металла на ту или иную территорию сложно или невозможно. Но ситуация с Утевкой не может не настораживать. Если поставки руды (или походы за рудой) на такое расстояние имели место, они не могли играть заметную роль из-за неэкономичности этой процедуры. Поэтому сам факт наличия этого шлака указывает, возможно, на отсутствие систематически налаженных поставок металла.

К тому же, синташта не представляется специализированным металлургическим центром, хотя с самого открытия этих памятников об этом достаточно часто пишут (напр. Виноградов, 2003, с. 267—269, но это типично для большинства авторов). Существует даже представление о том, что сами городища были построены для защиты рудных источников и о контроле некой элиты за металлургическим производством (Кузьмина, 2003, с. 9, 10). Но эти предложения базируются не на конкретной аргументации. Отрицать саму по себе возможность существования поселков или целых районов, специализирующихся на металлургическом производстве, конечно, нельзя. В некоторых районах Того в начале XX века функционировали сотни металлургических печей. Целые деревни специализировались на добыче руды, плавке, кузнечном деле, углежжении. При этом везде в Африке металлургия была семейным делом (Goucher, Herbert, 1996, p. 40, 44). Но для синташты доказательств такой специализации никем не приводилось. Были лишь заявления на этот счет.

Есть несколько аспектов проблемы. В первую очередь не является доказанным, что в синташтинском обществе было такое уж обилие металла, хотя я отдаю себе отчет, что у всех коллег подобная постановка вопроса вызовет изумление. В действительности, подавляющее число находок металла в синташте связано с погребальными комплексами. Находки на поселениях не столь значительны, как и находки иного материала. Последнее тоже не является доказательством чего бы то ни было, поскольку специфика синташтинских городищ в том, что на них почти нет свободных от жилищ пространств, а сами жилища вычищались. Но даже с учетом этой оговорки памятники ПБВ насыщены металлом в гораздо большей степени. Ориентироваться же на погребальный обряд для оценки объема металла в том или ином сообществе вряд ли правомерно. Например, исходя из синташтинского обряда, когда в могилу могли положить туши целых животных и множество частей других животных, мы не можем делать вывод о практике ежедневных попыток едой в этом сообществе.

Кроме того, округа синташтинских городищ неплохо изучена, тем не менее, соотношение числа погребенных с вероятным числом популяции несоразмерно. Явно существовали какие-то иные более экономичные способы обращения с телом, и далеко не факт, что в этих случаях тоже в погребениях использовалось много металла.

Поэтому любые разговоры об особенно металлоносной культуре правомерны, когда речь идет о синташтинской археологической культуре, но они не могут распространяться на синташтинское общество. Возможно, в рамках этого общества действительно циркулировало много металла, но строгих доказательств тому нет.

Общим местом в археологии являются и утверждения о роли металла в развитии древних обществ, как экономическом, так и социальном (напр., применительно к синташтинскому обществу см. Hanks, Doonan, 2009, p. 329). Но это правомерно, вероятно, лишь для некоторых регионов и относительно позднего времени. Так, анализ, осуществленный М. Бартельхаймом показал, что, несмотря на важность металла и на то, что он был престижен, выступая часто атрибутом элиты, в РБВ Средней Европы (а это соответствует по времени синташтинской культуре) он не играл такой большой роли в формировании элиты или в экономическом развитии, как другие продукты, такие как соль, рабы и т.д. Его роль сильно переоценена (Bartelheim, 2009, p. 41). Все разговоры

на эту тему не более, чем разговоры. И для синташтинской экономики важен был скот, а не металл.

Невозможно обсуждать и контроль некой элиты за металлургическим производством. Хотя бы потому, что оснований для вычленения элиты синташтинские памятники не дают (Григорьев, 1999, с. 120—131; Епимахов, 2003, с. 87). Это внешнее от них впечатление, как и впечатление особой металлоносности. И городища не служили для защиты рудников, поскольку, как мы видели, львиная доля руды происходила не с самых богатых, но удобных именно для синташтинских технологий, рудников, расположенных, к тому же, по большей части, за пределами ареала этих городищ. И в районе самих рудников никому не пришло в голову строить укрепленные поселения, хотя погребальные памятники там известны.

Мы не будем обсуждать вариантов эксплуатации мелких рудников в кварцевых породах, которые могли эксплуатироваться населением близлежащих поселений. Здесь решающей проблемой является вопрос: каким образом была организована эксплуатация ведущих рудников в ультраосновных породах, которые располагаются достаточно компактно (если не будут выявлены какие-то иные рудники), и за пределами ареала городищ? Как мы видели из анализа шлака, руда с этих рудников, в первую очередь, Ишкининского, поступала на различные синташтинские поселения. Более того, она же поступала в поздней фазе существования культуры в ареал петровской культуры в При-тоболье и на запад, к потаповским популяциям, хотя в последнем случае невозможно сказать, насколько регулярно это производилось. Последние две культурные группы не следует слишком отрывать от синташтинской культуры. Сформировались они на синташтинской основе, и те различия, которые мы наблюдаем в археологическом материале не столь разительны, чтобы само синташтинское население воспринимало эти группы как совершенно чужеродные. И нельзя забывать об абашевском поселении Тюбяк, где выявлен шлак того же типа, к тому же по шлаку и руде намечены химические связи с материалами поселения Устье.

Существует, как минимум, три варианта. Первый из них связан с тем, что руды в ультраосновных породах являются довольно бедными, и их транспортировка на значительные расстояния должны была быть экономически нецелесообразна. Мы уже высказывали свои сомнения по поводу возможности дальних транспортировок руд с Каргалинских рудников (Григорьев, 2004). В данном случае речь идет не о столь отдаленных районах, но проблема остается. Не исключено, что решение проблемы следует искать в характере синташтинских памятников этого региона, которые хорошо представлены, но исключительно могильниками (Ткачев, 1995, 2007). Мне уже приходилось останавливаться на том, что в районе синташтинских городищ было недостаточно биоресурсов для выпаса скота, поэтому предполагалось доминирование синташтинской популяции с обложением данью соседей (Григорьев, 1999, с. 131). Не снимая полностью этого тезиса, хотелось бы отметить возможность сезонного отгона скота на иные летние пастбища, что и будет объяснять характер памятников Оренбуржья. Это могло сопровождаться сезонными работами на рудниках этого региона со складированием руды и попутным вывозом при перегоне стад осенью в Зауралье. Косвенным образом данная гипотеза может подкрепляться обнаружением в одном из геологических разрезов на Ишкининском руднике небольших складов руды (Зайков и др., 2005). В этом случае, безусловно, население всего синташтинского ареала не могло отгонять скот в одну точку. Поэтому данная модель либо неприемлема, либо может рассматриваться лишь частично. Вариантом ее являются походы в этот район представителей отдельных поселений. Но как в этом случае налаживалось распределение этих руд по другим поселениям? Решать этот вопрос со временем надо будет на основе анализа руд и шлаков.

Недавно, на основе анализа ограниченного количества синташтинских шлаков с поселения Степное была предложена идея вывоза с рудников не руды, а штейна, из чего следовал вывод о многоступенчатом процессе плавки и необходимости осуществления контроля за этим процессом. В этих шлаках не было обнаружено остатков руды, но были включения расплавов меди и сульфида. Из этого был сделан вывод о том, что в плавку поступала сульфидная руда, которую плавил на штейн, а на поселениях осуществлялась уже его переплавка (Hanks, Doonan, 2009, p. 347—349). Но эта идея вытекает из неверно интерпретированных анализов металлургических остатков, хотя сам подход (то, что любая социальная реконструкция, связанная с металлургией, должна базироваться именно на анализах металлургических остатков) не может не импонировать. В синташтинских плавках использовались окисленные руды с примесью вторичных сульфидов, и руда часто не сохраняется, но во многих шлаках она есть, как есть и руда на поселениях. Но плавки первичных сульфидов для этого времени не зафиксированы, а только они могут давать штейн. Поэтому процесс был одноступенчатым, и сохраняется проблема транспортировки руды.

В Альпах в эпоху бронзы, судя по всему, не было владения месторождениями определенных групп, проживавших рядом с месторождениями. Сезонные походы в горы за рудой осуществлялись из низовий (Kienlin, Stöllner, 2009, p. 89). Поэтому какие-то вариации таких походов были, вероятно, и на Урале.

Наконец, несмотря на отсутствие фактов, можно допускать возможность того, что на рудниках работали какие-то постоянные группы, которые обменивали затем руду. Но подобные обмены из-за бедности руды тоже представляются сомнительными.

В конечном счете, какая-то ясность в этом вопросе может появиться только после выявления здесь поселений горняков и сопоставления материалов этих поселений с материалами основного синташтинского ареала.

Примечательно то, что производство находилось на поселениях. Обсуждая энеолитическую металлургию, мы говорили о том, что это типично для архаичных стадий производства. В позднем бронзовом веке Кипра плавки осуществлялись уже около рудников (Koucky, Steinberg, 1982, p. 128). Но причины этого не ясны. В этот период на Кипре уже интенсивно плавил сульфидные руды, поэтому отказ от плавки на поселениях мог быть мотивирован газами, выходящими из печи при плавке этих руд. С другой стороны, в это время на Кипре плавки ведутся в огромных объемах, производство уже имело товарный характер. Однако последнее не всегда вызывает перенос производства на рудники. В харапский период в Индии плавку тоже осуществляли на поселениях, находящихся на значительном удалении от месторождений. Причем, везли руду в достаточно больших объемах: на некоторых поселениях раскопками выявлено до 40—50 кг руды (Babu, 2003, p. 175, 176).

Поэтому обращение к иным регионам не дает понимания синташтинской ситуации. Нужно исходить из местных конкретных фактов. И на сегодняшний день фактов, свидетельствующих о существенных обменных операциях, как металлом, так и рудой, на уровне синташтинского ареала или отдельных поселений нет.

Трудно говорить о какой-то специализации и внутри поселков, так как специализированные мастерские полностью отсутствуют, а шлаки обнаруживаются в каждом жилище. То есть внутри, совершенно однозначно, не существовало каких-то домохозяйств, специализировавшихся на металлургическом производстве. Можно допускать внутреннюю специализацию среди семейных коллективов, когда кто-то занимался этим чаще, а другие, по возможности, выполняли вспомогательные работы. Но это не ремесленное производство.

Наконец, если допустить поставки металла — кто выступал субъектом подобных операций: домохозяйство (если этот термин вообще для синташтинской культуры уместен)

или клан отдельного поселения (если это были родовые кланы, а не соседские, чего мы, на самом деле, тоже не знаем)? Но уж наверняка не те специалисты, которые занимались этим чаще. Наконец для этой эпохи не редкость, когда вещи, связанные с металлургическим производством (руда, шлак, каменные молотки или наковальни) находятся в, так называемых, «элитных» погребениях. Можно, конечно, порассуждать об «особом социальном статусе металлургов», но в жилой архитектуре это не проявляется.

Необходимо помнить и о том, что объемы производства были невелики. Вес получаемых в результате одной плавки слитков укладывается в промежуток 50—130 г.

Из всех этих фактов и складывалось впечатление о домашнем характере синташтинского ремесла. Критикуя этот мой подход А. Д. Дегтярева (2010, с. 146) вслед за В. М. Массоном характеризовала это ремесло как общинное с высокопрофессиональной продукцией. Но последняя оценка не абсолютна, ремесло это несопоставимо с уровнем последующего позднебронзового, ее вообще рассматривать не следует, так как нам не удастся найти для этого строгих критериев. Что касается общинного характера, то доказательств этому нет. Наверняка походы за рудой или обмен руды (мы пока не знаем что здесь предпочтительней) организовывались на уровне поселка, и эти проблемы каким-то образом согласовывались с иными поселками. Не исключено, что какие-то операции, например, производство древесного угля, организовывалось, как минимум, группами от нескольких жилищ, так как подготовка леса для этого достаточно трудоемкая процедура, а выжиг в незначительных объемах менее рационален. Но являлся ли в русских деревнях коллективный летний выпас личного скота или покос свидетельством общинного характера ремесла? Это общинный характер части работ. Другие аргументы А. Д. Дегтяревой (невозможность плавки в каждом жилище или импорты металла) мы уже рассматривали.

Исходя из всех фактов, ощущение того, что эти поселки были специализированными металлургическими, не складывается. Поэтому эпитет «общинное или клановое ремесло» к ним, вероятно, не применим. Может термин «домашнее ремесло» тоже не удачен. Я не готов на нем жестко настаивать. Вопрос не в терминах, а в том, что стоит за ними в действительности. Но мне кажется, что пока разговоров о ремесле в синташтинском обществе следует избегать.

Вообще, при реконструкции социальных аспектов древней металлургии археологи часто создают некие теоретические модели, которые базируются на ранних более или менее удачных высказываниях других коллег, но не на анализе материала. Подобные модели необходимы, но надо прекрасно понимать их место: это только гипотезы, которые позволяют впоследствии разработать и осуществить исследовательскую процедуру, то есть, наметить пути решения поставленной проблемы. К сожалению, ситуация иная. Эти гипотезы быстро подхватываются, повторяются и дополняются, обретая, в результате, внешние признаки разработанной теории, что избавляет от необходимости серьезной аналитической работы. Но проблема социальной системы, в которой существует металлургическое производство, стоит остро. И это не проблема историко-металлургических исследований, в них существуют разные точки зрения, но они основаны на анализе материала, потому могут обсуждаться, сопоставляться, корректироваться. По социальным структурам, как правило, дальше пространственных разговоров дело не идет. Поэтому делать детализацию этой проблемы применительно к металлургическому производству и вовсе невозможно.

Генезис синташтинской металлургии

Синташтинская металлургия возникает в результате масштабного миграционного процесса из юго-восточного ареала ЦМП, что приводит к значительному расширению территории, охваченной металлургическим производством. В Северной Евразии по-

являются более совершенные технологии, как металлургии, так и металлообработки, базирующиеся на употреблении легированного мышьяком металла. Однако этим новым технологиям не суждено было развиваться и распространиться по более обширным пространствам, хотя распространение потомков синташтинской культуры в этом регионе в начале ПБВ было более чем масштабным. Оно выразилось в формировании в степи и лесостепи Восточной Европы срубной культуры, а в Азиатской зоне, вплоть до Центрального Казахстана и Средней Азии — алакульской. Однако вскоре после формирования синташтинской культуры мы наблюдаем новый мощный импульс, который привел к переоформлению всей системы производства на этой обширной территории. Этот импульс исходил с востока, хотя истинные его корни являются проблемой очень серьезной дискуссии. Речь идет о формировании и распространении сейминско-турбинской металлургии и металлообработки, а затем федоровской. Эти два процесса надолго определили характер металлургического производства в Северной Евразии.

Глава 8. Металлургическое производство на территории Башкирского Приуралья

Рудные источники Башкирии

Значительной рудоносной зоной Башкирии является Учалинский район на востоке (рис. 8-1). Крупнейшее месторождение здесь Учалинское медноколчеданное, однако оно не имеет выходов на поверхность, и не могло быть использовано в древности. Здесь есть и серия месторождений с развитой зоной окисления, в которой минерализация представлена, преимущественно, малахитом и азуритом. Руда располагается в кварцевых жилах или кварцевых породах (Таш-Казган, Никольский, Вознесенский, Нарали, Поляковское и др.). Окислы железа в этой руде представлены незначительно и колеблются в пределах 1—10%. В руде Таш-Казгана присутствуют значительные примеси мышьяка, что позволило связать с ней мышьяковые бронзы абашевского времени. Руда Никольского характеризовалась повышенным содержанием серебра. На Никольском руднике руда приурочена к метаморфизированным магматическим зеленокаменным породам. На всех рудниках известны следы ранних работ (Заварицкий, 1929, с. 103, 131, 133, Черных, 1970, с. 41—44). На месторождении Ургун и руднике Майлы-Юрт, с многочисленными древними выработками, окисленные руды размещаются в хризоловом серпентините с включениями магнетита.

Месторождения Таналык-Баймакского района на юго-востоке Башкирии имеют многочисленные следы старых работ. На большинстве медноколчеданных месторождений этой зоны добыча руды в древности была невозможна (Черных, 1970, с. 44). Исключением из них — Бакр-Узяк, которое является типичным медноколчеданным месторождением в порфирах и кварцевых альбитофирах, и было перекрыто «железной шляпой» мощностью 3,5—18 м, которая почти не содержит меди. Основные сульфидные минералы располагаются на глубине 43—58 м и для добычи в древности были не доступны. Однако под «железной шляпой» располагалась зона вторичного обогащения с богатыми рудами — халькозином и ковеллином (Заварицкий, 1927, с. 117—124; Иванов, 1929). Месторождение имеет и мощные выходы окисленных руд (малахит, азурит, куприт) на поверхность и довольно крупный древний карьер. Здесь найдены также крупные медные слитки типа «литейных чаш», что маркирует, по-видимому, именно древнее производство. В разведывательной траншее было выявлено два слоя эксплуатации рудника — более мощный русский и более древний. Найденные шлаки связаны с поздним слоем. Руда характеризовалась повышенными концентрациями сурьмы, что объясняется ее формированием из медноколчеданных руд (Черных, 1970, с. 40, 41). Не исключено, что могло разрабатываться и другое медноколчеданное месторождение района — Южный Юлук, на котором присутствовали следы старых работ, и где руда окисленной зоны представлена смесью малахита и лимонита с низким содержанием кварца и высоким содержанием меди и железа (Заварицкий, 1927, с. 139). Кроме того, по соседству, на территории Челябинской области от Верхнеуральска до Верхне-Кизильского и Бакр-Узяка, имеется ряд месторождений в базальтах и диабазах. Руда располагается по трещинам и в порах и сопровождается кварцем, образующим жилы. Минерализация представлена малахитом, азуритом, купритом и самородной медью. На многих месторождениях имеются следы древних работ (Заварицкий, 1929, с. 120—122; Черных, 1970, с. 40, 41).

В огромном ареале вдоль западных склонов Урала от Перми до Оренбурга распространены месторождения меди в песчаниках. Южная, Оренбургско-Уфимская, зона этой огромной провинции имеет длину 600 км, а ширину 100 км. На запад от Урала она вытянута на 350 км, достигая, практически, берегов Волги. На востоке месторождения данного типа начинаются от долготы Уфы. Таким образом, большинство наших памятников находится вблизи месторождений этого типа. В общей сложности, здесь

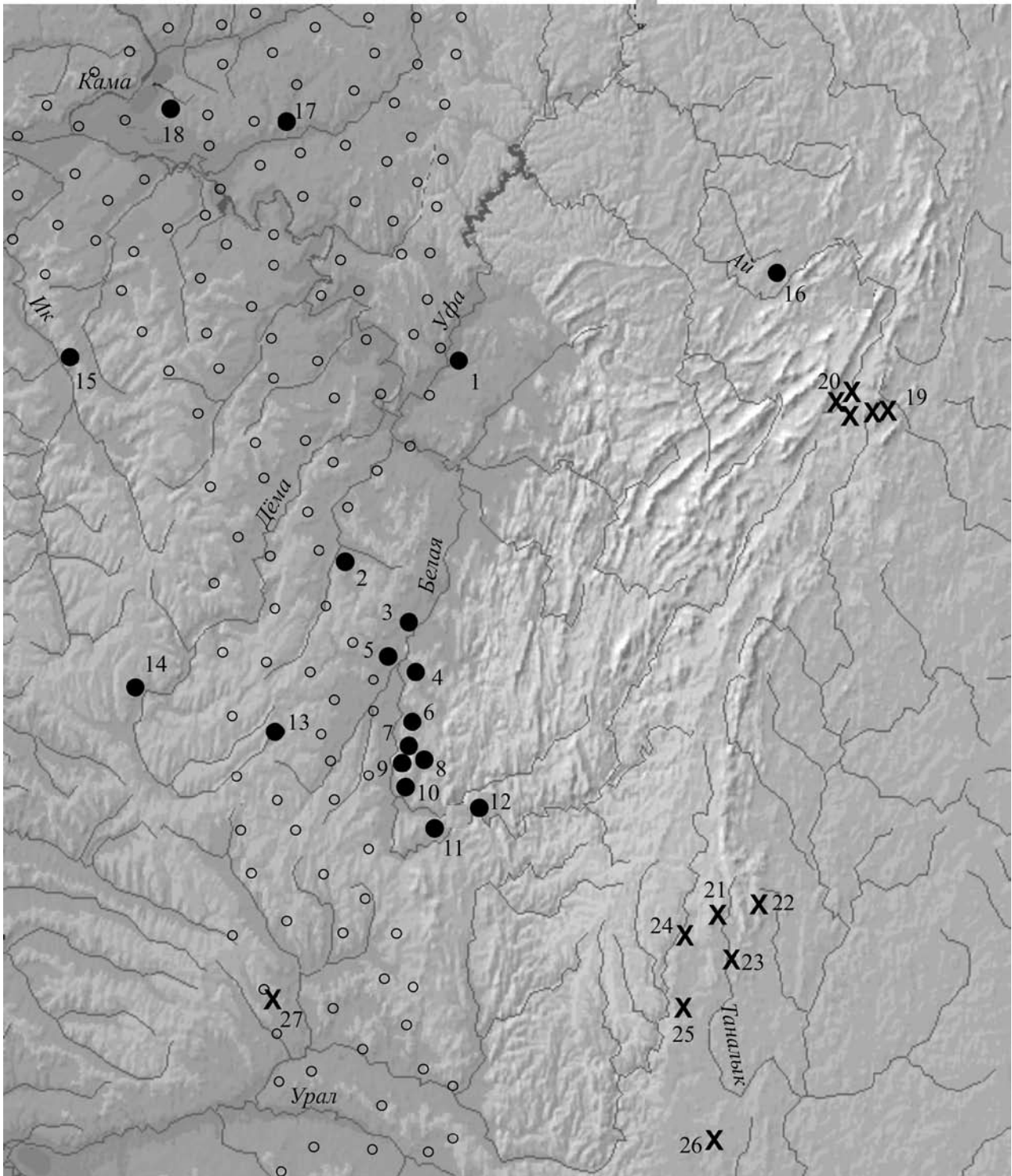


Рис. 8-1. Карта распространения памятников древней металлургии и рудники в Башкирии: Поселения: 1 — Байгильдино; 2 — Чишминское; 3 — Баланбаш; 4 — Урняк; 5 — Новобарятино; 6 — Юмаково I; 7 — Юмаково II; 8 — Юмаково III; 9 — Береговское I; 10 — Береговское II; 11 — Тюбяк; 12 — Верхнебиккузино; 13 — Сергеевское; 14 — Аитово; 15 — Сасыкуль; 16 — Юкалекулевское; 17 — Новокизганово; 18 — Какрыкуль; Рудники: 19 — Таш-Казган, Никольский; 20 — Вознесенский, Нарали, Поляковское, Ургун, Майлы-Юрт, Учалинское; 21 — Бакр-Узяк; 22 — Сибайский; 23 — Баймакский; 24 — Юлук; 25 — Ивановское; 26 — Ишкининское; 27 — Каргалы. Кружками обозначена зона распространения медистых песчаников

насчитывается 2800 точек выходов медистых песчаников. Эти месторождения связаны с разрушением колчеданных месторождений Урала. Основными минералами являются малахит, куприт, встречается халькозин, ковеллин и борнит. Однако сульфидные минералы не столь характерны. Руде часто сопутствуют лимонит и гидрогетит. В песчаниках присутствует кварц. Известны старые выработки. Однако свидетельства древней добычи имеются лишь в районе концентрации самых богатых руд Каргалинских рудников. Наиболее богатая минерализация связана с растительными остатками, замещаемыми медью. Встречается медь и в прослойках глин, конгломератах и мергелях. Минерализация в песчаниках менее значительная. Руды представлены в виде разбросанных скоплений с вытянутыми телами длиной от 20 до 1000 м и мощностью 0,1—0,4 м. Как правило, руда рассеянная, скопления в линзах, в виде цемента песчаника и мергеля (Яговкин, 1932, с. 54, 55; Сатпаева, 1958, с. 135—145; Черных, 1970, с. 48; Наркелюн и др., 1983, с. 7—13). Для нашего понимания ситуации очень важно следующее явление. При постепенном окислении руды в месторождениях этого типа происходит ее очищение от многих примесей, что является важной характеристикой меди МП. Вместе с тем, необходимо учитывать, что разрушению подвергались уральские месторождения различных типов, поэтому состав рудовмещающей породы и самих песчаников на различных рудопрооявлениях может различаться.

Минералогические анализы шлака

В общей сложности было сделано 92 минералогических анализа шлака с помощью микроскопа в отраженном свете, 18 визуальных определений руды и 125 спектральных анализов¹. Анализу были подвергнуты шлаки и несколько образцов руды. Были проанализированы минералогически также шлаки с рудников Бакр-Узяк, Ургун и Таш-Казган, однако их описание здесь не приводится, и минералогия этого шлака не обсуждается, поскольку этот шлак может датироваться и поздним временем. Использование этих шлаков в спектральном анализе было вызвано необходимостью сопоставить химический состав древних шлаков с химическим составом шлака, который может быть получен при плавке руд этих месторождений. Исследованные образцы неравномерно распределены по территории Башкирии. Подавляющее их число сконцентрировано в среднем течении реки Белой, что обусловлено, вероятно, лучшей рудной базой этого региона.

Шлаки абашевского времени

Абашевский шлак был обнаружен на нескольких поселениях Приуралья: Береговское I, Юмаково I, Юмаково III, Тюбяк, Урняк (рис. 8-1). К сожалению, для анализа не удалось получить шлаки с поселения Баланбаш, которые в коллекции не сохранились. Все эти поселения находятся в одном районе среднего течения реки Белой.

На Береговском I поселении раскопками многих лет, осуществленными К. В. Сальниковым, А. Д. Пряхиным и В. С. Горбуновым вскрыто около 3000 м². На памятнике выявлена абашевская и срубная керамика. Последняя встречается вместе с алакульской и приурочена к верхним горизонтам культурного слоя (Горбунов, 1986, с. 24, 25; 1992, с. 65). Исследованный шлак относится к третьему горизонту памятника и датируется абашевским временем. Помимо шлака на поселении выявлено большое количество абашевских плавильных чаш.

Поселение Юмаково I раскапывалось В. С. Горбуновым в 1981 году. На памятнике преобладает керамика развитого этапа срубной культуры, но встречается раннесрубная посуда с расчесами и ребром, баланбашская (абашевская) и алакульская. Найдены обломки двух абашевских литейных чаш (Горбунов, 1992, с. 67). Обнаруженный шлак

¹ Автор выражает признательность В. С. Горбунову, Ю. А. Морозову, М. Ф. Обыденнову и Е. Н. Черных, оказавшим помощь в сборе материала.

относится к абашевскому времени, хотя нельзя до конца исключить его возможную связь с раннесрубным периодом.

Поселение Юмаково III исследовано В.С. Горбуновым в 1983 году. Основную массу керамики составляет срубная. Ей уступает абашевская керамика, происходящая из нижнего хронологического горизонта. Обнаружено небольшое количество покровской (раннесрубной) и алакульской посуды. Найдено также около 100 обломков литейных чаш и кусочки руды (Горбунов, 1992, с. 68, 69). Исследованный образец шлака происходит из горизонта 3. Вероятно, он относится к абашевскому времени.

На поселении Тюбьяк выявлены строительные остатки абашевского, срубного и межовского времени. При этом ранние и поздние материалы располагались на различных площадках (Горбунов, 1992, с. 71). Исследованный шлак датируется абашевским временем. Поселение Урняк исследовано К. В. Сальниковым и относится к уральской абашевской культуре (Сальников, 1954; 1957; Горбунов, 1992, с. 63).

Абашевские шлаки по ряду параметров близки синташтинским. Они представлены либо плоскими лепешками с закраинами, идентичными синташтинскому шлаку (Юмаково I, Тюбьяк), либо бесформенными, изредка уплощенными, кусками пористого тяжелого шлака (Юмаково I, Тюбьяк, Урняк¹), что тоже не чуждо синташтинской коллекции, либо кусками черного рыхлого сажистого шлака (Береговское I, Юмаково III) (таб. 8-2).

Таб. 8-2.

Распределение разных форм шлака по абашевским памятникам Приуралья

Поселение	Шлаковые лепешки	Бесформенный шлак	Рыхлые комки шлака	Всего шлака
Береговское I			3	3
Тюбьяк	6	14		20
Юмаково I	1	2		3
Юмаково III			1	1
Урняк		1		1
Всего:	7	17	4	28

Последний тип для синташтинской коллекции абсолютно не характерен. Здесь же, несмотря на небольшое количество образцов (всего 4), он обнаружен на двух памятниках, поэтому при увеличении выборки, наверняка, будет выявлен еще. Общее количество проанализированного шлака невелико, всего 28 образцов, поэтому распределение отдельных типов шлака по памятникам не показательным, и мы его обсуждать не станем. Все это лишь на качественном уровне отражает характер абашевской металлургии.

Наличие шлаков, сходных с синташтинскими по форме, дублируется и сходными микроструктурами. Здесь можно выделить те же минералогические группы, что и группы, выделенные на синташтинском материале (таб. 8-3). Группа I характеризуется включениями хромитов, маркирующих связь руды с ультраосновными породами. Группа II содержит включения кварца и связана с кварцевыми породами. Группа III содержит включения и хромитов и кварца. Поскольку, судя по синташтинской ситуации, минералогически она близка группе I, мы эти группы здесь опишем вместе, тем более, что незначительное количество образцов не позволяет делать каких-то детальных различий. Это было затруднительно для этих групп даже на синташтинском материале. Наконец, группа IV идентична аналогичной синташтинско-петровской группе и включает в себя купритизированные шлаки из кварцевых пород. Единственным отличием от синташтин-

¹ Образец шлака с поселения Урняк был представлен обломком рыхлой шлаковой лепешки (обр. 51) с крупными порами и включениями древесного угля. В первую группу он не включается по той причине, что у этой лепешки отсутствовали характерные для синташтинского шлака закраины, маркирующие очень низкую вязкость расплава. Поэтому, в принципе, это бесформенный шлак, но за счет чуть большей вязкости он приобрел более уплощенную форму.

Распределение минералогических групп шлака по абашевским памятникам Приуралья

Поселение	I	II	III	IV	V	Всего шлака
Береговское I					3	3
Тюбяк	7	4	3	6		20
Юмаково I	1	2				3
Юмаково III					1	1
Урняк				1		1
Всего:	8 (28,6%)	6 (21,4%)	3 (10,7%)	7 (25%)	4 (14,3%)	28 (100%)

ских шлаков является наличие небольшой группы V, куда вошли все рыхлые сажистые шлаки. Корреляция остальных минералогических групп с формами шлака идентична синташтинской: шлаковые лепешки характерны для I минералогической группы, а бесформенные шлаки — для двух других, что вполне объяснимо более силикатным составом и, соответственно, более высокой вязкостью расплава.

В шлаке I и III минералогических групп основным включением являются призматические и таблитчатые кристаллы оливина, между которыми прорастают игольчатые и скелетные формы, и количество оливина довольно высоко. В шлаках поселения Тюбяк наблюдается тенденция к тому, что мелкие игольчатые и скелетные кристаллы приурочены к верхней поверхности шлаковых лепешек. Связано это с тем, что скорость остывания расплава в этой зоне была выше. Часто крупным кристаллам оливина свойственна зональная структура. Их наружный слой светлее, чем внутренняя часть. Это обусловлено тем (судя по синташтинским шлакам, где делался химический анализ этих частей), что внутренняя часть кристаллов была более магнезиальная, а наружный слой более обогащен окислами железа.

Вторым ведущим компонентом в шлаках этой группы является магнетит. Он представлен октаэдрами различных размеров, скелетами и дендритами. Содержание магнетита обычно не превышало нескольких процентов. Часто он образует кайму вокруг зерен хромита, и часть магнетита формируется за счет отделения этих каемок, но часть формируется за счет распада каких-то зерен железных оксидов. Хорошая представленность в шлаке хромитов маркирует его формирование из ультраосновных, как правило, серпентинизированных пород, что было весьма характерно для шлаков синташтинской культуры.

Медь представлена в шлаках этих групп в виде мелких корольков, и ее содержание не превышает 1—2%. Корольки куприта встречаются реже. К тому же, в некоторых случаях это вторичное образование, сформировавшееся за период, когда шлак находился в культурных слоях памятника. Однако в шлаке Тюбяка корольки куприта иногда несколько деформированы и крупнее медных. Поскольку куприт более вязок и тугоплавок, чем медь, подобные включения образовались явно в ходе металлургических реакций. В образце шлака с Юмаково I встречаются нерасплавленные зерна куприта.

Из рудных минералов выявлены зерна малахита (основной минерал), куприта, ковеллина и халькозина. Иногда присутствуют ассоциации этих минералов, что указывает на то, что они поступали в плавку вместе случайно (таков характер руды), и это не было признаком преднамеренной компоновки шихты. Встречены также редкие зерна борнита и мелкие единичные халькопирита. Присутствие сульфидов маркируется также расплавленными корольками изотропного медного сульфида¹ и халькозина. Изредка сульфидная кайма окружает медные корольки.

¹ Данный сульфид очень распространен в шлаке. Он формируется, главным образом, из ковеллина и халькозина в результате удаления некоторого количества серы. В природе подобного минерала не существует. По своим цветовым характеристикам он близок куприту, но не формирует характерные для последнего внутренние рефлексии. В отличие от анизотропных вторичных сульфидов этот минерал изотропен.

Таким образом, мы наблюдаем идентичность микроструктур шлака синташтинским образцам соответствующих минералогических групп. Это дает нам право распространять на этот шлак выводы, основанные на синташтинском материале. В плавку поступала руда из основных пород. На это указывает хорошее присутствие в шлаке зерен хромита. Спектр руды очень широкий — от малахита до ковеллина, борнита и халькопирита, хотя последние два минерала особой роли в плавке не играли, а попадали в шихту случайно.

В шлаке II минералогической группы рудовмещающей породой был кварц. За счет силикатного состава и недостатка железистого компонента (зернышки магнетита встречаются, но их немного) оливиновая кристаллизация в этом шлаке прошла значительно хуже. Она представлена зародышами кристаллизации, иголками, реже удлиненно-скелетными формами. Встречаются корольки меди, куприта и медного сульфида, сформировавшегося, вероятно, из ковеллина. Иногда сульфид образует кайму вокруг корольков меди, что отражает непосредственное восстановление меди из сульфида. Некоторые участки стекла подкрашены мелкими медными корольками. Но в целом содержание корольков меди не превышает 2%. Куприт расплавлен, но не перегрет, так как его корольки очень часто деформированы и редко образуют правильную форму. Рудных минералов встречено мало, но, судя по отдельным включениям и сульфидам, основной рудой был малахит, однако использовались и вторичные медные сульфиды типа ковеллина и халькозина, как и в шлаке вышеописанных групп.

Технологически все три описанные группы едины¹. Их различие связано только с сырьевой базой. Они целиком соответствуют синташтинской технологии плавки. Специальные расчеты объема шихты в данном случае не проводились, но можно допускать, что объемы были сопоставимые (около 1 кг шихты с получением 50—130 г меди). Плавка велась при температуре 1200—1300 °С. Остывал расплав медленно, в печи, в условиях восстановительной атмосферы, потери металла незначительные. Вероятно, все сказанное более детально о синташтинской технологии вполне применимо и к этой группе абашевского шлака.

От этих групп отличается **IV минералогическая группа** шлака, которую, как и в синташтинско-петровской коллекции, характеризует высокая степень купритизации. Шлак насыщен корольками, реже зернами, куприта, В шлаке Урняка выявлены мелкие дендриты куприта, часто формирующиеся вокруг разнонаправленных иголок делафоссита. Последние в этом шлаке обусловлены большим, по сравнению со шлаком Тюбьяка, присутствием железных минералов. Здесь выявлен магнетит в виде скопления мелких октаэдров, реже мелких скелетов, но количество его невелико. Меди в шлаке, по сравнению с купритом, меньше. Вокруг крупных корольков меди может быть кайма куприта и мелкие купритовые корольки внутри. Не всегда есть уверенность, что все эти шлаки получены в результате плавки руды. Некоторые могли быть литейными шлаками, так как в отдельных шлаках Тюбьяка рудные минералы не зафиксированы. В прочих шлаках этой группы руда представлена малахитом, особенно его много в шлаке Урняка. Из возможной рудовмещающей породы встречаются лишь мелкие включения кварца.

Таким образом, в плавку поступал малахит в кварцевой породе при наличии небольшого количества железистого компонента. Температуры были довольно высокие (1250 °С или чуть выше), поскольку куприт расплавлен, а дутье интенсивным. Вероятно, состав был силикатный. Отсутствие сульфидов при интенсивном дутье вело к значительной купритизации. При выпадении из расплава дендритов куприта и затвердевании его

¹ Наблюдаются лишь некоторые вариации. Так в обр. 388 с Юмаково I вязкость расплава (судя по меньшим потерям меди) была ниже, а температуры, вероятно, чуть выше, как и степень купритизации. Здесь сформировались изредка даже иголки делафоссита и дендриты куприта. Это объясняется тем, что из-за силикатного расплава в стремлении снизить вязкость было чуть интенсифицировано дутье, что привело к большей купритизации.

корольков при понижении температуры ниже 1250 °С расплав стал очень вязким и быстро застыл, что помешало образованию кристаллов фаялита. Кроме того, этому мешало отсутствие железосодержащих компонентов и окислительная атмосфера. Эти причины помешали осесть всей меди и ее восстановлению из куприта. Правда, мы не знаем, насколько экономичной была плавка, поскольку мог быть использован чистый малахит с образованием незначительного количества шлака. То есть, в данном случае мы, как и в синташтинско-петровской коллекции, имеем дело с плавкой малахита из кварцевых пород, и попыткой решить проблему вязкости расплава высокими температурами, что вело в купритизации расплава. К этой группе, в целом, близок описанный выше один из образцов с Юмаково I, но там степень купритизации не была столь высокой.

Наконец, шлак Береговского I и Юмаково III отнесен к **V минералогической группе**, не представленной на синташтинских памятниках. По внешним признакам эти образцы относятся к группе рыхлых сажистых шлаков. Значительная часть поверхности образцов плохо заполирована из-за большого количества непереработанной рыхлой породы, часто подкрашенной малахитовой зеленью. На некоторых участках стекла встречаются редкие иглы и скелеты фаялитовой кристаллизации, октаэдры и зерна, реже мелкие неоплавленные дендриты магнетита. Иногда зернышки магнетита образуют скопления. Магнетит, судя по всему, образуется из гидроокислов. Но железистых компонентов крайне мало. Оруденение было явно связано с силикатными породами. Зерна кварца встречаются, но небольшие и достаточно редко. В одном зерне кварца обнаружены включения сульфида и хризоколлы. Изредка внутри кварцевых частиц фиксируются мелкие частицы восстановленной меди. Многие зерна кварца состоят из окатанных мелких гранул, располагающихся прямыми рядами. Не исключено, что это отражает песчаниковый характер исходной руды.

Включений окисленной медной руды (малахита и хризоколлы) довольно много. Они являются основной рудой. Вместе с тем, зафиксированы зерна, расплавы и корольки медного сульфида, зерна и корольки халькозина. Однако встречаются они несопоставимо реже. Обращает внимание то, что халькозин часто не перешел в изотропный сульфид меди и чаще представлен зернами, чем корольками, что (как и обилие непереработанной руды и породы) указывает на непродолжительность и низкотемпературность плавки. Сульфид также часто встречается в зернах. Выявлены и единичные зерна халькопирита. На возможное использование халькопирита указывает и зерно магнетита с сотовой структурой. Возможно, вторичный сульфид вытек при плавке. Но это не преднамеренные добавки сульфидной руды к окисленной, а характер исходной руды, поскольку зафиксированы ассоциации сульфидных минералов с окисленными. Однако окисленные минералы все же резко преобладали. Силикатный состав и окисленный характер руды приводили к сильной купритизации шихты.

Хорошо представлен куприт. Чаще это зерна и замещение рудных тел, но есть и корольки, расплав, изредка мелкие дендриты с иголками делафоссита (оксида меди и железа). Расплавленный куприт часто формируется замещением сульфидных расплавов. Большая часть куприта встречается в виде крупных корольков, что может указывать на его происхождение в результате металлургического процесса¹. Вместе с тем, есть и вторичный куприт, окружающий поры и заполняющий трещины в шлаке. Этот куприт сформировался уже за время, когда шлак лежал в культурном слое. Иногда внутри круп-

¹ Отличить визуально куприт, образовавшийся в результате окисления корольков меди уже в слое поселения, от куприта, сформировавшегося в металлургической печи почти невозможно. Единственным репером здесь может быть относительный размер корольков. В принципе, мелкие медные корольки должны окисляться в раскопе намного легче, чем крупные. Поэтому если мы фиксируем ситуацию, когда корольки куприта заметно крупнее, чем корольки меди, мы можем утверждать, что сформировались они в результате металлургических реакций. Более крупный размер корольков куприта в шлаке объясняется тем, что куприт легче, чем медь. Поэтому крупные корольки меди легче оседают в шлаковом расплаве и опускаются на под печи или тигля. Все это связано также и со степенью вязкости шлака.

ных корольков куприта присутствуют включения меди. Однако не ясно — результат ли это вторичного замещения меди или это произошло еще во время металлургических реакций.

Включений меди очень много. Порой она представлена даже не корольками, а зернами, что указывает на низкие температуры. Есть корольки, окруженные сульфидной каймой — результат замещения зерна сульфида или мелкие сульфидные включения в крупных корольках меди. Иногда медь (как и куприт) образует плотные скопления корольков с четкими границами — результат расплавления куска руды.

Таким образом, в плавку поступали окисленные руды, в меньшей степени вторичные сульфиды из кварцевых пород. Очень вероятно использование руд из медистых песчаников. Температуры были невелики — 1050—1200 °С (не только куприт, но иногда и легкоплавкие вторичные сульфиды присутствуют в виде зерен или деформированных корольков), а сама плавка не слишком продолжительной. Преобладание окисленных руд вело к окислительной атмосфере и формированию куприта. Нормальный шлаковый расплав не сформирован из-за низкой температуры и, видимо, нехватки железистых компонентов. Из-за низких температур и силикатного состава остывание шлака происходило быстро. Не исключено, что плавка велась в плавильных чашах. Потери металла очень велики.

Выводы по абашевской металлургии

Проанализированные шлаки, относящиеся к абашевскому времени, были обнаружены на поселениях Береговское, Тюбьяк, Урняк. Не исключено отнесение к этому периоду и шлаков с поселений Юмаково I, III, где, наряду с абашевским присутствует и срубный материал. Тем не менее, на наш взгляд, эти шлаки относятся все же именно к раннему периоду, поскольку, как мы увидим ниже, характер срубного шлака несколько иной, чем образцы с этих поселений, имеющих оба культурных слоя.

Образование рыхлого сажистого шлака может быть связано с плавкой довольно чистой окисленной руды из силикатных пород, главным образом малахита, смешанного с углем. Иногда присутствовала и примесь вторичных сульфидов. Наиболее вероятно, что плавка велась в плавильных чашах, и дутье осуществлялось через слой угля сверху.

Некоторые исследователи допускают, что рельеф гробницы в Анк-Ма-Хор-Саккара, относящийся к пятой династии (2450—2359 гг. до н. э.), изображающий трех металлургов дующих в трубки на тигель, расположенный в небольшой куче угля, может отражать плавку руды, в том числе сульфидной (Zwicker et al, 1992, p. 103, 104), однако доказательства этому не приводятся.

Атмосфера плавки в подобных условиях была ярко выраженная окислительная, флюсы не использовались, температуры были не слишком высокие — от 1050 до 1200 °С, не исключено, что даже чуть ниже, а длительность плавки невелика. В результате, нормальный шлаковый расплав почти не формировался, шлак был очень вязким и очень быстро остывал. Много меди переходило в куприт, большие потери и в виде корольков. Сохранялось много непереработанной руды. Впоследствии металлурги разбирали полученный конгломерат и отделяли восстановленную и выплавленную медь от остальной массы. Затем эти кусочки и корольки использовали для переплавки или непосредственно при выплавке изделий. В отдельных случаях, по-видимому, когда руда была особенно чистой, выход шлака мог быть минимальным. Эксперименты показывают, что плавка малахита почти не дает выхода шлака (Zwicker et al, 1992, p. 104). При явно больших объемах древнего горного дела на Северных Балканах в эпоху энеолита, шлак этого времени представлен крайне редкими и очень маленькими кусочками, что объясняют использованием чистого малахита (Glumac, Todd, 1990). Вероятно, тот же результат мог быть и при плавке чистого ковеллина.

Это достаточно ранняя стадия металлургического производства. В Испании, на поселениях Эль Асеквийон и Морра де Квинтанар обнаружены тигли с ошлакованной внутренней поверхностью. Руда с углем плавилась в тиглях без внешнего дутья, так как стенки снаружи не ошлакованы. Дутье осуществлялось непосредственно в тигель. Тигли полусферические, чашеобразные и датируются 2500—2000 гг. до н. э. Печи появляются только в начале II тыс. до н. э. (Fernandez-Miranda et al, 1994, p. 23, 24). Использование тиглей для плавки руды предполагается в Испании и на раннем поселении Лос-Милларес, а также в Швейцарии, в культуре Пфин. В первом случае определено это по присутствию в ошлаковке делафоссита, а во втором — включений сульфидных руд, в том числе халькопирита (Hook et al, 1990, p. 68—70; Maggetti et al., 1990, p. 94).

При исследованиях неолитического поселения Вади Фидан 4 были обнаружены тигли диаметром 11—13 см и высотой 5—7 см, которые имели небольшую втулку, в которую можно было вдеть какую-то жердь. У тиглей фиксируется остекление по верхнему краю и внутри, видимо дутье осуществлялось сверху. Иногда ошлаковка присутствует и внутри. Печей на поселении не обнаружено. Руда представлена, как и в нашем случае, чистым малахитом или малахитом с лимонитом. В шлаке выявлены редкие скелеты зерен кварца — остатки песчаника. Кварц переходит в кристобалит и тридимит, что указывает на высокие температуры. Другие фазы — делафоссит, куприт, магнетит, хеденбергит ($\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$), формирующиеся в окислительной атмосфере, и стекло. Данных по использованию флюсов нет. Предполагается, что температуры были приблизительно от 1000 до 1150 °С (определено по включениям меди, эвтектике куприт/делафоссит). Поэтому нет тенорита (CuO) который при температуре 1026 °С переходит в куприт. Предполагается реакция: магнетит + куприт → делафоссит + медь, чем и объясняется отсутствие остатков лимонита. Нет и фаялита, который в неолитических шлаках редкость (Hauptmann et al., 1994, p. 4—6).

Наши экспериментальные исследования с плавкой окисленных руд были не слишком успешными. Е. Н. Черных тоже писал о том, что поскольку руда на Каргалах представлена, главным образом, малахитом, реже азуритом в песчаниках, сланцах и окаменелых деревьях, она была очень трудна для плавки, так как легко переходит в куприт (Черных, 1997, с. 8, 9, 61—63). Тем не менее, на ранних стадиях металлургии с этим мирились, будучи вынуждены идти на значительные потери металла, неизбежные при плавках этого типа. Но необходимо подчеркнуть, что в данном случае мы имеем дело с очень архаичным типом плавки, когда шихта состоит, преимущественно, из чистого малахита.

В данном случае плавка в тигле была связана, главным образом, с тем, что получаемый продукт состоял из конгломерата мелких рудных, медных и шлаковых частиц, и было необходимо его тщательно разбирать для извлечения крупниц меди. В небольшом объеме тигля это было легче сделать, чем разбирая все заполнение печи. Это типичные черты ранних стадий металлургического производства, которые мы разбирали на примере неолитической металлургии.

Большая часть шлаковых лепешек получена при плавке руды, происходящей из ультраосновных пород. Шлаки этой формы характерны для синташтинских памятников. В целом, эта технология и сырьевая база тоже идентична той, которую мы наблюдали на синташтинских городищах в Зауралье, с той лишь разницей, что доля использования вторичных сульфидов здесь была несколько выше. Это объясняется, по-видимому, характером минералов верхней зоны месторождений в Приуралье. Изменяется и доля руды из ультраосновных пород: в абашевской металлургии она составляет 39,3%, что значительно ниже, чем в синташтинской металлургии.

Шихта весом 500—1000 г помещалась в печь, хотя в данном случае не исключено и использование плавильных чаш, обнаруженных на поселениях в Башкирии. Плавка велась в условиях восстановительной атмосферы при температурах, колебавшихся в промежутке

1200—1400 °С. Образовывался жидкотекучий оливиновый шлак, формировавшийся на слитке металла. Отделение металла от шлака происходило почти полностью, поэтому последующее дробление шлака не требовалось. Остывание происходило довольно медленно, поэтому более вероятно, что шихта помещалась в закрытую печь, а не в литейную чашу, расположенную в куче угля. Вес слитков колебался в пределах 50—130 г.

Некоторое количество бесформенных шлаков является результатом плавки первого типа (напр. Урняк и часть купритизированных шлаков Тюбьяка, возможно шлаки Юмаково I), однако здесь в плавку поступали окисленные руды из силикатных пород, причем породы было существенно больше, чем обычно. В результате образовывалось и больше шлака, но фаялитовая кристаллизация прошла довольно слабо. Поэтому использовалось довольно интенсивное дутье, что приводило к росту температуры до 1250 или 1300 °С и усилению окислительной атмосферы. В результате, потери меди в виде меди, куприта и иных минералов, например делафоссита, здесь тоже довольно значительны. В одной из групп шлаков с поселения Тюбьяк, несмотря на плавку руды из кварцевых пород, этого не происходит. Хотя температуры были высокие, сохраняется восстановительная атмосфера и потери металла незначительны, но выше, чем при плавке руды из ультраосновных пород. В целом, технология этой группы идентична синташтинской. Однако имеются и некоторые отличия: на поселениях не известны печи, пристроенные к колодцам. Поэтому абашевские металлурги не могли так успешно генерировать основной восстанавливающий реагент, монооксид углерода, как это делали синташтинские металлурги. Тем не менее, атмосфера большинства плавки этого типа восстановительная, даже в шлаках кислого состава, для плавки которых было необходимо порой повышать температуру и интенсифицировать дутье, что приводило к значительному поступлению кислорода в печь. Объясняется это более активным употреблением вторичных сульфидов, чем это имело место в синташтинской металлургии. Эта небольшая разница в рудной базе позволяет полагать, что абашевцы не возили руду из синташтинской зоны, хотя руда эта похожа на руды Ишкининского, Дергамышского и Ивановского месторождений. Видимо, следует искать какие-то месторождения сходного типа в Приуралье. Скорее всего, абашевцы преднамеренно отбирали комплексную окисленную и сульфидную руду, хотя, возможно, на это их подтолкнули особенности месторождений.

Подобное выделение для абашевского времени двух типов плавки подтверждается и находками на памятниках. В абашевское время (Береговское I, Тюбьяк) плавка велась непосредственно в жилищах, специализированные постройки отсутствовали. Они появляются уже в ПБВ (Горбунов, 1992, с. 192, 193). На всех абашевских поселениях есть руда, тигли, капли меди. Предполагается, что абашевцы плавил черновую медь на кострах, а затем рафинировали в литейных чашах (Горбунов, 1992, с. 190). На поселениях Береговское I, II были исследованы лишь очаги кострового типа, рядом с которыми обнаружены металлургические шлаки. На этих же памятниках выявлены фрагменты тиглей и литейных чаш (Горбунов, 1986, с. 25—28, 30). Необходимо, впрочем, учитывать, что синташтинские купольные печи в большинстве случаев фиксировались как очаги. Фиксация их верхней части — явление исключительное.

Тигли и литейные чаши являются довольно распространенной находкой на абашевских памятниках Приуралья (рис. 8-4). Они состоят из резервуара с округлым дном, переходящим к массивным стенкам. Большинство имеет четко выраженный полый поддон на ножке, хотя встречаются и простые банки (Горбунов, 1986, с. 57, 58). Последняя форма сохраняется в течение всего позднего бронзового века на срубных и межовских памятниках (Горбунов, 1992, с. 190—192).

Большинство подобных чаш использовалось, вероятно, для переплавки металла, но не исключено, что часть из них могла использоваться для плавки руды. Объем их мог колебаться в пределах 70—200 см³. Этого было достаточно для получения 50—100

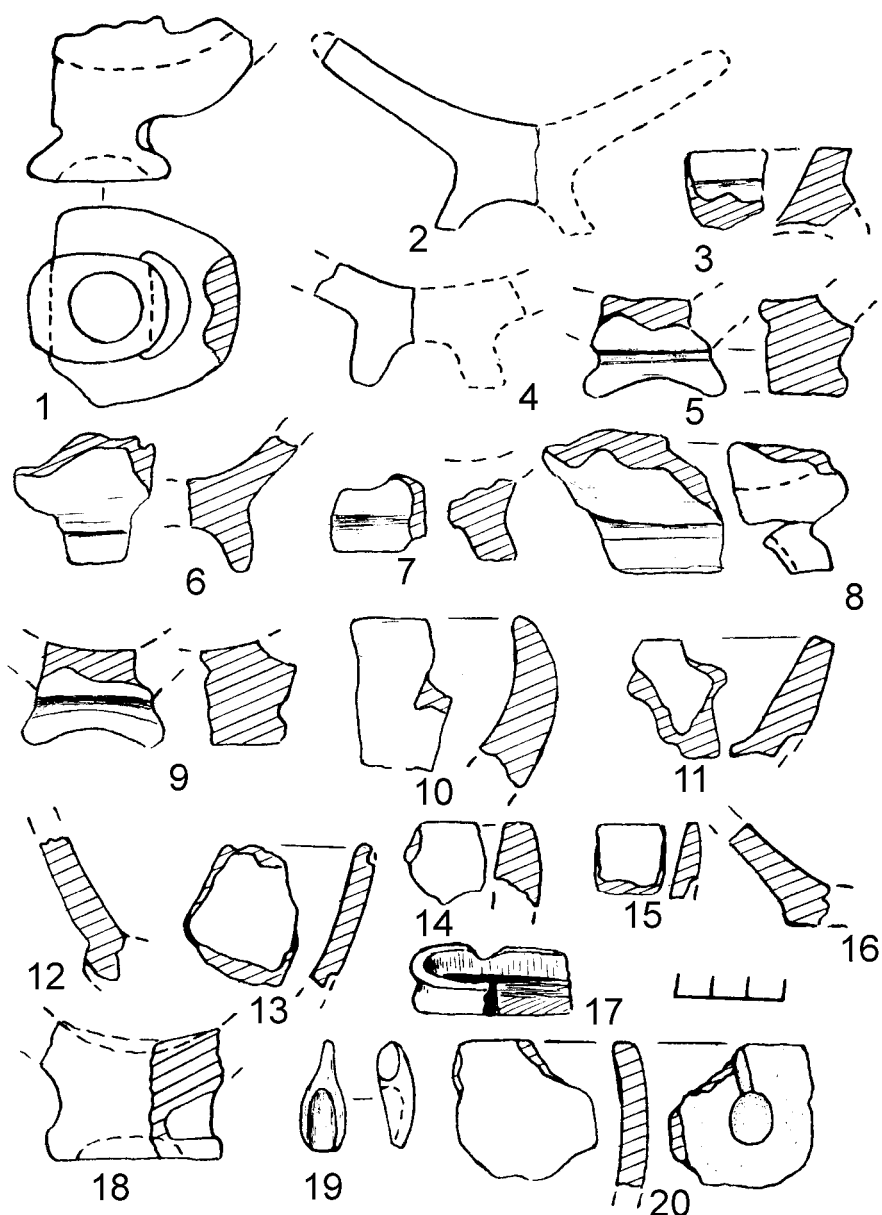


Рис. 8-4. Абашевские тигли и льячка (19) из Башкирского Приуралья (по Горбунов, 1992): 1—3, 5, 7, 9—11, 16 — Береговское II; 4, 8, 12—14, 18—20 — Береговское I; 17 — Сахаевская

г металла при плавке чистого малахита, смешанного с древесным углем. Для плавки бедных руд из ультраосновных пород, содержавших, насколько мы знаем по опыту работы с синташтинскими материалами, 12—15% меди, эти объемы невелики. Однако для расплавления относительно чистых кусков малахита подобные тигли могли применяться. С другой стороны, наиболее крупные плавильные чаши могли использоваться и для загрузки до 800 г руды из ультраосновных пород. Правда, при этом нельзя было заполнять тигель углем и вести в чистом виде тигельную плавку. Однако можно было помещать тигель в печь или очаг с высокими бортиками, заполненный древесным углем. В данном случае тигель или литейная чаша выступает в качестве резервуара для руды и сбора расплавляющейся меди, но плавка ведется, все же, в печи.

Таким образом, для абашевской культуры Приуралья мы можем принципиально говорить о двух основных схемах металлургического процесса. Первый мы условно

назовем абашевским, а второй синташтинским. При этом есть группы шлака, которые в силу большего количества кварцевой рудовмещающей породы несколько отличаются от классических стандартов, но это не вызывает изменений в технологической схеме. В принципе, традиция абашевская является технологически более архаичной, чем синташтинская. Почти повсеместно купритизированные шлаки соотносятся с теми ранними этапами в развитии металлургии, когда не умели получать хорошего шлакового расплава. Исследования шлака в Синае и Негеве, показали, что ранние энеолитические шлаки, типа шпинели, формировались в печи и насыщены металлом, как и некоторые купритизированные шлаки Башкирии. Получены они были в углубленных печах с внутренним диаметром 45 см, глубиной 45 см. Шлаки второй половины II тыс. до н. э. выпущенные, хотя часть шлака формировалась в печи. Эти шлаки жидкотекучие и потери металла в них минимальны. Получены они при более высокой температуре (Bachmann, 1980; Rothenberg, 1992 figs. 2, 35, 40, p. 2-6, 9, 12, 19, 39). Сходный результат получали мы и иные экспериментаторы при плавке окисленной руды в тигле.

Доля абашевского технологического типа, дававшего мелкие купритизированные шлаки невелика (14,3%), но объемы этого типа плавки неизвестны, непонятна и реальная доля этих плавок, поскольку этот мелкий шлак может не сохраняться или не обнаруживаться при раскопках.

Нам известны и более поздние шлаки на Атасу, Каргалах и в Оренбуржье, насыщенные купритом. Но они отражают не плавку ограниченного количества сравнительно чистого малахита, а проблемы с созданием восстановительной атмосферы.

Срубная металлургия

Шлаки срубного времени обнаружены в Башкирском Приуралье на поселениях Верхнебикузино, Новобарятино, Сасыкуль, Юмаково II, Аитово, Чишминское, Байгильдино (рис. 8-1). Первые четыре поселения располагаются, как и в предшествующее время абашевские памятники со следами металлургического производства, в среднем течении реки Белой; Чишминское поселение находится рядом, северо-западнее, в долине реки Уршак; поселение Аитово — к западу, по реке Дёма; и поселение Байгильдино — к северу, в долине реки Уфа.

Это довольно ограниченные материалы, всего 66 образцов¹. Например, с поселения Байгильдино происходит всего один образец шлака, причем, только он связывается с ранней срубной культурой. Но нельзя до конца гарантировать, что этот шлак не относится к периоду развитой срубной культуры. Поэтому на базе этого материала можно намечать лишь общие тенденции, но приводимые ниже статистические данные, отражающие ситуацию со срубной металлургией Приуралья, полностью достоверными считать нельзя. Равным образом, обстоит ситуация на многих других памятниках.

На поселении Юмаково II, исследованном В. С. Горбуновым (1992, с. 67, 68), основную массу керамики составляет срубная, хотя встречена покровская посуда, алакульская и межовская. Последние два типа посуды можно рассматривать в качестве примеси к срубной керамике. Самостоятельного слоя они не образуют. Поэтому этот материал может относиться и к покровскому, и к собственно срубному времени. Примечательно обнаружение на поселении фрагментов плавильной чаши и чаши-тигля. Последнее типично для абашевской металлургии, поэтому не исключено, что этот шлак является покровским.

На поселении Чишминское, исследованном Ю. А. Морозовым, было раскопано 714 м² и выявлено два основных культурных слоя — абашевский и срубный, отделенные друг от друга стерильной прослойкой. Наряду с этими материалами, присутствовало небольшое количество межовской посуды (Горбунов, 1992, с. 61). Шлак происходит из кв. 1/А, штык 5, и относится к срубной культуре. Однако типологически он ближе к

¹ Пять изученных образцов шлака с Юмаково II оказались ошлакованной рудой, и в это число не включены.

более ранним шлакам, так как образец представлен обломком шлаковой лепешки синташтинского типа.

Другие шлаки более определенно связываются с развитым этапом срубной культуры. Так, хотя на поселении Верхнебиккузинское, где встречена и алакульская керамика (раскопки Г. Н. Гарустовича в 1986 г. и М. Ф. Обыденнова в 1987 г.), шлак происходит из слоя срубной культуры. Поселение Аитово (раскопки Ю. А. Морозова в 1985 и 1986 гг., см. Обыденнов, Обыденнова, 1992, с. 51, 52) содержит почти исключительно срубные материалы. Та же ситуация и на поселении Новобарятино (раскопки Ю. А. Морозова), которое, имея примеси иного материала, в целом, срубное. Подъемные сборы В. К. Калинина в 1977 и 1978 гг. на поселении Сасыкуль выявили тоже только материалы этой культуры. К срубному времени относятся и шлаки Сергеевского поселения.

По форме шлаки близки тем же группам, которые характеризовали синташтинскую металлургию, хотя их соотношение слегка отличалось (таб. 8-5). Сразу бросается в глаза хорошая представленность в коллекции типичных для синташты шлаковых лепешек с закраинами. Нижняя их поверхность, соприкасавшаяся с металлом, ровная и пористая, а верхняя гладкая и бугристая. Но нужно отдавать себе отчет, что этому обилию мы обязаны, главным образом, одному памятнику, Верхнебиккузино. Интересно здесь то, что этот памятник определенно относится к развитому этапу срубной культуры. В любом случае, даже визуальное наличие связи с предшествующим производством синташтинско-абашевского времени, причем с технологией синташтинского типа, хотя она может быть передана посредством абашевской металлургии. Формально к этой группе относятся и все три образца с Новобарятино. Шлаки представлены фрагментами черных плотных шлаковых лепешек. В одном случае (обр. 707) шлак изначально не имел закраин. Обе поверхности гладкие, слегка бугристые, с легким матовым блеском. На изломе фиксируются крупные поры. Во втором случае (обр. 708) закраины на лепешке были сломаны для извлечения слитка металла. Верхняя поверхность неровная, с металлическим блеском. Нижняя ровная, с мелкими порами, видимо, формировалась на металле. Толщина шлака 2 см. Третий образец был оббит со всех сторон, и первоначальную форму шлака определить невозможно. Судя по форме этого шлака, формировался он в печи. Отличается шлак с Новобарятино большей толщиной, иногда бугристостью нижней поверхности. То есть, он тоже очень жидкотекучий, но имеет отличия, не вполне объяснимые при визуальном осмотре.

Вторая группа это тяжелый бесформенный шлак. Шесть образцов (обр. 398 с Юмаково II, обр. 361, 363 с Аитово), отнесенные к этой группе, представлены шлаковыми лепешками, но они отличны от первой группы отсутствием характерных закраин, и это обусловлено просто несколько меньшей вязкостью этих образцов по сравнению с прочим шлаком этой группы.

Таб. 8-5.

Распределение разных форм шлака по срубным памятникам Приуралья

Поселение	Шлаковые лепешки	Бесформенный шлак	Легкий пористый шлак	Тонкие шлаковые корки	Всего шлака
Аитово	3	6	4		13
Байгильдино		1			1
Верхнебиккузино	16			3	19
Сасыкуль		1			1
Новобарятино	3				3
Чишмы	1				1
Юмаково II	1	4			5
Сергеевское		18			18
Всего:	26 41,5%	30 48,5%	4 6%	3 4%	61 100%

Несколько образцов Аитово (обр. 364—367) представляли собой легкие пористые конгломераты, часть поверхностей которых имела оплавленную корку. Цвет их варьирует от коричневого до черного. В принципе, они вполне могут быть отнесены и к предыдущему типу, но некоторые отличия имеют. Наконец, отличались и три образца (№ 419—421) поселения Верхнебиккузино, представленные тонкими шлаковыми корками, образовавшимися, вероятно, на стенке печи, поскольку одна поверхность их покрыта тонкой керамзитовой пленкой. Внутренняя же поверхность довольно неровная. Такой шлак в синташтинской коллекции не встречался.

Форму отдельных шлаков с Аитово определить было затруднительно, поскольку они расколоты.

Как и в случае с синташтинской металлургией, форма шлака в значительной степени зависела от характера использованной руды. К сожалению, руда была исследована только на поселениях Сысыкуль (обр. 432), Новобарятино (обр. 710) и Юмаково II. На последнем поселении это небольшие оплавленные куски, которые первоначально были приняты за шлак (№ 390—392, 396, 399). Руда происходит из кварцевых пород, но содержание кварца в ней колеблется. В образце 396 рудовмещающая порода не выявлена, а образец 392 происходит из серпентинитов. Руда, видимо, добыта из зоны цементации и поэтому, очень неоднородна. Обр. 396 и 399 представлены, главным образом, ковеллином и халькозином с включениями хризоколлы и малахита, но в образце 399 довольно много куприта и достаточно заметно присутствует халькопирит. Образцы 390 и 391 — преимущественно хризоколла, образец 432 — главным образом, малахит, куприт и хризоколла в кварце, но с включениями халькопирита, а образец 392 — малахит в серпентините.

Таким образом, отличия от синташтинской рудной базы проявляются в большей доле руды из кварцевых пород, а также в большей представленности сульфидной руды. Последнее обстоятельство проявилось и при анализе образца 393, который оказался небольшим слитком меди, с существенными включениями медного сульфида (около 3%).

Минералогическая группа I

Первая минералогическая группа срубного шлака Зауралья получена при плавке руды в ультраосновных породах (таб. 8-6). Она идентична аналогичной синташтинской и абашевской группам. В этих образцах хорошо прошла оливиновая кристаллизация. Кристаллы оливина представлены призмами, удлиненными скелетами, иногда таблитчатыми формами. Между ними могут прорасти иголки и скелеты. Иногда заметно, что фаялит образуется вокруг зерен кварца и магнетита. В образцах с Верхнебиккузинского поселения отмечено, что иногда верхний слой кристаллов имеет более светлый оттенок. Вероятно, этот слой имеет фаялитовый состав, а центр зерен более магниезальный. Большинство образцов этой группы из Аитово отличается от прочего шлака тем, что оливиновая кристаллизация прошла хуже, она представлена призмами и мелкими ске-

Таб. 8-6.

Распределение минералогических групп шлака по срубным памятникам Приуралья

Поселение	I	II	III	IV	V	VI	Всего шлака
Аитово	4	13					17
Байгильдино						1	1
Верхнебиккузино	16	1				2	19
Новобарятино						3	3
Сасыкуль		1					1
Сергеевское				18		1	19
Чишмы	1						1
Юмаково II	1	2	2				5
Всего:	22 33,7%	17 26,2%	2 3,3%	18 27,5%		6 9,3%	66 100%

летами. В образце 362 фиксируются пористые участки, где осколки оливинового стекла сочетаются с проросшими впоследствии кристаллами оливина. Возможно, температура упала до точки затвердевания оливинового расплава, а далее продолжалось восстановительное, но не слишком интенсивное дутье, которое, все же, повысило температуру.

Магнетит обычно представлен мелкими неоплавленными октаэдрами. Иногда заметно, что формируются они за счет распада более крупных зерен или отделяются от толстой каймы вокруг хромитов. В некоторых шлаках (обр. 418 из Верхнебиккузино, обр. 394 из Юмаково II и обр. 359 из Аитово) зафиксировано значительное количество магнетита, что привело к повышенной вязкости расплава и увеличению потерь меди. На пос. Верхнебиккузинское встречены также дендриты магнетита, и в одном случае эти дендриты оплавлены. В обр. 365 из Аитово магнетит представлен довольно крупными дендритами, характерными для плавки первичных сульфидов. В отдельных случаях заметно, что магнетит формируется в результате распада более крупных зерен, но часть, видимо, получена в ходе плавления борнита и халькопирита: иногда рудные зерна трансформируются в куприт и от них отделяются октаэдры магнетита.

Зерна хромита тоже хорошо представлены в шлаке и маркируют его связь с рудой из серпентинизированных ультраосновных пород. Содержание хромита в шлаке даже одного памятника (Верхнебиккузино) колеблется. В некоторых образцах количество его достаточно велико, в некоторых встречаются лишь отдельные зерна. Иногда зафиксированы ассоциации хромита и серпентинита. Серпентинит представлен в шлаке достаточно хорошо, хотя в отдельных образцах количество его зерен может быть невелико. В образцах 404, 421 (Верхнебиккузино) он отсутствует, но хорошая кристаллизация оливина позволяет считать, что он просто переработан в процессе плавки или в шихту отбирались куски руды без серпентинитовых включений. Ряд зерен серпентинита содержит рудные зерна.

Руда представлена малахитом и хризоколлой, но выявлено и значительное количество сульфидов: халькозин, медный сульфид, борнит и халькопирит. Малахит и хризоколла представлены зернами. Вместе с вторичными сульфидами они были основной рудой. Халькозин в виде корольков встречается довольно редко. Вероятно, в результате выгорания части серы он был замещен медным сульфидом, наиболее часто встречаемым рудным минералом. Этот сульфид иногда может быть представлен зернами, но чаще корольками и расплавом. Внутри его может образовываться медь. Часто это приводит к формированию крупных корольков меди, окруженных каймой сульфида. Иногда образование этого сульфида идет по борниту. Зафиксирована также его ассоциация с зернами куприта, халькопирита и пирита. Не исключено, что формирование пирита обусловлено тем, что из халькопирита выплавляется этот сульфид, хотя в таких случаях в шлаках иных серий обычно идет формирование вюстита. Однако в целом первичные медные минералы (халькопирит) встречаются не слишком часто. Основу руды составляли оксиды и вторичные сульфиды меди. Иногда зафиксированы их ассоциации, что указывает на то, что руда извлекалась из одного места, из зоны цементации, и это не специальная компоновка шихты.

Медь представлена мелкими корольками, изредка зернами, замесившими сульфид. Количество ее невелико, лишь в редких случаях, когда нарушен баланс между соотношением кислотных и основных окислов (обилие магнетита или наоборот силикатный состав), это может приводить к повышенным потерям металла. Наряду с медью в шлаке присутствуют небольшие зерна, корольки и заполнение трещин купритом. Иногда в районе перерождающихся сульфидов присутствует расплав куприта, но в данном случае мог расплавляться сульфид (окислившийся потом до куприта), и это не указывает на высокие температуры. Не исключено также, что в результате экзотермальной реакции горения серы на некоторых локальных участках температура могла повышаться,

что не отражает ситуацию в печной полости в целом. Куприт замещает также другие рудные минералы меди. Количество куприта сравнительно невелико и часть его могла сформироваться в результате последующего вторичного окисления. Поэтому атмосфера плавки была восстановительной. За это говорит и то, что в некоторых образцах Верхнебиккузино выявлены оплавленные восстановленные частицы железа, но его количество очень невелико. Оплавление тоже, как и в случае с магнетитом, явно связано с восстановлением из вюститита. Вероятно, этой восстановительной атмосфере способствовало присутствие в шихте вторичных сульфидов.

Таким образом, шлаки этой группы идентичны основной массе синташтинского шлака: в плавке использованы руды из зоны цементации месторождения в серпентинитах. Компоновка различных типов руды или использование флюсов, по-видимому, не практиковались. Обычно температуры колебались в пределах 1200—1300 °С, хотя в отдельных случаях можно допускать и более высокую температуру, что объясняется более активным использованием сульфидных руд. Соотношение кислотных и основных окислов в руде близко оптимальному. Это обеспечивало формирование оливинового расплава и низкую его вязкость. Расплав остывал постепенно. Созданию восстановительной атмосферы способствовали сульфиды. В результате, купритизация расплава незначительная, а потери металла очень невелики.

Минералогическая группа II

Эта минералогическая группа идентична второй группе синташтинского шлака, и получена при плавке руды из кварцевых пород. Фаялитовая кристаллизация в образцах этой группы прошла очень слабо. Фаялит представлен мелкими игольчатыми или небольшими удлиненно-скелетными формами. На некоторых участках, и в образцах 400 пос. Юмаково II и 420 пос. Верхнебиккузино фаялитовая кристаллизация не прошла вовсе. Это объясняется отсутствием железистого компонента. Весьма слабой была фаялитовая кристаллизация почти во всех образцах Аитово. Исключением является обр. 355, в котором хорошо представлены удлиненно-скелетные и игольчатые и даже призматические кристаллы оливина. Образование оливина в этом образце вызвано тем, что в нем присутствует значительное количество мелких не оплавленных октаэдров магнетита или мелких зародышей магнетитовой кристаллизации.

Содержание кварца в шлаке различается, в некоторых образцах он зафиксирован не был (398, 400). Не исключено, что в этих случаях в плавку могла поступать довольно чистая руда, и силикатный компонент в шлак поступал из хризоколлы. В шлаке из Аитово хорошо зафиксированы ассоциации кварца с рудными телами. Кварц в образцах этого поселения, кажется, высокотемпературный. Он переходит в кварцевое стекло и граница между кварцем и стеклом не всегда хорошо различима. В некоторых образцах (355) зафиксированы три зоны, различающиеся по яркости и прозрачности. Вероятно, это кварц, тридимит и кристобалит. Вокруг кварца образуются пористые участки стекла, что тоже указывает на высокие температуры.

Кроме хризоколлы, другим важным рудным минералом был малахит. В плавку поступали и вторичные сульфиды (ковеллин, халькозин), но они неплохо переработаны, а в образце с Верхнебиккузино их содержание незначительно.

Лучше всего рудную базу удалось выяснить для наиболее крупной коллекции этой группы шлака с Аитово. В стекле здесь встречается много минералов меди и медных корольков, но в различных образцах их содержание сильно колеблется. Иногда корольки меди образуют изогнутые ряды, что указывает на вязкость расплава. Окисленные рудные минералы представлены малахитом и хризоколлой. Довольно много куприта (иногда больше, чем меди, иногда меньше). Куприт может замещать окисленные и сульфидные рудные минералы, иногда он образует корольки и заполняет трещины. Есть

расплав куприта, кайма вокруг королек меди и сульфида. Куприт вместе с медью может подкрашивать стекло. Иногда расплав куприта мог формироваться в результате замещения расплава меди или сульфида. Но в ряде случаев заметно, что куприт, замещая окисленные минералы меди, сразу переходит в расплавленное состояние. Вместе с тем, изредка (в отдельных образцах) заметны нерасплавленные зерна куприта. Температура в плавках на Аитово, видимо, колебалась в более высоких пределах, чем в остальном шлаке этой группы.

Встречаются королек халькозина. Однако более типичны королек и расплав изотропного сульфида меди. Часто он образует кайму вокруг крупных королек меди и куприта (точнее, они формируются внутри его королек). Вероятно, значительная часть этого минерала сформировалась из ковеллина и халькозина. Однако отчасти он формируется в результате замещения борнита, зерна и королек которого выявлены в шлаке. Иногда в расплаве сульфида заметно появление красных рефлексов, следовательно, идет трансформация этого минерала в куприт. Однако часто наблюдается образование в нем меди. Видимо, часть борнита формируется из халькопирита. В шлаке изредка встречаются зернышки, занимающие промежуточное положение по своим цветовым характеристикам. Вместе с тем, иногда наблюдаются и зерна халькопирита. В одном образце (№356) выявлено несколько очень мелких королек железа, что определенно указывает на хорошую восстановительную атмосферу.

В прочих шлаках II группы количество куприта выше, следовательно, была более окислительная атмосфера. А поскольку содержание сульфидных минералов здесь не уступает шлакам первой группы, то более окислительная атмосфера была вызвана более интенсивным дутьем. Куприт здесь присутствует в виде королек, расплава, мелких дендритов, формирующихся из расплава, каймы вокруг королек меди или сульфида меди. Часто куприт вместе с медью растворен в стекле, окрашивая его в красноватый тон. На Аитово этого удавалось избежать за счет большего количества сульфидов: при выгорании серы связывался избыточный кислород, к тому же, экзотермальная реакция ее горения позволяла поддерживать высокую температуру без избыточного дутья. Благодаря интенсивному дутью температура превышала 1250 °С, достигая, скорее всего, 1300 °С, а на Аитово, судя по расплавам куприта и вюстита, 1350 °С. Возможное присутствие в одном из образцов кристобалита позволяет допустить, что иногда температуры достигали 1470 °С. Необходимость этого была вызвана вязкостью силикатного шлака, что требовало повышения температур. Потери меди в этой группе шлака в виде руды, меди и куприта довольно высоки, но не чрезмерны. Руды с большим содержанием железистого компонента плавил при более низкой температуре. В конце плавки интенсивность дутья даже, по-видимому, снижалась, в результате происходило постепенное формирование кристаллов фаялита и восстановление меди. В целом же, потери меди чуть выше, чем в образцах I и III минералогических групп, но все же невысоки. В некоторых шлаках (обр. 435 пос. Сысыкуль) потери меди более высокие. Это объясняется чуть более низкой температурой плавки и быстрым остыванием расплава.

Наблюдения за порами в шлаке показали следующее. Поры могут разбивать кристаллы фаялита. Это указывает на то, что даже когда температура была снижена и началась кристаллизация фаялита, дутье в ослабленном режиме продолжалось. Вероятно, это было необходимо для того, чтобы медь восстанавливалась. После прекращения дутья шлак застыл достаточно быстро.

Таким образом, в плавку поступала окисленная и сульфидная руда из зоны цементации (есть ассоциации руд обоих типов), с преобладанием на Аитово вторичных сульфидов. Рудовмещающая порода кварц. Флюсы не использовались. Температуры достаточно высокие, но шлак вязкий и застыл быстро. В очень многих случаях плавка не доведена

до конца и в шлаке осталось много руды, особенно вторичных сульфидов. Потери меди большие, но не чрезмерные. Интенсивное дутье компенсировалось сульфидами. Поэтому атмосфера плавки колебалась (есть преобладание, как меди, так и куприта), но не слишком сильно.

Минералогическая группа III

Эта минералогическая группа в срубной коллекции Приуралья отчетливо выделяется только на поселении Юмаково II. Она характеризовалась на синташтинских памятниках использованием рудной смеси из ультраосновных и кварцевых пород, причем, это была, вероятно, не преднамеренная смесь, а использование руды из месторождений в ультрабазитах, рассеченных кварцевыми жилами. В целом, даже при гораздо больших синташтинских выборках оценить какова в шихте была доля ультраосновной породы, а какова кварцевой не представляется возможным. Невозможно сделать это и по двум образцам с Юмаково II. Но доля кварцевой породы здесь выше, по сравнению с синташтинскими образцами. Главной рудонесущей породой был, по-видимому, кварц. На это указывают ассоциации кварца и рудных минералов, включения в кварце руды, а также восстановленных частиц меди. С другой стороны, если кварц был не избыточным, то он мог быть относительно полно переработан расплавом, переходя затем в силикатное стекло. В образце 397 зафиксировано наличие в кварце двух зон, различающихся по яркости и прозрачности. Это отражает присутствие двух модификаций кварца, вероятно, кварца и тридимита. Точно определить это данный метод не позволяет. Тем не менее, зональность зерен кварца указывает на относительную непродолжительность плавки, когда одна модификация не успевала полностью перейти в другую. Подобная ситуация наблюдалась и в синташтинских шлаках.

Основным включением в шлаке являются призматические кристаллы оливина, между которыми прорастают его скелетные структуры. Содержание кристаллов магнетита тоже очень колеблется. Магнетит обычно представлен мелкими неоплавленными октаэдрами. Иногда заметно, что формируются они за счет распада более крупных зерен. Зафиксированы редкие мелкие зерна хромита, сопутствующего железистым минералам. По краю его зерен обычно фиксируется тонкая магнетитовая кайма. Хромиты и скопления магнетита указывают на то, что в шлаке был какой-то окисленный железистый минерал. Вряд ли железистый компонент поступал в плавку в качестве флюса. В обр. 397 зафиксированы сростки малахита с хромитом, что указывает на связь руды с ультраосновными породами.

Из рудных минералов выявлены малахит и хризоколла. Некоторое количество зерен и корольков халькозина обнаружено в обр. 397, 398. Встречается и расплав медного сульфида. Как исключение присутствуют мелкие включения халькопирита. Часть халькопирита могла быть переработана в процессе плавки, но значительной роли в рудной базе он все равно не играл. Иногда наблюдаются сростки куприта, сульфида и хризоколлы, что указывает на то, что специальная компоновка руды из окислов и сульфидов отсутствовала. Содержание куприта невелико (это зерна, редко корольки), плавка явно велась в восстановительной атмосфере.

Таким образом, в плавку поступали различные минералы меди (окисленные и сульфидные, главным образом, вторичные сульфиды) из зоны цементации месторождения в кварцевых жилах, рассекающих, возможно, какие-то породы ультраосновного состава, содержащие железистый компонент. В результате, руда была очень неоднородной, а изменение ее состава с помощью флюсовых добавок не практиковалось. Поскольку в руде присутствовало большое количество сульфидов, это позволяло восстановить медь, хотя потери ее в шлаке все равно более велики, чем в шлаке I группы.

Технология плавки

Технологически шлаки I—III групп отражают один тип плавки. Плавка этого типа во многом наследует традиции синташтинской металлургии. Эти группы различает лишь соотношение в шихте руды из ультраосновных и кислых пород. В зависимости от этого металлурги вынуждены были регулировать интенсивность дутья: в случае преобладания кислых пород дутье велось более интенсивно, чтобы добиться жидкотекучего шлака. В результате атмосфера плавки становилась более окисленной, и начиналась купритизация расплава. Иногда (Аитово) такой проблемы не возникало, благодаря хорошему присутствию в шихте сульфидов. В иных случаях, чтобы справиться с этим, на завершающем этапе плавки применялось дутье в ослабленном режиме, чтобы сохранять печь горячей, но уменьшить количество подаваемого воздуха. Воздух, при этом, поступал не так интенсивно, и более медленно проходил через слой горящего угля. В результате более активно формировался монооксид углерода. Температура, как и в синташтинских плавках, колебалась в пределах 1200—1300 °С, но в случае с кислым шлаком иногда могла быть выше, достигая в редких случаях и в локальных точках 1360 или 1470 °С.

Минералогическая группа IV

Данная минералогическая группа в приуральской срубной коллекции выявлена только на поселении Сергеевское. В подавляющем большинстве образцов оливиновая кристаллизация прошла очень слабо. В основном это чистое силикатное стекло, лишь на некоторых участках фиксируются небольшие кристаллы оливина — мелкие призмы, удлиненные скелеты, иголки, зародыши оливиновой кристаллизации. Это вызвано слабой представленностью в шлаке железосодержащих компонентов. Магнетит (небольшие октаэдры и скелеты или очень мелкая сыпь) встречается в шлаке довольно редко. Изредка фиксируются зерна хромита, иногда вокруг них заметна небольшая оливиновая кристаллизация за счет магнетитовой каймы, часто окружающей зерна хромита. В этих шлаках такая кайма отсутствует, вероятно, она полностью переработана. Крайне редко фиксируются небольшие тела распадающегося на октаэдры магнетита.

Рудонесущей породой был, главным образом, кварц. Его зерна хорошо представлены в шлаке и часто содержат рудные включения. Часто зерна кварца имеют своеобразную структуру. Они состоят из небольших окатанных гранул, сгруппированных в прямые ряды. Между гранулами иногда фиксируется купритовый цемент, что указывает на песчаниковое происхождение руды.

Из-за резкого недостатка железистого компонента расплав был очень вязким. Это вело к значительным потерям металла в виде меди, куприта и руды. Медь часто образует корольки, расположенные длинными изогнутыми рядами. В некоторых случаях заметно как она восстанавливается из куприта. Вместе с тем, медь часто образуется непосредственно из вторичного сульфида, замещая внутри него корольки, а реже зерна. В результате образуются каемки и мелкие включения сульфида в медных корольках.

Часто медь и куприт растворяются в расплаве, окрашивая стекло. Иногда можно наблюдать и обратный процесс, как из очень мелких корольков собираются крупные. На некоторых участках медь и куприт (иногда и сульфид меди) формируют плотные небольшие скопления из корольков. Вероятно, это фиксирует расплавление зерен руды. В одном случае среди них присутствуют мелкие кристаллы магнетита — результат расплавления зерна первичного сульфида. Есть и оседание «иголок» магнетита по куприту, замещающему сульфид.

Куприт представлен корольками, довольно часто зернами, замещением рудных тел. Лишь в одном образце (№ 384) зафиксировано образование дендритов куприта вокруг королька сульфида и куприта, и даже в одном случае кристаллизация куприта в виде

удлиненно-призматических скелетов. Иногда корольки куприта отделяются от его зерен, то есть куприт плавится. В одном случае (№ 386) выявлен делафоссит.

Рудные остатки представлены малахитом, хризоколлой, ковеллином и изотропным сульфидом, формирующимся из ковеллина. Ковеллин (корольки, иногда зерна) поэтому встречается достаточно редко. Широко представлен сульфид меди — корольки, расплав, зерна. Его, как и малахит, часто замещает по краю куприт. Изредка зафиксированы небольшие включения борнита и халькопирита, хотя значительной роли они в плавке не играли.

Иногда заметно замещение сульфидом зерен ковеллина. Зафиксированы зерна руды, содержащие, главным образом, ковеллин, затем малахит и хризоколлу, или ковеллин, малахит и какой-то железистый оксид. Малахит и ковеллин иногда фиксируются в зернах кварца вместе. Все это указывает на то, что окисленные и вторичные сульфидные руды находились в месторождении вместе, но, видимо, доля вторичных сульфидов была, все же, выше.

Поскольку фиксируется расплав куприта, мы можем говорить о температурах, достигавших промежутка 1250—1350 °С. Однако, несмотря на это, из-за отсутствия достаточного количества железистого компонента шлак был очень вязким и быстро остывал, что вело к большим потерям металла. Атмосфера, скорее, окисленная, но не резко. Сказывается значительное присутствие сульфидов. Флюсы не применялись.

Несколько выбиваются из этой серии образцы 370 и 385, в которых благодаря наличию железистого компонента несколько лучше прошла оливниновая кристаллизация и чуть ниже потери меди.

Пятая минералогическая группа, выделенная на абашевских памятниках, отличающаяся избыточной купритизацией и плавкой в тиглях чистой окисленной руды, здесь не обнаружена.

Минералогическая группа VI

В отличие от синташтинско-абашевского времени у срубников Приуралья появляется новая группа шлака, представленная одним образцом (№ 436) с Байгильдино (следовательно, не исключено, что она появляется уже в раннесрубное время), одним с Сергеевского (№ 380), двумя с Верхнебиккузино (№ 405, 408) и тремя с Новобарятино (№ 707—709). Подобные шлаки хорошо известны на лесостепных памятниках ПБВ азиатской зоны.

Шлак насыщен скоплениями оплавленных зерен, частиц, скелетов и октаэдров магнетита. В шлаке из Новобарятино заметно, что магнетит формируется из более крупных зерен. Наблюдается обилие дендритов вюстита, формирующих часто упорядоченные структуры. Иногда дендриты вюстита образуют плотные решетчатые структуры. Порой сросшиеся очень крупные оплавленные дендриты вюстита занимают почти все поле образца и располагаются так плотно, что образуют зерна с прожилками. Гораздо хуже представлены (содержание колеблется от полного отсутствия до сравнительно неплохого) удлиненно-призматические кристаллы фаялита. В этих случаях дендриты вюстита становятся тоньше, поскольку перерабатываются в фаялит. Наиболее хорошо фаялитовая кристаллизация прошла в шлаке с Новобарятино, где фаялит представлен таблитчатыми, удлиненно-призматическими, реже удлиненно-скелетными формами, и где он является основным включением.

Реже встречаются зернышки пирита. Вместе с тем, присутствуют более крупные зерна пирита, обычно со множеством пустых полостей, образовавшихся в результате выплавления медного компонента из халькопирита. В обр. 436 из Байгильдино зафиксировано крупное подобное включение, из которого вытекает расплав сильно купритизированного сульфида. Собственно и «пирит» порой слишком светлый. Видимо, часть серы

из него улетучилась и это переходная стадия его трансформации в вюстит. Некоторые подобные частицы довольно близки железу. Встречены и частицы восстановленного железа. Зафиксирован контакт зерен сульфида меди с зернами «пирит — железо». Расплав медного сульфида выявлен во всех образцах, хотя часто его замещает куприт. Из других медных минералов обнаружены зерна малахита, тоже замещаемые купритом, и хризоколлы. Медных минералов много, но основными компонентами все равно являются окислы железа. На этом фоне выделяются образцы с Новобарятино, где включений руды или меди практически нет, что указывает на большую жидкотекучесть шлака. В обр. 707 были обнаружены с трудом определяемые из-за малых размеров королек меди, куприт, зерно руды, похожее на халькопирит, а в обр. 709 найден королек меди.

Крайне редко фиксируются частицы кварца. Кварц был, видимо, полностью переработан в фаялит в процессе плавки, и определить — связан ли он с рудовмещающей породой или его попадание в шихту имеет случайный характер, не представляется возможным. В одном образце с Новобарятино (707) зафиксированы отдельные зерна хромита. Но содержание хромита настолько незначительно, что не позволяет связывать шлак с ультраосновными породами.

Это хорошо известные для ПБВ типы микроструктур. В плавку явно поступал халькопирит, причем, он был ведущим компонентом в шихте. Окисленные минералы играли вспомогательную роль. Меди в шлаке, практически, не встречено. Она представлена только в виде купритизированного сульфида и куприта. Вероятно, она довольно хорошо отделилась от шлака. Ее восстановление несомненно, поскольку в печах создавались даже условия для ограниченного восстановления железа.

Остывание расплава происходило относительно быстро (мелкие кристаллы фаялита и дендриты вюстита). Определить температуру сложно, но, судя по вюститу, она могла превышать 1360—1400 °С. Таким высоким температурам способствовала экзотермальная реакция горения серы и возможность вести интенсивное дутье, поскольку кислород соединялся с серой и не приводил к созданию окислительной атмосферы.

При идентичной рудовмещающей породе в этой группе сильно выделяются образцы шлака с Новобарятино. В шлаке прекрасно прошла фаялитовая кристаллизация. Фаялит представлен таблитчатыми, удлиненно-призматическими, реже удлиненно-скелетными формами. Он является основным включением в шлаке. Очень много оплавленных дендритов вюстита, частиц, скелетов и октаэдров магнетита, особенно в образце 707. Магнетит формируется из более крупных зерен. Крайне редко фиксируются частицы кварца. Кварц был, видимо, полностью переработан в фаялит в процессе плавки. Несмотря на обилие магнетита и вюстита, включений руды или меди практически нет, что указывает на низкую вязкость шлака. В одном образце (707) зафиксированы отдельные зерна хромита и мелкие частицы железа. Но хромита мало, и шлак не связан с ультраосновными породами. В обр. 707 были обнаружены с трудом определяемые из-за малых размеров королек меди, куприт, зерно руды, похожее на халькопирит. В обр. 709 найден только один королек меди.

Таким образом, в плавку поступал, видимо, халькопирит в кварцевой породе. Плавка была длительной. Возможно, температуры были довольно высокими (судя по оплавленным дендритам вюстита), чему способствовало выгорание серы. Расплав остывал достаточно медленно, в условиях восстановительной атмосферы и, вероятно, в печи. Потерь металла нет. Плавку можно назвать идеальной.

Выводы по срубной металлургии

Таким образом, срубная металлургия в значительной степени наследует традиции абашевского времени. Это проявляется даже в составе рудной базы (табл. 8-6): доли руды из ультраосновных и кислых пород близки тем, которые зафиксированы для аба-

шевского времени. Отличия наблюдаются в более активном использовании сульфидных руд. Однако о целенаправленной компоновке шихты из этих минералов говорить трудно, поскольку в рудных включениях наблюдались их ассоциации. Вероятно, это отражает характер исходной руды. Но нельзя исключать преднамеренный выбор именно руд подобного состава. Это, а также дутье в ослабленном режиме в конце плавки позволяло поддерживать восстановительную атмосферу даже в случае использования руды из пород кислого состава. Исключением являются шлаки с Сергеевского, где уровень купритизации высок, но не за пределами высок, что связано тоже с активным использованием сульфидов. Отсутствует группа архаичных купритизированных абашевских шлаков, получаемых при плавке чистого малахита. Налицо явная ориентация на большие объемы производства, чем в этой архаичной технологии. Как отмечалось выше, общие технологические принципы соответствуют синташтинско-абашевским традициям (и потому мы их здесь не описываем), хотя иногда (в случае необходимости плавить породы силикатного состава) температуры могли подниматься выше. Вместе с тем, на срубных памятниках отмечена и новая для этого района технология плавки халькопирита.

Необходимо отметить, что шлак, связанный с месторождениями в медистых песчаниках присутствует только на Сергеевском поселении, хотя и другие поселения располагаются в непосредственной близости от зоны распространения этих месторождений (рис. 8-1). Объясняется это в одних случаях следованием синташтинско-абашевской традиции использования руды из ультраосновных пород, в случае же с кислыми породами — вероятно, стремлением использовать сульфидные руды, не столь характерные для медистых песчаников. Это позволяло добиться низких потерь металла и его восстановления при достаточно интенсивном дутье и высоких температурах, что было бы полностью невозможно при использовании песчаниковой руды. То есть песчаники слабо использовались (их доля в этой выборке 27,5%) по той причине, что их свойства не соответствовали технологическим традициям. Не исключено, что в перспективе среди срубного шлака Башкирии будут выявлены образцы, связанные с месторождениями этого типа, но при выборке в 66 образцов шлака и 7 образцов руды можно утверждать, что принципиально ситуация вряд ли изменится.

Как и в синташтинской металлургии, плавка велась непосредственно в печи. Довольно трудно сказать в каких печах осуществлялись эти плавки. На срубном поселении Тавлыкаево (помимо срубной, на поселении отмечена примесь алакульской и черкаскульской посуды) в Башкирском Зауралье была исследована мастерская металлурга, располагавшаяся на окраине поселка. Вероятно, этот факт указывает на появление специализации производства, что было характерно для металлургии этого времени во многих районах. Была исследована металлургическая печь, которая представляла собой прямоугольное углубление размером 27×22 см и глубиной 16 см, заполненное углем и шлаком (рис. 8-7). Стенки печи были наклонными и выложены известняковыми плитками. В нижней части печи обнаружен слиток меди весом 105 г. Это указывает на то, что и объемы плавки были близки синташтинским. В жилище обнаружены каменные песты и молоты для дробления руды и кусочки шлака. Анализ металлических изделий поселения позволил отнести их к металлургическим группам ВК и МП (Морозов, 1981, с. 61, 62).

Данная технология близка алакульской, что, впрочем, неудивительно, поскольку в основании формирования срубной и алакульской культур лежала синташтинская (Васильев и др., 1995; 1995а; Григорьев, 1999, с. 142; 2000, с. 295). Присутствие раннеалакульской керамики на срубных поселениях Приуралья отмечено в различных районах, но наиболее характерно для южных памятников, расположенных в Среднебельском районе. Это характеризует срубные памятники, начиная с раннего этапа (I Береговское, Верхнебиккузинское, Юмаково III) (Обыденнов, Обыденнова, 1992, с. 144—145; Рутто,

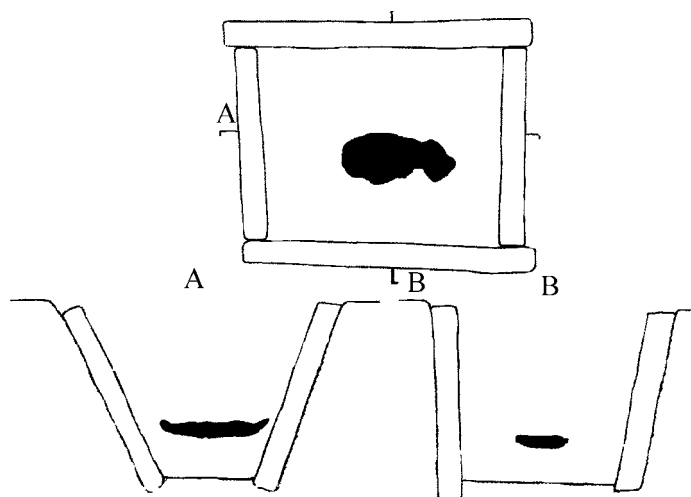


Рис. 8-7. Печь срубного времени поселения Тавлыкаево (Морозов, 1981)

1982, 1987; Григорьев, 2000, с. 291—299). Поэтому распространение этой технологии в Башкирии было связано как с собственно синташтинской культурой или близкими ей памятниками Приуралья (Тюбяк), так и с теми процессами распада синташты, которые вызвали импульсы этой популяции на запад и привели к оформлению срубно-алакульского мира.

Новым явлением стала плавка халькопирита. Это новая для региона технология, не связанная с синташтинско-абашевской традицией. Раньше предполагалось, что плавка сульфидов ведется сначала на штейн, смесь сульфидов железа и меди, затем в окислительной атмосфере происходит восстановление металла (Tylecote, 1980, p. 5, 7). Есть мнения и о том, что плавка сульфидов осуществлялась сразу, без промежуточной стадии получения штейна (Hauptmann u.a., 1993, S. 560). Наши исследования показывают, что даже из халькопирита медь получали непосредственно. Стадия плавки на штейн является уже следующим шагом в развитии металлургии, ориентированным на большие объемы плавки. Собственно, этот переход на сульфиды наблюдается в ПБВ везде. При этом информация об обжиге для получения штейна повсюду отсутствует (Tylecote, 1982, p. 99). Примечательно и присутствие восстановленного железа в шлаке, что мы не наблюдали в синташтинской металлургии. В эпоху поздней бронзы появление железа в шлаке от плавки медных сульфидных руд является типичной ситуацией, хотя иногда и рассматривается в качестве признака позднего происхождения шлака. Железо хорошо представлено, например, в шлаках ПБВ в районе Миттерберга в Австрии, где использовались халькопирит и блеклые руды, причем, плавка сульфидов осуществлялась напрямую, без стадии плавки на штейн. В меди в этом случае тоже фиксируются включения сульфидов, и ее было необходимо рафинировать (Moesta, 1995, p. 262; Romanow, 1995, p. 264; Shennan, 1995, p. 287, 299). Это решалось переплавкой в тигле. Переплавка резко снижает содержание железа в меди. При дутье железо легко окисляется и всплывает (Tylecote, 1987, p. 192, 193).

Межовская металлургия

Межовские шлаки обнаружены в Приуралье только на двух памятниках: Новокизганово, изученном М. Ф. Обыденновым в 1984 г. и Юкалекулево¹, раскопанном им же в 1970 г. (Обыденнов, Шорин, 1995, с. 53). Количество памятников очень мало, как и сама выборка с каждого из этих памятников (4 образца с Новокизганово и 3 образца с

¹ На этом поселении, помимо межовской, обнаружена и черкаскульская керамика, но шлак связан, по мнению автора раскопок, именно с межовским временем.

Юкалекулевского). Это не позволяет проводить членение на какие-то группы. К тому же шлаки этих памятников несколько отличаются друг от друга, и это различие, возможно, более существенно, чем различие образцов внутри отдельного поселения. Поэтому ниже дается описание по отдельным памятникам.

Новокызганово

Все образцы Новокызганово представлены кусочками бесформенного шлака. Шлак имеет четко выраженную зональную структуру. Первая зона представляет собой стекло с мелкими порами. У самой поверхности кристаллизация практически не прошла. Далее начинают встречаться зародыши или мелкие иголки оливиновой кристаллизации. Другие включения здесь представлены слабее. Это небольшие расплавляющиеся зерна кварца, изредка мелкие корольки меди, частицы железа, хромита, халькопирита, магнетита.

В средней части оливиновая кристаллизация начинает возрастать. Она представлена здесь иголками и мелкими призмами. Однако местами эта кристаллизация не фиксируется. Стекло в таких случаях часто подкрашено медью и купритом. Увеличивается количество корольков меди. Некоторые из них окружены каймой куприта или сульфида. Встречаются редкие корольки ковеллина, зернышки малахита, корольки куприта, зерна халькопирита (иногда замещаемые медью и сульфидом). Изредка есть мелкие чуть оплавленные октаэдры вюстита. Иногда попадаются куски стекла, ранее затвердевшего и вновь разбитого. В обр. 442 обнаружен кусок породы и прожилка кварца. С одной ее стороны фиксируется куприт в ассоциации с халькопиритом и пиритом, с другой — прожилка малахита.

Ближе к другой поверхности степень кристаллизации оливина вновь уменьшается. В обр. 439 зафиксирована любопытная ситуация. У поверхности — практически чистое стекло. Однако от самой поверхности вниз проникает два участка шлака с четко очерченными границами и хорошей кристаллизацией фаялита (очень длинные параллельные игольчатые структуры), внутри которых скопления плотных оплавленных дендритов вюстита. Формирование этих участков проходило явно не здесь. Они, как бы, вдавлены сверху в шлак.

Таким образом, плавил окисленную руду и сульфиды (ковеллин, халькопирит) в кварцевой породе. Правда, включения хромитов позволяют допускать, что речь идет о кварцевых жилах в ультраосновной породе, либо же такая порода использовалась в качестве флюса. Оснований говорить о специальной компоновке шихты из смеси разных по происхождению руд, вероятно, нет, поскольку выявлен фрагмент руды, в котором встречены все рудные типы — от малахита до халькопирита.

Температуры не вполне ясны, но довольно высокие. Они могли достигать 1360 °С, поскольку встречены оплавленные дендриты вюстита, но последнее могло произойти и без таких высоких температур. Однако о температурных рамках 1200—1300 °С можно говорить с большой долей надежности. Атмосфера плавки восстановительная. Материал неплохо переработан. Шлак по своей зональной структуре близок некоторым среднеазиатским шлакам (Григорьев, 1996а). Скорее всего, такие структуры могут образовываться и по стенке и поду печи, и слабость кристаллизации под одной поверхностью (контактировавшей с обмазкой) могла быть вызвана отсутствием необходимых компонентов, а по другой тем, что, по каким-то причинам, температура в печи резко упала (например, была убрана крышка печи, а устье было достаточно широким). Но нельзя полностью исключить и возможность частичного выпуска шлака. В этом случае быстро остывает зона, контактировавшая с грунтом и верхняя часть, а в середине кристаллизация идет несколько медленнее. Часть шлака, остававшаяся в печи, остывает не так быстро. Часть такого шлака могло тоже изливаться, что приводило к формированию кусков застывшего шлака во вновь застывающем расплаве. Но без конструкций печи это предположение подтвердить невозможно.

От этих образцов отличается образец 441, представленный небольшим комочком шлака. Фаялитовая кристаллизация в нем тоже не прошла, но встречено очень много октаэдров и скелетов магнетита, королек меди, расплава и королек куприта, замещения купритом малахита (последний часто присутствует в кварце). У одного королька куприта выявлена сульфидная кайма. Образец этот очень мал.

Юкаликулевское

На поселении Юкаликулевское в постройке 1 был найден тигель на ножке. Рядом с ним обнаружены четыре тяжелые шлаковые лепешки, сформировавшиеся в углублении. Обе стороны их неровные, но одна выпуклая, а вторая вогнутая (№ 463—466). Встречен и не очень тяжелый пористый шлак. Все края его обломаны. Одна поверхность неровная, гладкая, покрытая керамзитовой пленкой. Вторая поверхность — неровная, пористая шлаковая масса (№ 460, 461). Последний образец представлен небольшим очень плоским комочком шлака (№ 462).

Шлак неоднороден, но выделить в нем какие-то четко отчленяющиеся группы сложно. Микроструктура шлака зависит от соотношения кислотных и основных окислов, принимавших участие в плавке, или от скорости остывания расплава. В результате, оливинная кристаллизация прошла неравномерно. В некоторых образцах она выражена слабо, в некоторых (обр. 461) не выражена вообще, в других фаялит образует кристаллы призматической формы, хотя обычно не слишком крупные. Примечательно, что в образце 461, где оливинная кристаллизация не прошла, все компоненты хорошо переработаны, и корольки меди осели полностью. Обычно в вязких силикатных шлаках этого не случается. Следовательно, причина отсутствия кристаллизации в высокой скорости остывания расплава.

Очень неравномерно распределен и железистый компонент, представленный магнетитом, хотя в целом в шлаках этого поселения его достаточно много. Иногда частицы магнетита группируются в крупные оплавленные поля. Часто фиксируются скопления октаэдров и зерен магнетита. Основная его часть явно формируется из каких-то более крупных зерен, но были ли это преднамеренные флюсы сказать сложно. Тем не менее, исключить подобной возможности в данном случае нельзя, хотя надежные факты в пользу этого отсутствуют. Скорее, все железосодержащие компоненты поступали из халькопирита и рудовмещающей породы. Часть магнетита в виде мелких скелетов прорастает из расплава. Вюстит формирует дендриты, порой довольно крупные и оплавленные (рис. 8-8). Встречаются изредка и скопления из мелких частиц магнетита и куприта — результат распада какого-то первичного медного сульфида или медной руды в железосодержащей породе. Вероятно, и вюстит является не результатом кристаллизации дендритов из расплава, а результатом распада зерен халькопирита, выплавлением из них медного сульфида и окислением сульфида железа. Поэтому халькопирит в шихту подал, но его количество было невелико. Крайне редко встречаются зерна хромита. Иногда они инкорпорированы в зерна серпентинита. Во всех шлаках хорошо представлены зерна кварца.

В основном количество королек меди невелико, хотя в некоторых образцах ее потери возрастают из-за перенасыщенности шлака магнетитом (обр. 462).

Поведение куприта в разных шлаках различается. В целом, его немного. Но в некоторых образцах он представлен только зернами (№ 465), а в других присутствуют его дендриты среди иголок делафоссита (№ 466). Встречаются корольки, расплав, замещение рудных тел, но расплавленные формы могли формироваться и по сульфиду.

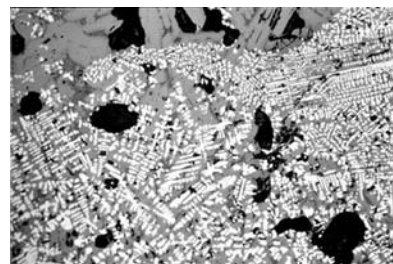


Рис. 8-8. Решетчатые структуры вюстита (белое) в шлаке (образец 463) поселения Юкаликулевское в Приуралье

В отдельных образцах выявлены восстановленные частицы железа, хотя это не широко распространенное явление. Несколько лучше они представлены в обр. 463, где зафиксирована, кроме этого, частица, состоящая из меди и железа. По-видимому, произошло ее восстановление из халькопирита.

Состав рудных минералов очень вариабелен: малахит, хризоколла, азурит, ковеллин, изотропный сульфид (он образует стандартные ассоциации с купритом и медью), борнит, халькопирит, зерна пирита. Но руды не слишком много. И медь представлена слабо. Нет и избытка куприта. Поэтому расплав не был вязким, хотя фаялитовая кристаллизация прошла плохо. Складывается ощущение, что плавка проходила в течение продолжительного времени, что способствовало хорошей переработке компонентов. Вероятно, в ходе плавки вязкость была низкой благодаря как температурам, так и тому, что шлак не был слишком кислым. А слабая кристаллизация фаялита вызвана высокой скоростью остывания расплава.

Таким образом, окисленная и сульфидная руда происходила из зоны цементации в кварцевой породе. Впрочем, не исключено, что это кварцевые жилы в серпентинизированных ультраосновных породах.

В одном образце (№ 466) зафиксированы обломки шлакового стекла. Не исключено, что это свидетельство использования старого шлака в качестве флюса. Но более вероятно, что шлак изливался, и часть быстро застывших участков (стекло) была измельчена и смешалась с расплавом в ходе выпуска. Выплеск шлака, вероятно, производился в ямку. Атмосфера, плавки, в целом, восстановительная, что способствовало иногда образованию железа, но иногда происходило локальное окисление расплава. Причем, это происходило до слива шлака, так как формирование игольчатых кристаллов делафоссита могло происходить только в печи.

Температура колебалась от 1200 до 1300 °С, судя по кристаллизации фаялита и куприта, расплавам куприта, а оплавленные дендриты вюстита позволяют для ряда случаев допускать и более высокие температуры. Тем не менее, температуры отдельных образцов были ниже 1250 °С. Поэтому температурные характеристики или неустойчивы или у нас просто недостаточно данных по причине незначительности выборки.

Выводы по межовской металлургии

К сожалению, количество исследованных межовских шлаков очень невелико, к тому же они происходят всего с двух поселений Приуралья, что заставляет осторожно относиться к выводам, сделанным на этой основе. Очевидно то, что в плавку поступала смесь из довольно широкого спектра руд от малахита до халькопирита. Руды эти связаны с кварцевыми породами, хотя в одном случае не исключено, что это кварцевые жилы в ультраосновных породах. Но стремление брать руду именно из ультраосновных пород, как это имело место в синташтинско-абашевское время, отсутствовало. Нет никаких данных и об использовании флюсов. Мало вероятна и специальная компоновка рудной смеси из сульфидной и окисленной руды. Скорее всего, эта смесь изначально присутствовала на месторождении. Поэтому соотношение окисленных и сульфидных руд различалось, что вело к определенной вариабельности шлака. Но именно присутствие сульфидов способствовало как созданию восстановительной атмосферы, так и поддержанию высоких температур.

Не исключен вариант частичного выпуска шлака, так как часть шлака остывала достаточно быстро. В иных частях Старого Света в ПБВ зафиксирован выпуск шлака. В Европе и Египте в это время наблюдаются достаточно большие объемы производства в рамках одной плавки. Египетские печи в Негеве с ямами для спуска шлака сопровождаются шлаковыми лепешками весом 30 кг. Кроме того, в Европе известны слитки меди весом 3—4 кг, а в Восточном Средиземноморье до 30—40 кг, а это нельзя было

переплавить в тигле. Поэтому не исключен в некоторых случаях и выпуск меди (Tylecote, 1980a, p. 190, 194, 195). Но в Приуралье такого не наблюдается. Поэтому строгих данных эти материалы не дают, и мы вернемся к проблеме межовской металлургии на зауральском материале.

Менее вероятна плавка в тигле и выплеск из тигля. На ряде памятников Урала были обнаружены тигли, датируемые межовским временем (рис. 8-9). Они имеют чашеобразную или цилиндрическую форму и в ряде случаев подставки и ножки. Некоторые из этих тиглей имели довольно крупные размеры. Их объемы колебались в пределах 500—1000 см³ (Обыденнов, Шорин, 1995, с. 85). Поскольку удельный вес меди составляет 8,9 г/см³, в подобных тиглях можно было расплавить 3,5—6 кг металла, что слишком много для металлообрабатывающего производства. Поэтому их вполне могли использовать для плавки руды. В таких тиглях можно было получать от 100 до 200 г меди. Но для Средиземноморья известны крупные тигли для переплавки меди. Так, тигель ПБВ из Серабита мог вместить 7,6 кг бронзы (Tylecote, 1980a, p. 201). Поэтому данный вариант не исключен полностью, но это должно тогда указывать на товарный характер производства в Приуралье.

Возможен и другой подход, если опираться на известные аналогии. Так, плавка сульфидных руд в тигле была выявлена в Швейцарии, что фиксировалось включениями сульфидов в стенках тигля (Maggetti et al, 1990, p. 94). Исследование ошлаковки

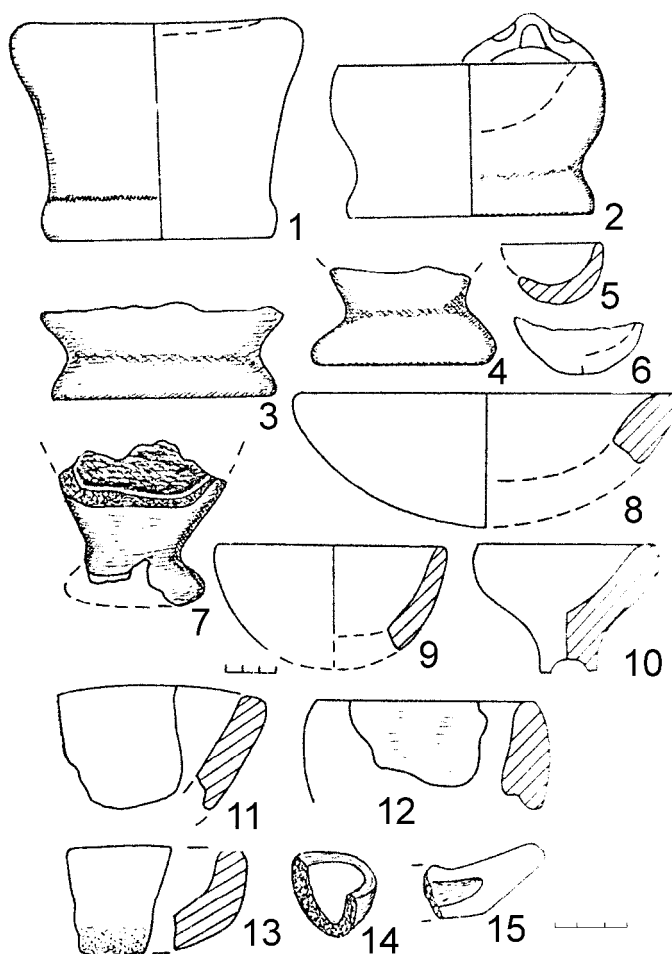


Рис. 8-9. Межевские тигли и льячки (14—15) (по Обыденнов, Шорин, 1995): 1—3, 12—14 — Тюбук; 4 — Юкалекулевское; 6 — Кузькинская VII; 7 — Палкино; 8 — Батрак-Айратовская; 9 — Верхне-Биккузинское; 10 — Бирское; 11 — Нижегородское III; 15 — Старо-Ялларовская I

тигля, найденного на Кипре, в Энкоми, и датированного ПБВ, показало присутствие медных и медно-железистых сульфидов, силикатов железа и магнетита. Из чего можно заключить, что в тигле плавил руду. Эксперименты с моделированием подобной плавки в лабораторных условиях дали те же микроструктуры (Zwicker et al., 1992, p. 104, 106).

Следует отметить и еще одно обстоятельство. Использование первичной медной руды (халькопирита) могло создавать в отдельных случаях условия, когда в качестве попутного продукта металлургии могли получать железо. Обратим внимание на то, что мелкие включения восстановленного железа присутствуют в шлаках межовской серии, хотя присутствие железа в шлаке фиксируется и в отдельных срубных образцах.

Металлургия курмантау

В заключение остановимся на единичных образцах с поселения Какрыкуль. На поселении обнаружена керамика курмантау, что можно рассматривать в рамках продолжения межовской традиции и относить к финалу бронзового века, и энеолитическая гаринско-борская. Судя по характеристике шлака он, вероятно, датируется временем курмантау, хотя и для энеолита нам известны шлаки, отмечающие плавки подобных руд.

Образцы представлены крупными кусками тяжелого бесформенного, слегка уплощенного шлака. В плавку поступали, преимущественно, сульфидные руды (халькопирит, борнит). Атмосфера плавки, благодаря этому, была восстановительной. Наблюдается обилие вюстита, характерного для плавки этих сульфидов. Расплав остывал со средней скоростью. Фаялит образовался после вюстита. Судя по обилию вторичного сульфида меди и почти полному отсутствию собственно меди, не исключено, что получали смесь штейна с медью, что требовало последующей переплавки, но это на такой серии маловероятно, и не подтверждается пока иными сериями. Температуры плавки могли быть выше 1360 °С, но верхний предел определить сложно. Шлак с поселения Какрыкуль сформировался в печи. Вероятно, плавка была кратковременной, поскольку сульфид не до конца прореагировал с кислородом. Впрочем, не исключено (это лишь два образца), что здесь мы имеем дело с бракованной плавкой того же типа.

Спектроаналитические исследования шлака

Шлаки СБВ

Химические исследования металла, руды и шлаков Приуралья имеют глубокую историю. Огромная работа по анализу металла региона была осуществлена Е. Н. Черных. Спектральный анализ абашевского и баланбашского (уральского абашевского) металла позволил разделить его на две основные химико-металлургические группы МП и ТК, связанные своим происхождением с плавкой руды из медистых песчаников Приуралья и рудника Таш-Казган. Вторая группа отличается повышенными концентрациями мышьяка и рассматривается как естественная бронза. Наблюдается также отчетливая закономерность преобладания меди ТК в баланбашской серии и меди МП в абашевской (Черных, 1970, с. 27, 28). В частности, предполагается, что проанализированная руда с поселений Баланбаш и Урняк происходит с рудника Таш-Казган (Черных, 1970, с. 42). Наши исследования шлаков синташтинской культуры, обсуждавшиеся выше, позволяют утверждать, что группа ТК является не столько естественной мышьяковой медью, связанной с различными месторождениями, сколько искусственной бронзой, легированной на стадии плавки руды. Поэтому следует предполагать, что ситуация в Приуралье повторяет зауральскую. Примечательно и то, что частотные диаграммы концентраций примесей в абашевском (волжском) и баланбашском (уральском) металле ТК имеют, в целом, идентичную конфигурацию, однако содержание мышьяка в баланбашской се-

рии заметно выше. Кроме того, если в абашевской серии к группе ТК было отнесено 14 предметов, а к МП — 50, то в баланбашской к ТК — 55, а к МП — 17 (Черных, 1970, рис. 18, 22, с. 28). Но с учетом уже обсуждавшейся тенденции использования меди МП, преимущественно, в украшениях, в весовом отношении разница соотношения этих групп будет более существенной. Следовательно, в шлаке доля мышьяковых бронз должна быть выше.

Действительно, из проанализированных 20 шлаков абашевского времени 7 (35%) показали содержание мышьяка ниже 0,01%, а 13 (65%) выше (таб. 8-10). Именно этот порог мы рассматривали в качестве показательного для шлака, отражающего плавки на получение мышьяковых бронз, для синташтинской металлургии. Впрочем, частотная диаграмма распределения мышьяка в абашевском шлаке (рис. 8-11) показывает две вершины с границей около 0,03%. Поэтому не исключено, что здесь именно она маркирует шлаки, в ходе плавки которых применялось искусственное легирование, и часть мышьяковых бронз с низким содержанием мышьяка была получена естественным путем. Это не исключено, так как доля использования сульфидных руд в Приуралье выше, а им свойственны несколько более высокие концентрации мышьяка.

Как и в синташтинской металлургии Зауралья, наблюдается зависимость между высокими концентрациями мышьяка и минералогическими группами I, III, связанными с рудой из ультраосновных пород: из 13 образцов 9 относятся к этим группам, и только один образец из ультраосновных пород показал низкие концентрации мышьяка. В противоположность этому, группы, связанные с кварцевыми породами, могут быть как низкомышьяковыми, так и высокомышьяковыми. А мы уже обсуждали, что, поскольку на Таш-Казгане руда в кварцевых породах, мы должны были бы ожидать увидеть иное соотношение. Примечательно и то, что образец группы V (№ 402, Юмаково III), которая является, по-видимому, признаком архаичной абашевской технологии, продемонстрировал относительно высокое содержание мышьяка. Но ни один образец, связанный с кварцевыми породами, не содержит мышьяка более 0,03%, в то время, как (за исключением одного образца) во всех образцах, связанных с ультраосновными породами, содержание мышьяка начинается от 0,05% и выше.

Эта связь мышьяка с рудами в ультраосновных породах прекрасно демонстрируется и корреляционным графиком As—Cr, на котором подавляющее большинство образцов показывает прямую зависимость между этими элементами, причем шлаки, выплавленные из руд в ультраосновных породах, содержат более высокие концентрации этих элементов (рис. 8-12). Таким образом, здесь мы имеем дело с той же, что и в синташтинской металлургии, традицией легирования мышьяковыми минералами на стадии плавки руды. Как и в синташте, во многих случаях легирование осуществлялось минералами с существенной примесью никеля, хотя здесь это выражено уже не так отчетливо, если исходить из графика As—Ni, а в шлаках, выплавленных из руд в кварцевых породах, эта зависимость и вовсе отсутствует (рис. 8-13).

Таким образом, мышьяковая медь группы ТК в абашевской серии, как и в синташтинской, отражает легирование руды, преимущественно из ультраосновных пород, мышьяковыми или мышьяково-никелевыми минералами на стадии плавки руды. Нелегированные плавки производили вторую группу меди — МП. Это руда из различных месторождений в кварцевых породах, но часть ее, хотя и не вся, действительно могла быть связана с медистыми песчаниками.

Шлаки ПБВ

Для срубного металла выделяются иные группы — МП (чистая медь) — 45,6%, оловянные бронзы (некоторые из них имеют в своем составе и мышьяк) — 45,4%, мышьяковые и сурьмяно-мышьяковые бронзы — 8,2% и сурьмяные бронзы — 0,7% (Черных,

Таб. 8-10

Спектральные анализы шлаков Башкирского Приуралья (%)

Плавник	Материал	Мин. группы	Номер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Gc	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Урун	Шлак		51	0.01	0.007	0.007	0.007	1	0.015	0.3	0.001	<0.0003	>>1	0.2	0.5	0.005	0.005	<0.003	<0.001	0.0007	0.5	0.3	<0.001	0.001	0.003	0.001	>0.03	>0.003	
Таш-Каян	Шлак		100	0.07	0.002	0.015	0.15	0.01	0.5	0.001	0.00015	0.2	0.1	0.03	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.1	0.05	<0.001	0.003	0.002	0.015	0.0015	0.002	0.0002
Урун	Шлак		101	0.003	0.002	0.007	0.15	0.0015	0.3	<0.0005	<0.0003	0.2	0.005	0.0007	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.2	0.07	<0.001	<0.0005	0.0002	0.01	<0.001	<0.001	0.0001
Урун	Шлак		200	0.001	0.0015	0.001	0.05	0.007	0.3	0.001	<0.0003	0.1	0.015	0.0003	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.5	0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	<0.0005	<0.0005	0.001	0.00015
Урун	Шлак		201	0.001	0.0015	0.0015	0.02	0.01	0.3	0.0005	<0.0003	0.1	0.5	0.0015	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.5	0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	0.007	<0.0005	0.001	0.0001
Урун	Шлак		202	0.005	0.005	0.007	0.07	0.007	0.3	0.001	<0.0003	0.1	0.5	0.0015	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.5	0.015	<0.001	0.0003	0.00007	0.01	0.001	0.0015	0.0002
Урун	Шлак		203	0.001	0.0015	0.001	0.02	0.005	0.2	0.001	<0.0003	0.07	0.2	0.001	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.7	0.02	<0.001	0.00005	0.007	0.0005	0.001	0.00015	0.00015
Урун	Шлак		204	0.001	0.0015	0.001	0.03	0.003	0.1	0.0005	<0.0003	0.1	0.07	0.0005	0.00005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.015	<0.001	<0.0005	0.0003	0.0005	0.001	0.00015	0.00015
Урун	Шлак		205	0.0015	0.001	0.001	0.03	0.005	0.2	0.001	<0.0003	0.5	0.5	0.0005	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.015	<0.001	0.0003	0.0005	0.001	0.001	0.001	0.00015
Чшмы	Шлак	I	344	0.01	0.003	0.3	0.02	0.007	0.15	<0.0005	0.001	0.2	nd	0.003	0.00015	0.1	0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.02	0.01	<0.001	0.0007	<0.0003	0.0015	<0.001	<0.0001	
Алтово	Шлак	II	355	0.007	0.01	0.01	0.02	0.015	0.2	0.0005	0.003	>>1	0.15	0.02	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.007	>>3	0.5	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.001	0.002	0.0002
Алтово	Шлак	II	356	0.005	0.003	0.03	0.02	0.02	0.2	0.001	0.007	>>1	0.007	0.02	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.03	>>3	0.7	<0.001	<0.0005	0.00015	0.02	0.0015	0.003	0.00015
Алтово	Шлак	II	357	0.003	0.001	0.02	0.02	0.015	0.5	0.001	0.002	>>1	0.007	0.02	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	>>1	>>1	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.0015	0.003	0.00015
Алтово	Шлак	II	358	0.005	0.005	0.02	0.1	0.03	0.5	0.001	0.007	>>1	0.007	0.02	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	>>3	0.5	<0.001	0.0003	0.0002	0.2	0.0015	0.003	0.00015
Алтово	Шлак	I	359	0.01	0.005	0.5	0.02	0.007	0.1	<0.0005	0.00015	0.15	nd	0.002	0	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	0.01	0.0005	0.002	0.00015
Алтово	Шлак	I	360	0.007	0.002	0.15	0.03	0.0015	0.1	<0.0005	0.00015	0.7	0.02	0.002	0.003	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.02	0.01	<0.001	0.0003	<0.0003	nd	0.0015	0.001	0.00015
Алтово	Шлак	II	361	0.005	0.007	0.015	0.03	0.015	0.2	0.0005	0.005	1	0.02	0.03	0.0015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.3	0.15	<0.001	0.0003	0.0002	0.2	0.001	0.002	0.00015
Алтово	Шлак	I	362	0.007	0.0015	0.1	0.03	0.0015	0.07	<0.0005	0.0003	>1	0.05	0.002	>>3	0.5	0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.2	0.02	<0.001	0.001	<0.00003	nd	0.0015	<0.001	0.00015
Алтово	Шлак	II	363	0.005	0.003	0.03	0.1	0.02	0.3	0.001	0.01	>>1	0.02	0.1	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.5	<0.001	0.0003	0.0002	0.2	0.002	0.003	0.00015
Алтово	Шлак	II	364	0.005	0.002	0.02	0.03	0.02	0.3	0.0015	0.007	>>1	0.007	0.07	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	>>3	0.7	0.001	<0.0005	0.00015	0.02	0.002	0.002	0.0001
Алтово	Шлак	I	365	0.005	0.003	0.02	0.1	0.02	0.3	0.0015	0.007	>>1	0.01	0.05	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	3	0.2	0.001	<0.0005	0.00015	0.02	0.0015	0.002	0.00015
Алтово	Шлак	II	366	0.005	0.005	0.02	0.05	0.02	0.3	0.001	>>1	>>1	0.015	0.05	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	3	0.3	<0.001	<0.0005	0.00015	0.02	0.0015	0.002	0.00015
Алтово	Шлак	II	367	0.005	0.003	0.02	0.015	0.02	0.2	0.001	0.007	>>1	0.007	0.05	>>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	>>3	0.5	<0.001	<0.0005	0.0002	0.3	0.002	0.003	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	368	0.007	0.003	0.07	0.02	0.015	0.3	0.0015	0.002	1	0.01	0.03	0.0007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.5	<0.001	<0.0005	0.0002	0.3	0.002	0.002	0.0003
Сергеевское	шлак	IV	369	0.005	0.002	0.02	0.015	0.015	0.2	0.0005	0.0015	1	0.01	0.02	0.0003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	>>3	0.2	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.0015	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	370	0.003	0.001	0.015	0.02	0.015	0.15	0.0005	0.01	>>1	0.01	0.05	>>3	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	>>3	0.2	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	372	0.005	0.002	0.02	0.02	0.01	0.2	0.0005	0.0015	1	0.01	0.015	0.0002	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	>>3	0.15	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.0015	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	373	0.01	0.003	0.02	0.02	0.015	0.2	0.001	0.005	>1	nd	0.05	0.0015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	>>3	0.3	<0.001	0.0003	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	374	0.005	0.002	0.015	0.015	0.015	0.2	0.0015	0.002	>>1	nd	0.03	0.0005	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	375	0.007	0.003	0.2	0.07	0.015	0.3	0.0015	0.003	>>1	nd	0.03	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	376	0.01	0.003	0.02	0.03	0.015	0.2	<0.0005	0.003	>>1	0.01	0.03	0.0007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	3	0.2	<0.001	<0.0005	0.0002	0.15	0.0015	0.001	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	377	0.007	0.002	0.05	0.03	0.015	0.3	0.0015	0.003	>1	0.01	0.03	0.0007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.0015	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	378	0.005	0.002	0.015	0.02	0.015	0.3	0.0015	0.002	>>1	0.01	0.03	0.0007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.15	0.0015	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	379	0.005	0.003	0.02	0.015	0.02	0.2	0.001	0.007	>>1	0.01	0.03	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.3	<0.001	0.0005	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	VI	380	0.005	0.003	0.02	0.015	0.015	0.3	0.001	0.002	1	0.01	0.02	0.001	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	381	0.005	0.002	0.03	0.03	0.015	0.2	0.0005	0.003	>>1	nd	0.03	0.002	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	>>3	0.3	<0.001	0.0005	0.0002	0.15	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	382	0.005	0.002	0.02	0.02	0.02	0.2	0.001	0.0015	>>1	0.01	0.02	0.0015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.15	0.0015	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	383	0.005	0.002	0.03	0.03	0.015	0.2	0.001	0.0015	>>1	0.01	0.02	0.002	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	>>3	0.3	<0.001	<0.0005	0.0002	0.15	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	384	0.01	0.002	0.03	0.02	0.015	0.2	0.001	0.002	>>1	nd	0.03	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	>>3	0.3	<0.001	0.0003	0.0002	0.15	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	385	0.007	0.002	0.03	0.03	0.015	0.2	0.001	0.003	>>1	0.01	0.05	0.0015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	>>3	0.3	<0.001	0.0003	0.0002	0.2	0.002	0.002	0.0002
Сергеевское	шлак	IV	386	0.02	0.002	0.03	0.																						

Продолжение Таб. 8-10

Памятник	Материал	Мин. группы	Номер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ce	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Верхне-Блукзано	Шлак	I	406	0.005	0.0015	0.07	0.03	0.001	0.05	<0.0005	0.00015	0.5	0.015	0.001	0.0015	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.015	0.01	<0.001	0.0003	<0.00003	0.001	0.001	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	407	0.015	0.003	0.3	0.07	0.007	0.15	0.0005	0.0003	0.5	nd	0.0007	0.0003	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.001	0.001	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	409	0.05	0.005	0.15	0.15	0.003	0.1	0.0005	0.0003	>>1	0.05	0.005	>3	0.3	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.03	0.01	<0.001	0.0007	0.00003	nd	0.0015	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	410	0.03	0.005	0.2	0.1	0.005	0.15	0.0005	0.00015	1	0.02	0.0015	0.0015	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	<0.00003	nd	0.001	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	411	0.03	0.005	0.7	0.05	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.5	nd	0.001	0	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.015	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	0.0005	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	412	0.02	0.005	0.3	0.05	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.5	nd	0.001	0.00007	0.05	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.07	0.01	<0.001	0.0003	0.00007	0.005	0.001	0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	413	0.02	0.003	0.2	0.1	0.005	0.15	<0.0005	0.00015	0.7	0.015	0.001	0.0003	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.015	0.01	<0.001	0.0003	<0.00003	0.001	0.001	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	415	0.02	0.002	0.3	0.03	0.007	0.15	<0.0005	0.00015	1	0.03	0.0015	0.0015	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	0.001	0.0015	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	416	0.007	0.002	0.5	0.07	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	0.3	nd	0.0007	<0.00003	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.0015	0.0005	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	417	0.05	0.003	0.2	0.05	0.005	0.15	0.0005	0.00015	>1	nd	0.001	0.0015	0.3	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.01	<0.001	0.0003	<0.00003	0.001	0.001	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	419	0.03	0.003	0.15	0.05	0.0015	0.15	0.0005	0.00015	>>1	0.05	0.02	>3	0.3	0.0015	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	0.0007	<0.00003	nd	0.0015	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	II	420	0.007	0.002	0.02	0.05	0.015	0.3	0.001	0.005	>>1	nd	0.07	>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.02	>3	0.3	<0.001	0.0003	0.00002	0.015	0.0015	0.0015	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	421	0.01	0.002	0.1	0.02	0.0015	0.1	<0.0005	0.0002	>1	0.03	0.003	>3	0.15	0.0015	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	0.0007	<0.00003	nd	0.002	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	423	0.005	0.0015	0.02	0.05	0.015	0.3	0.001	0.003	>>1	nd	0.02	>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.015	>3	0.15	<0.001	0.0003	0.00015	0.015	0.0015	0.0015	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	424	0.005	0.002	0.03	0.05	0.015	0.3	0.001	0.005	>>1	nd	0.03	>3	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.03	>3	0.15	<0.001	<0.0005	0.0002	0.02	0.0015	0.002	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	425	0.005	0.0015	0.015	0.05	0.015	0.2	0.0005	0.003	>>1	0.007	0.03	>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.015	>3	0.2	<0.001	<0.0005	0.0001	0.015	0.0015	0.0015	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	II	426	0.0015	0.0003	0.005	0.05	0.003	0.1	<0.0005	0.00015	1	0.01	0.002	0.003	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.03	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	III	427	0.01	0.002	0.07	0.005	0.007	<0.0005	0.0003	0.00015	1	0.02	0.003	0.0015	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.001	0.02	0.015	<0.001	<0.0005	<0.00003	0.001	0.0005	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	428	0.003	0.001	0.07	0.02	0.0015	0.07	<0.0005	0.00015	1	0.01	0.0015	0.001	0.05	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.001	0.02	0.015	<0.001	<0.0005	<0.00003	0.001	0.0005	<0.001
Верхне-Блукзано	Шлак	I	429	0.007	0.0015	0.07	0.01	0.003	0.03	<0.0005	0.0003	1	0.03	0.003	0.003	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.00003	0.001	0.0015	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	III	431	0.015	0.002	0.15	0.03	0.0015	0.1	<0.0005	0.0002	1	0.03	0.002	0.0015	0.2	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	<0.00003	0.001	0.001	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	III	434	0.005	0.0015	0.03	0.05	0.015	0.5	0.001	0.0015	>1	nd	0.02	>3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	>3	1	<0.001	0.0003	0.00015	0.015	0.001	0.002	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак	II	435	0.003	0.002	0.02	0.1	0.01	0.15	0.0005	0.003	1	0.015	0.015	0.007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.001	0.05	0.1	<0.001	<0.0005	0.0001	0.01	0.0015	0.002
Верхне-Блукзано	Шлак	VI	436	0.07	0.02	0.001	0.03	0.0015	0.07	<0.0005	0.00015	0.05	0.007	0.0007	0.00003	0.0003	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	<0.0005	<0.00003	0.001	0.0005	<0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак		437	0.005	0.0015	0.01	0.05	0.0015	0.3	0.0005	0.00015	0.15	0.007	0.0007	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	1	0.01	<0.001	<0.0005	0.0001	0.015	0.001	0.001	0.0001
Верхне-Блукзано	Шлак		438	0.015	0.003	0.0015	0.015	0.001	0.02	<0.0005	0.00015	0.7	0.007	0.0007	0.003	0.2	0.007	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.01	<0.001	0.01	<0.00003	0.001	0.0005	<0.001	<0.0001
Ново-Кизляново	Шлак	VII	439	0.007	0.002	0.02	0.03	0.007	0.3	0.001	0.00015	0.5	0.007	0.002	0.0003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	1	0.02	<0.001	0.005	0.00015	0.01	0.001	0.0015	0.00015
Ново-Кизляново	Шлак	VII	441	0.03	0.005	0.02	0.05	0.015	0.2	0.001	0.00015	>1	0.15	>1	0.002	0.05	0.1	<0.001	0.003	0.001	0.15	0.07	<0.001	>0.3	0.00003	0.01	0.001	0.01	0.0015
Ново-Кизляново	Шлак	VII	442	0.01	0.0015	0.02	0.1	0.007	0.3	0.001	<0.0003	0.7	0.007	0.007	0.001	0.01	0.0015	<0.001	<0.001	0.00015	0.1	0.02	<0.001	0.03	0.0001	0.015	0.001	0.0015	0.00015
Ново-Кизляново	Шлак	VII	443	0.015	0.002	0.03	0.03	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	0.3	0.01	0.05	0.0007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.07	0.03	<0.001	0.015	0.0002	0.03	0.0015	0.003	0.0002
Ново-Кизляново	Шлак	I	445	0.007	0.002	0.03	0.05	0.015	0.3	0.001	0.003	1	nd	0.05	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	0.01	3	<0.001	0.0003	0.0002	0.02	0.0015	0.002	0.0001
Ново-Кизляново	Шлак	II	446	0.005	0.001	0.015	0.05	0.015	0.2	0.001	0.0015	1	0.007	0.02	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.01	3	0.3	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.0015
Ново-Кизляново	Шлак	II	447	0.005	0.002	0.015	0.03	0.015	0.2	0.0005	0.0007	1	nd	0.03	0.003	0.003	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.01	3	0.3	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.0015	0.0015
Ново-Кизляново	Шлак	II	448	0.005	0.003	0.02	0.05	0.015	0.2	0.0015	0.0007	1	nd	0.03	0.003	0.003	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.02	3	0.5	<0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.0015	0.003
Ново-Кизляново	Шлак	IV	449	0.01	0.0015	0.03	0.03	0.01	0.3	0.001	0.0015	1	0.007	0.015	0.002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.0005	0.7	0.15	0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.00015	0.002
Ново-Кизляново	Шлак	III	450	0.015	0.0015	0.1	0.07	0.007	0.1	0.0005	<0.0003	1	0.02	0.007	0.002	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.015	<0.001	0.0007					

Окончание Таб. 8-10

Наименование	Материал	Мин. группы	Номер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ce	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Бакер-Узлек	Шлак		471	0.005	0.001	0.003	0.1	0.0015	0.2	<0.0005	0.00015	1	1	0.02	0.00015	0.05	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.03	0.01	<0.001	0.0007	0.00005	0.007	0.0015	0.002	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		472	0.005	0.0015	0.02	0.15	0.007	0.15	0.0015	0.00015	0.7	0.15	0.03	0.0002	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.1	0.03	<0.001	0.02	0.0001	0.01	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		473	0.005	0.0015	0.02	0.15	0.007	0.15	0.0015	0.00015	0.7	0.15	0.03	0.0002	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.1	0.03	<0.001	0.02	0.0001	0.01	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		474	0.007	0.002	0.03	0.1	0.007	0.5	0.001	0.00015	1.5	0.2	0.03	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.07	0.015	<0.001	0.0005	0.0001	0.015	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		474	0.007	0.0015	0.01	0.15	0.01	0.3	0.001	<0.0003	0.7	0.05	0.03	0.0001	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.1	0.03	<0.001	0.005	0.00015	0.007	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		474	0.007	0.0015	0.01	0.15	0.01	0.3	0.001	<0.0003	0.7	0.05	0.03	0.0001	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.1	0.03	<0.001	0.005	0.00015	0.007	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		475	0.005	0.002	0.01	0.07	0.007	0.3	0.0015	0.00015	0.3	0.15	0.007	0.00015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.1	0.05	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.0015	0.007	0.0007	
Бакер-Узлек	Шлак		475	0.005	0.002	0.01	0.07	0.007	0.3	0.0015	0.00015	0.3	0.15	0.007	0.00015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.1	0.05	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.0015	0.007	0.0007	
Бакер-Узлек	Шлак		476	0.015	0.005	0.015	0.07	0.007	0.3	0.001	0.00015	0.3	0.03	0.005	0.00007	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.07	0.015	<0.001	0.0007	0.0001	0.005	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		476	0.015	0.005	0.015	0.07	0.007	0.3	0.001	0.00015	0.3	0.03	0.005	0.00007	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.07	0.015	<0.001	0.0007	0.0001	0.005	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		477	0.005	0.002	0.01	0.05	0.01	0.3	0.0015	0.0005	0.7	0.07	0.01	0.0001	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.1	0.015	<0.001	0.007	0.0001	0.007	0.0015	0.002	0.00015	
Бакер-Узлек	Шлак		477	0.005	0.002	0.01	0.05	0.01	0.3	0.0015	0.0005	0.7	0.07	0.01	0.0001	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.1	0.015	<0.001	0.007	0.0001	0.007	0.0015	0.002	0.00015	
Бакер-Узлек	Шлак		478	0.005	0.002	0.005	0.05	0.007	0.3	0.0015	<0.0003	0.5	0.15	0.03	0.00007	0.005	0.005	<0.001	<0.001	0.00015	0.1	0.015	<0.001	0.1	0.0001	0.007	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		478	0.005	0.002	0.005	0.05	0.007	0.3	0.0015	<0.0003	0.5	0.15	0.03	0.00007	0.005	0.005	<0.001	<0.001	0.00015	0.1	0.015	<0.001	0.1	0.0001	0.007	0.0015	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		479	0.03	0.003	0.03	0.3	0.007	0.3	0.001	0.00015	0.2	0.03	0.0015	0.00007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.07	0.02	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.002	0.00015	
Бакер-Узлек	Шлак		479	0.03	0.003	0.03	0.3	0.007	0.3	0.001	0.00015	0.2	0.03	0.0015	0.00007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.07	0.02	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.002	0.00015	
Бакер-Узлек	Шлак		480	0.015	0.002	0.02	0.15	0.007	0.3	0.0015	<0.0003	0.3	0.07	0.07	0.0002	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.15	0.03	<0.001	0.02	0.0001	0.01	0.001	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		480	0.015	0.002	0.02	0.15	0.007	0.3	0.0015	<0.0003	0.3	0.07	0.07	0.0002	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.15	0.03	<0.001	0.02	0.0001	0.01	0.001	0.003	0.0002	
Бакер-Узлек	Шлак		481	0.005	0.002	0.002	0.2	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.2	0.05	0.003	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.07	0.01	<0.001	0.0003	0.00007	0.003	0.001	0.001	0.00015	
Бакер-Узлек	Шлак		481	0.005	0.002	0.002	0.2	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.2	0.05	0.003	0.00003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.07	0.01	<0.001	0.0003	0.00007	0.003	0.001	0.001	0.00015	
Бакер-Узлек	Шлак		482	0.007	0.002	0.01	0.15	0.005	0.2	0.0015	<0.0003	0.3	0.15	0.01	0.00007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.01	0.02	<0.001	0.0003	0.0001	0.007	0.0015	0.01	0.0005	
Бакер-Узлек	Шлак		482	0.007	0.002	0.01	0.15	0.005	0.2	0.0015	<0.0003	0.3	0.15	0.01	0.00007	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.01	0.02	<0.001	0.0003	0.0001	0.007	0.0015	0.01	0.0005	
Ново-Бярятно	Шлак	VI	707	0.005	0.0007	0.015	0.7	0.0015	0.1	0.0005	0.00015	0.1	0.02	0.003	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.03	0.01	<0.001	0.0003	0.00005	0.0015	0.0005	<0.001	0.0001	
Ново-Бярятно	Шлак	VI	708	0.003	0	0.005	0.5	0.001	0.1	<0.0005	0.00015	0.3	0.15	0.01	0.00005	0.0005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.01	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	0.003	0.001	<0.001	0.0001	
Ново-Бярятно	Шлак	VI	709	0.002	0	0.007	1	0.0015	0.2	<0.0005	0.00015	0.1	0.01	0.001	0.00003	0.0005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.03	0.01	<0.001	<0.0005	0.00007	0.007	0.001	0.0015	0.0001	
Ново-Бярятно	Руда		710	0.003	0	0.003	0.03	0.015	0.1	0.0005	<0.0003	>>1	nd	0.007	>10	0.015	0.015	<0.001	>0.05	0.1	0.3	0.01	0.0015	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.0001	
Тайп-Каган	Руда		1136	0.001	0.0003	0.007	0.03	<0.001	0.07	0.0005	<0.0003	1	0.02	0.003	0.003	0.003	<0.003	<0.001	0.015	0.00015	<0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	nd	0.0005	<0.001	<0.0001	
Тайп-Каган	Руда		1137	0.0015	0.0003	0.003	0.005	0.005	0.3	0.0005	<0.0003	1	0.007	0.002	0.0015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.0001	<0.01	0.03	0.001	<0.0005	0.00003	0.01	0.0015	<0.001	<0.0001
Тайп-Каган	Руда		1138	0.003	0.0003	0.005	0.015	0.007	0.15	<0.0005	<0.0003	1	0.02	0.005	0.003	1	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	0.01	0.01	0.001	<0.0003	0.00007	0.007	0.0005	0.001	<0.0001
Тайп-Каган	Руда		1139	0.0015	0	0.007	0.03	0.0015	0.15	0.0005	0.0003	1	0.01	0.005	0.003	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	3	0.15	<0.001	<0.0005	0.00007	0.007	0.001	<0.001	<0.0001	
Юкалеу-левецкое	Шлак	VII	1162	>0.3	>0.1	0.007	0.02	<0.001	0.07	<0.0005	0.0005	>>1	0.02	0.1	>3	0.3	1	<0.001	0.001	0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	>0.3	<0.00003	nd	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Юкалеу-левецкое	Шлак	VII	1163	0.2	0.1	0.0015	0.01	<0.001	0.05	<0.0005	0.00015	0.7	0.015	0.015	>3	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.01	<0.01	<0.001	0.007	<0.00003	nd	<0.0005	0.0015	0.00015	
Майлы-Юрг	Руда		1170	0.05	0.015	0.003	0.03	<0.001	0.03	<0.0005	<0.0003	1	0.01	0.0003	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00005	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Майлы-Юрг	Руда		1171	0.15	0.02	0.015	0.03	0.0015	0.03	<0.0005	<0.0003	1	0.01	0.0003	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.0005	<0.00003	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Майлы-Юрг	Руда		1172	0.15	0.03	0.03	0.1	0.003	0.05	0.0005	<0.0003	1	0.015	0.0003	0.0003	<0.001	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01	<0.001	<0.0005	<0.00003	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.0001	
Майлы-Юрг	Руда		1173	0.3	0.03	0.01	0.07	0.0015	0.03	0.0005	<0.0003	1	0.015	0.0007	0.0001	<0.001	<0.003	<0.001	<0											

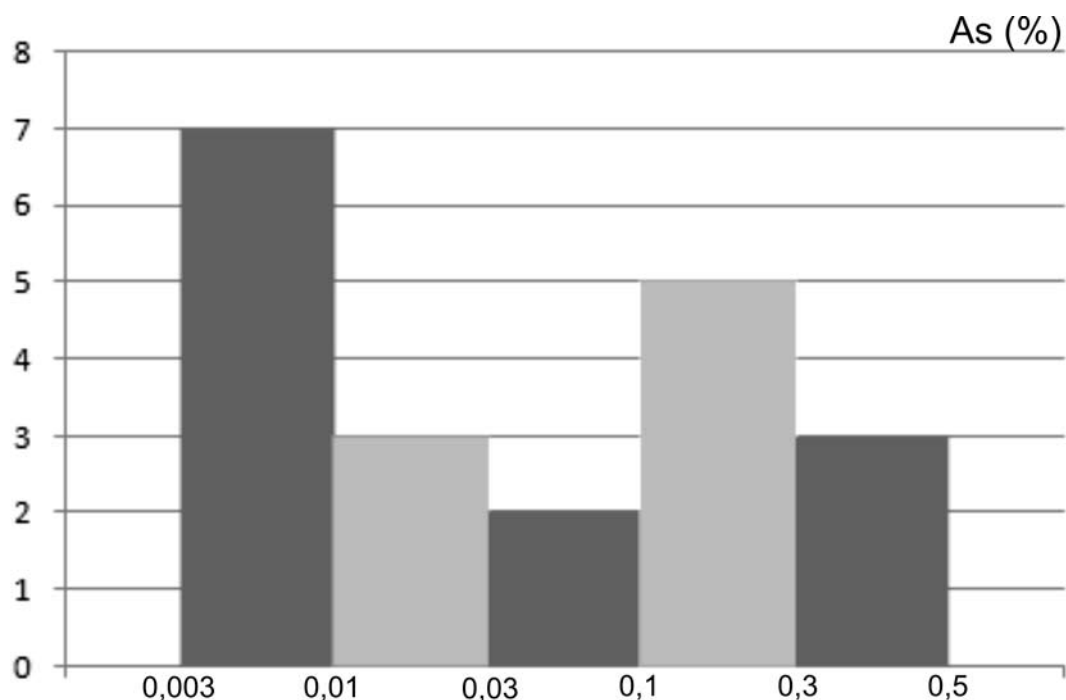


Рис. 8-11. Частотная диаграмма распределения мышьяка в абашевском шлаке Приуралья

2007, таб. 6.3). Исходя из наших целей, мы вправе игнорировать оловянную лигатуру, поскольку легирование оловом осуществлялось в металл. В этом случае мы получим несколько иное соотношение металла (следует иметь в виду, что данная выборка сделана по всей совокупности срубного металла, а не только приуральского).

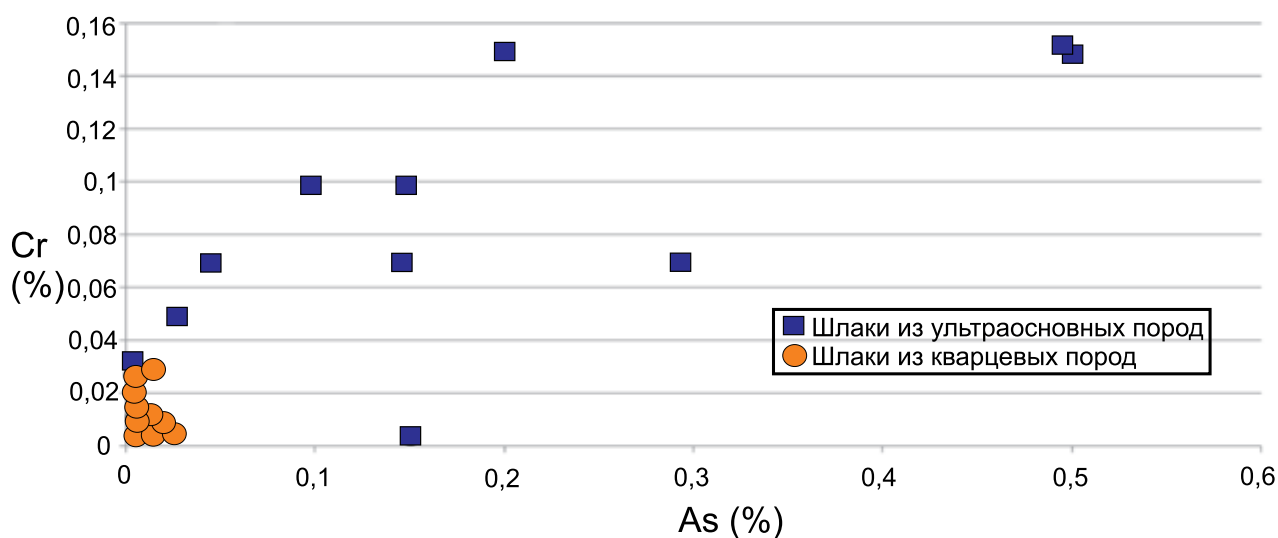


Рис. 8-12. Корреляционный график содержания As—Cr (%) в шлаках Башкирского Приуралья. Черные кружки — образцы, связанные с ультраосновными породами, белые кружки — образцы, связанные с кварцевой породой

Из таблицы 8-14 следует, что в срубное время сохраняется прежняя традиция производства мышьяковых бронз, но доля ее становится неизмеримо ниже. Правда, в Приуралье, вероятно, доля ее окажется выше, но ниже, чем в предшествующее абашевское время. Этому вполне соответствует наблюдаемое при исследовании шлака сохранение традиции плавки руды в ультраосновной породе.

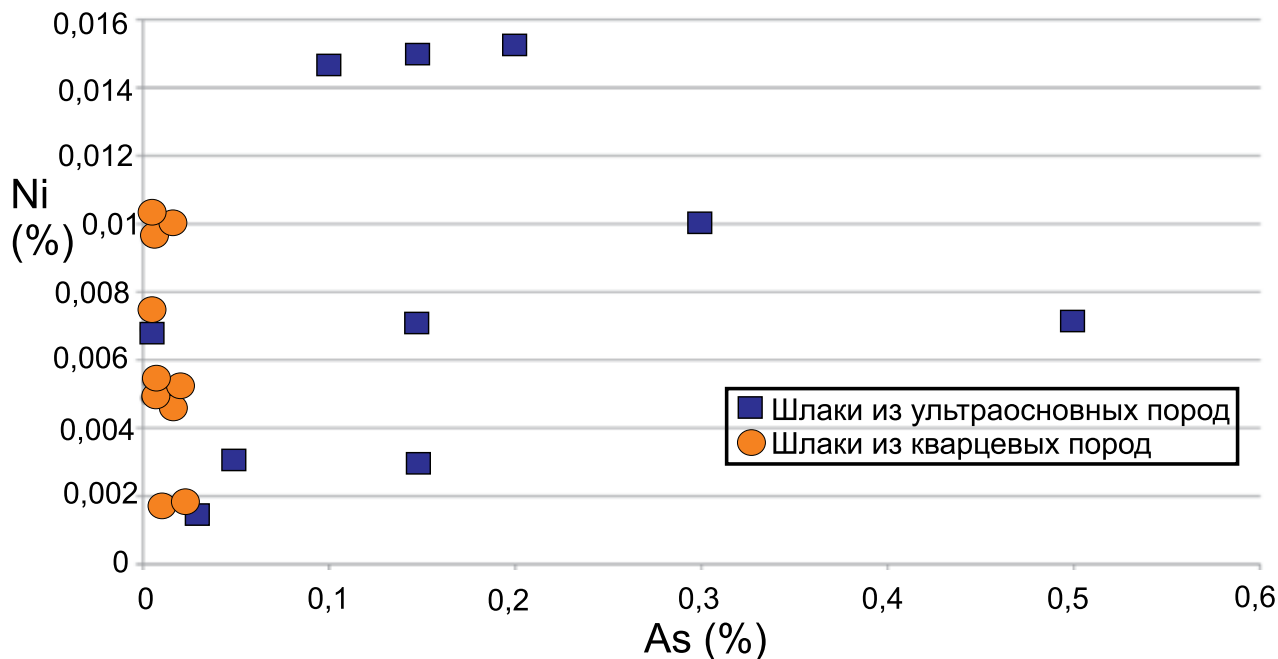


Рис. 8-13. Корреляционный график содержания As—Ni (%) в шлаках Башкирского Приуралья. Черные кружки — образцы, связанные с ультраосновными породами, белые кружки — образцы, связанные с кварцевой породой

Таб. 8-14

Соотношение химических типов меди в срубной культуре (без учета оловянных бронз)

Cu	Cu + As	Cu + As + Sb	Cu + Sb	Всего
583	89	8	6	686
85%	13%	1,2%	0,8%	100%

Легирование мышьяком

Используя прежний барьер 0,01% для разграничения шлака на группы, мы видим, что в приуральской срубной серии (63 анализа) 63,5% образцов низкомышьяковый, а 36,5% — высокомышьяковый шлак (рис. 8-15). В первую группу попало только 5 образцов, связанных с ультраосновными породами, а 19 — во вторую. То есть, сохраняется тенденция синташтинско-абашевского времени, только несколько менее выраженная. Все шлаки II минералогической группы, в данном случае, низкомышьяковые. Почти все шлаки, полученные при плавке халькопирита (минералогическая группа VI), относятся к низкомышьяковым. На первый взгляд, это противоречит нашему предположению, что мышьяково-сурьмяные бронзы ВК связаны с плавкой первичных сульфидов (Григорьев, 2004). Однако не исключено, что причиной отсутствия мышьяка в шлаке этой группы являются высокие температуры плавки.

Здесь не наблюдается четкой зависимости между содержанием мышьяка и хрома. То есть, определенная корреляция прослеживается, но не столь отчетливая. Это может быть вызвано разными причинами — и более высокими температурами плавки ряда образцов, и иной рудной базой, а также тем, что синташтинско-абашевский принцип легирования применялся реже.

Флюсование барием

Вместе с тем, анализ химических данных позволил выявить новый вид добавок в шихту. Шлаки поселений Сергеевское, Аитово, Верхнебиккузино, Сасыкуль содержат 3% и более бария (таб. 8-10, рис. 8-16). Поселения расположены на удалении друг от

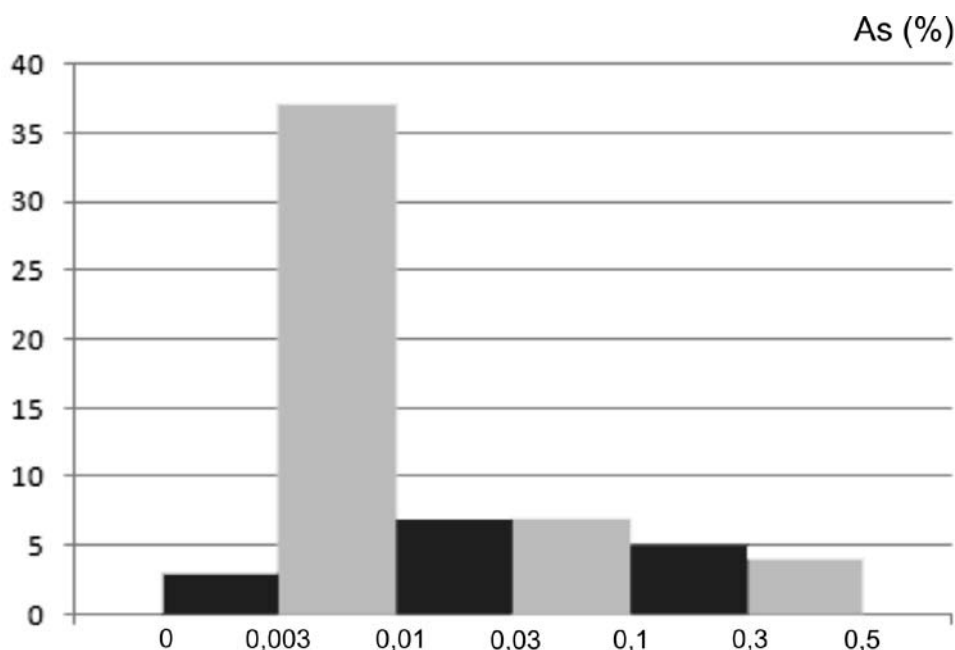


Рис. 8-15. Частотная диаграмма распределения мышьяка в срубном шлаке Башкирского Приуралья

друга, поэтому сомнительно, чтобы это было обусловлено рудой с одного месторождения. Это шлаки разных минералогических групп, хотя преимущественно, кварцевой, так как высокое содержание бария зафиксировано только в четырех образцах шлака, связанного с ультраосновными породами. Для поселения Сергеевское можно более определенно говорить о происхождении руды из медистых песчаников.

Барий часто явно связан с серебром. Но есть достаточно много образцов, где высокие концентрации бария не сопровождаются высокими концентрациями серебра. Существует и обратный вариант, а также образцы, где и барий и серебро демонстрируют низкое содержание.

Присутствует барий в руде из Новобарятино и Юмаково II. Причем, в трех из пяти случаев это сопровождается высоким содержанием серебра, что близко той ситуации, которая наблюдается на шлаковом материале. Но содержание бария в этой руде невелико (0,05 и 0,3%). С учетом того, что, по нашим оценкам, барий из руды переходит в шлак с понижающим коэффициентом 0,353 (см. Введение), этого явно недостаточно для того, чтобы дать такие высокие концентрации в шлаке. Впрочем, серебро должно понижаться в шлаке в еще большей степени; при таких концентрациях в шлаке, в меди его должно было бы оказаться столько, что в металле региона была бы чрезвычайно высока доля биллонов, которые есть, но не в таких количествах. Можно допустить, что неверны оценки перехода этих элементов, или они не учитывают какие-то местные особенности плавки, будучи выведены статистически.

Если обратиться к диаграмме соотношения бария и серебра, то мы увидим, что образцы отчетливо распадаются на четыре группы (рис. 8-16). Случайное присутствие бария в руде не давало бы таких четко выраженных групп. Это позволяет предполагать искусственный характер этой добавки. Большинство образцов содержит низкие концентрации бария и серебра. В ряде образцов наблюдаются высокие концентрации серебра при низких концентрациях бария. В обе эти группы входят образцы всех культурных типов эпохи бронзы из различных районов. Высокое содержание серебра связано, вероятно, с особенностями приуральских месторождений, что подтверждается и ощутимым присутствием серебра в отдельных рудных образцах. Но больших концентраций бария в руде не выявлено. И вряд ли это объясняется использованием руды Никольского

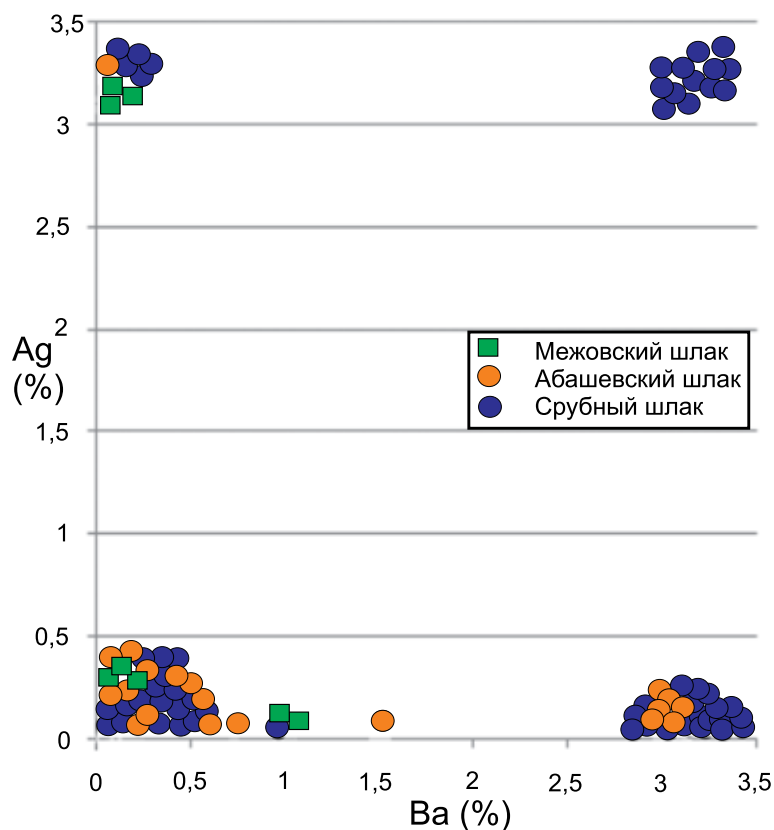


Рис. 8-16. Корреляционный график Ba—Ag для шлаков Башкирского Приуралья: квадраты — межовский шлак; белые кружки — абашевский шлак; черные кружки — срубный шлак

рудника, где рудовмещающей породой является кварц, поскольку очень часто высокие концентрации серебра наблюдаются в шлаке I минералогической группы, связанной с плавкой пород основного состава.

Есть и группа шлака с высокими концентрациями бария, но с незначительными примесями серебра. В эту группу входят шлаки абашевского и срубного времени. Это позволяет предполагать добавки в шихту какого-то минерала, содержащего барий, например, барита ($BaSO_4$). Е. Н. Черных для плавок на Каргалинских рудниках предполагал подобную возможность, объясняя это необходимостью добавок сульфидных минералов, чтобы уменьшить окислительную атмосферу в расплаве (Черных, 1997, с. 62, 63). В принципе, это вполне в традиции синташтинско-абашевской металлургии, где фиксируются добавки мышьяковых минералов. Кроме того, в Приуралье, начиная с абашевского времени, мы видим стремление использовать в плавке сульфидные минералы для лучшего восстановления руды. При отсутствии печей, пристроенных к колодцам, это было необходимо. Явное наследование абашевских традиций срубными металлургами объясняет присутствие в этой группе и значительного количества срубных образцов. Кроме того, в срубное время начинается более активная эксплуатация каких-то месторождений с более высокими примесями серебра. Добавки к этой руде барита и дали, вероятно, значительную группу срубного шлака с высоким содержанием этих элементов. Примечательно, что межовский шлак таких высоких концентраций бария не демонстрирует, то есть подобные традиции флюсования были чужды межовской металлургии.

В принципе, серебро характерно для медистых песчаников Приуралья (Черных, 1970, с. 17). Но изучение минералогии шлака выявило мало образцов, которые можно связать с песчаниками, и эти образцы не демонстрируют слишком высокого содержания

серебра. Поскольку песчаники формируются из месторождений разного типа, то и в этих месторождениях должны быть повышенные концентрации серебра.

Преднамеренное флюсование шихты барием есть наиболее вероятный вариант, но его следует подкреплять иными аналитическими данными, например, с помощью электронного микроскопа. До той поры он может рассматриваться лишь в качестве гипотезы. Примеры такого флюсования известны. В финикийских колониях в Испании в шлаках, полученных при плавке свинцовой руды на получение серебра, есть силикаты, и присутствует достаточно много бария. Барий не мог попадать в шихту вместе с рудой. Его намеренно добавляли, поскольку это лучший флюс при плавке свинца, так как он разрушает свинцовые силикаты (Kassianidou, 2003, p. 202). Однако мне не известно, оказывает ли он такое же воздействие в случае плавки медной руды. Поскольку он встречается только в шлаках, выплавленных из руды из кварцевых пород, это не исключено.

Источники этой обогащенной серебром руды, как и источники барита, тоже не ясны. В принципе, серебро и барий присутствуют в медистых песчаниках Оренбуржья (Черных, 2002, с. 28), но возможны и какие-то более близкие источники. Спектральные анализы не в состоянии ответить на этот вопрос. Но не исключено, что этот легирующий компонент поступал оттуда, или оттуда пришла в Башкирию эта традиция.

Обращает на себя внимание и то, что все образцы с повышенным содержанием бария происходят с поселений (за исключением Верхнебиккузино), расположенных в зоне медистых песчаников. Но поселение Сысыкуль находится слишком далеко от песчаников оренбургской зоны (рис. 8-1). Поэтому, скорее всего, каким-то образом это явление с песчаниками связано, но окончательную точку в этом вопросе ставить рано.

Химико-металлургическая группа ВК

Последней проблемой, заслуживающей внимания, является проблема сурьмяно-мышьяковых бронз группы ВК, которые рассматриваются как результат искусственного легирования (Черных, 1970, с. 16). В принципе, эта ситуация не противоречит существованию в предшествующее время мышьякового легирования. Как мы видели выше, возможно имели место и добавки бария на стадии плавки руды. Однако у нас легирование сурьмой и мышьяком вызывало сомнение по той причине, что ареал этих бронз, появляющихся в ПБВ, в целом совпадает с ареалом плавки халькопирита. А этим рудам часто присущи повышенные концентрации мышьяка и сурьмы (Григорьев, 2004). Однако совпадение ареалов не обязательно означает связь между бронзами и технологией плавки. Поэтому с данным вопросом необходимо попытаться разобраться более детально.

Выше мы отмечали, что, если не рассматривать оловянные бронзы, то доля мышьяково-сурьмяных бронз в срубном металле составляет 1,2%, а сурьмяных 0,8% (таб. 8-14). В данном случае тоже наиболее вероятным источником этих элементов являются руда или специальные лигатуры к ней; легирование в металл, практически, исключено. Поэтому они должны присутствовать и в шлаке. Однако, в шлаке не отмечено ситуации, когда при заметном присутствии сурьмы отсутствует мышьяк. Поэтому технология получения собственно сурьмяных бронз, ввиду отсутствия данных, остается проблемой. Это вообще достаточно странный сплав, требующий более сложных обработок. Сразу после литья он очень хрупок и тверд (Charles, 1980, p. 171).

В общей сложности в коллекции присутствует 14 образцов шлака с примесями сурьмы и мышьяка. Это 10,4% коллекции, правда, четыре образца происходят с рудника Бакр-Узьяк, датировка которого неопределенная. Среднее значение концентраций мышьяка для этой выборки 0,14%, а сурьмы — 0,1%. Суммарное значение этих элементов составляет 0,24%. С учетом того, что концентрации обоих элементов понижаются в шлаке и повышаются в меди, этого содержания достаточно, чтобы в рамках тех же

плавков получить мышьяково-сурьмяные бронзы. Для этих бронз, легированных оловом, установлено среднее содержание суммы этих элементов 0,72%, а для нелегированных — 1,43% (Черных, 1970, с. 16), то есть, значения легко достижимые при таких концентрациях в шлаке. Соответственно, мы вправе утверждать, что в ходе плавки, оставивших эти шлаки, были получены мышьяково-сурьмяные бронзы группы ВК.

Но существует разница между шлаками срубной и межовской культур, содержащими сурьму¹ (рис. 8-17). В срубных шлаках среднее значение концентраций мышьяка составляет 0,25%, а сурьмы — 0,002%, суммарное значение — 0,252%. В принципе,

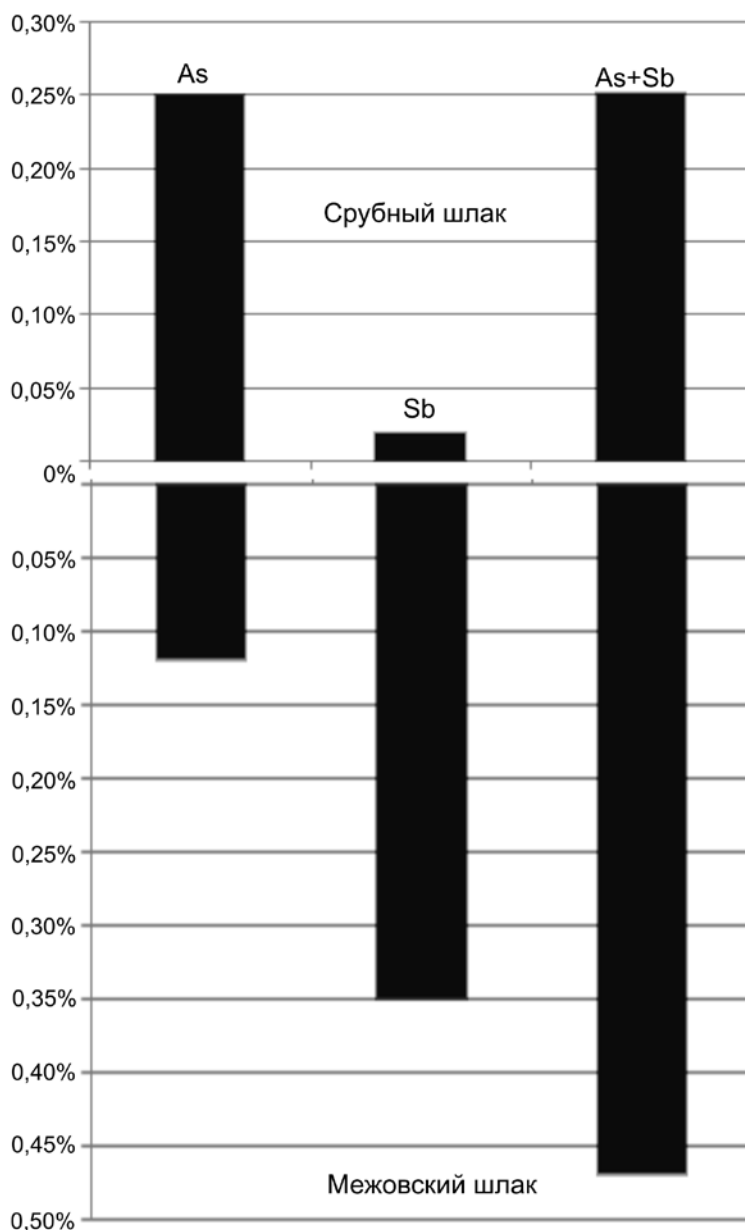


Рис. 8-17. Диаграммы концентраций мышьяка и сурьмы в шлаках срубной и межовской культур, содержащих сурьму

суммарное значение вполне соответствует группе ВК, но той ее части, которая содержит минимальные концентрации сурьмы. В противоположность этому, в межовских шлаках с сурьмой среднее значение концентраций мышьяка значительно ниже, и составляет 0,12%, зато сурьмы — 0,35%, а суммарное значение — 0,47%.

¹ В эту обработку не включено подавляющее число образцов, сурьмы не содержащих.

Обращение к корреляционному графику As—Sb, сделанному для срубного и межовского шлака, показывает, что четкой взаимозависимости мышьяка и сурьмы нет. Единственное, что можно сказать уверенно — сурьма присутствует лишь в образцах срубного шлака с содержанием мышьяка от 0,1% (рис. 8-18). Сурьма содержится в пяти образцах, но лишь в двух из них содержание составляет 0,003%. Соответственно, в срубной коллекции доля шлака, который мог бы дать мышьяково-сурьмяные бронзы составляет 7,9%, если включать незначительные содержания, и 3,1%, если включать только образцы с содержанием сурьмы 0,003%. Последняя цифра, вероятно, более правомерна. Эта связь сурьмы с мышьяком, вероятно, отражает ее рудный источник. Тот факт, что срубной металлургии более характерно использование сульфидных руд, чем синташтинской, как будто, позволяет связывать сурьму с исходной сульфидной рудой, содержащей повышенные концентрации сурьмы и мышьяка. В результате мы видим, что повышение концентраций сурьмы сопровождается повышением концентраций мышьяка.

В то же время, есть образцы с повышенным содержанием мышьяка, которые сурьмы не содержат. Последние, как это обсуждалось выше, отражают сохранение синташтинской традиции легирования мышьяковыми минералами на стадии плавки руды. Вероятно, образцы с повышенными концентрациями сурьмы (а эти концентрации, как мы видели, невелики и наблюдаются редко), отражают просто легирование минералами, в которых имелась и примесь сурьмы. Однако для абашевской металлургии Приуралья тоже характерно использование сульфидных руд, но сурьма в абашевских шлаках не отмечена. Возможно, в срубное время был найден новый источник легирующего ком-

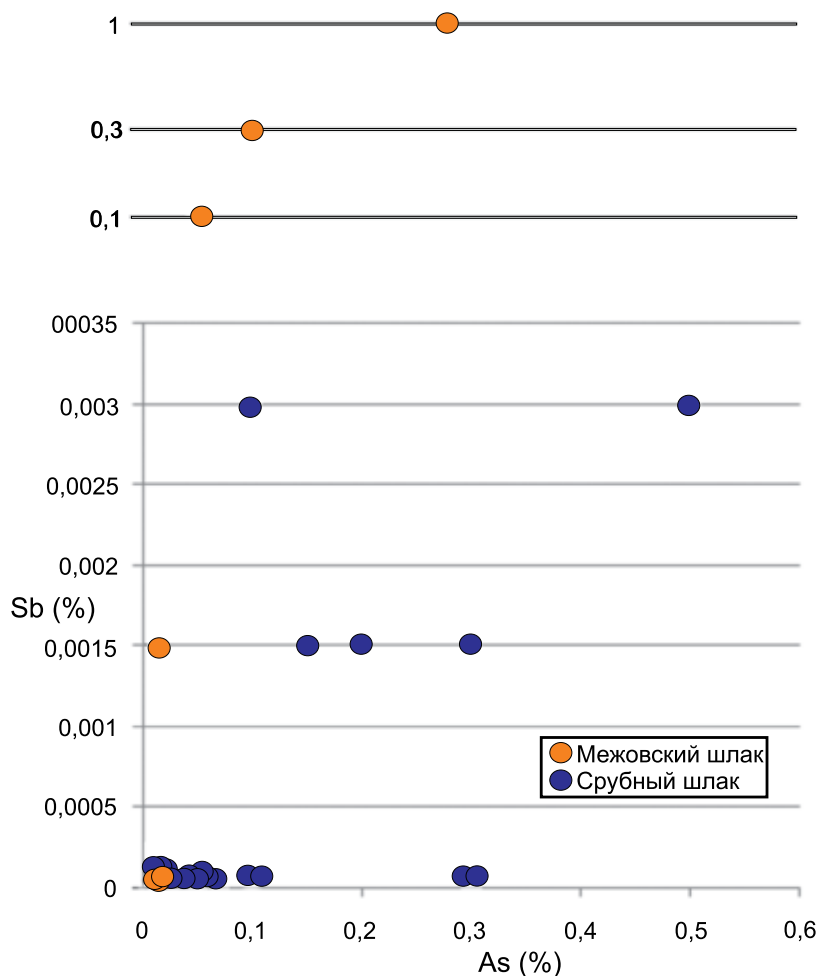


Рис. 8-18. Корреляционный график содержания As—Sb в срубных и межовских шлаках Башкирского Приуралья: белые кружки — межовский шлак; черные кружки — срубный шлак

понента. Тем не менее, поскольку на Новобарятино отмечена и руда с содержанием сурьмы и мышьяка по 0,15%, часть шлака с низкими концентрациями этих элементов могла быть выплавлена из подобной руды. Сохраняется и вероятность формирования многих образцов группы ВК благодаря плавке сульфидных руд, обогащенных мышьяком и сурьмой. На подобную возможность косвенным образом указывает то обстоятельство, что небольшие примеси сурьмы (0,0015—0,005%) были выявлены лишь в образцах шлака с месторождения Бакр-Узьяк (таб. 8-10), что характерно для колчеданных месторождений (Черных, 1970, с. 40, 41).

Межовские шлаки демонстрируют принципиально иную картину: содержание сурьмы (в случае ее присутствия) в них, преимущественно, значительно превышает содержание мышьяка. Связь между ними наблюдается (рост сурьмы сопровождается ростом мышьяка), но эта связь очень непропорциональна. Налицо явное легирование минералом с сурьмой, содержащим существенные примеси мышьяка. Причем, осуществлялось это на стадии плавки руды. Соответствующий минерал, сернистая сурьма (Sb_2S_3), был известен и использовался в древности. Вариант использования руды с естественной примесью сурьмы и мышьяка менее вероятен, поскольку поселения, где выявлены эти шлаки (Новокизганово и Юкалекулевское) расположены на значительном расстоянии друг от друга. Кроме того, подобную примесь можно предполагать для первичных сульфидов, но доля их в этих плавках явно была невелика. Поэтому правомерней ставить вопрос о легировании.

Таким образом, представляется правомерным обсуждать три источника меди ВК. Для срубного времени медь с низким содержанием этих элементов, скорее всего, получалась из руды с большим содержанием соответствующих примесей, а медь с высоким содержанием — в результате легирования мышьяковыми минералами, имеющими значительную примесь сурьмы. Для межовской металлургии представляется возможным говорить о легировании сурьмяными минералами со значительной примесью мышьяка на стадии плавки руды. В случае, если примесь мышьяка отсутствовала, мог получиться сравнительно редкий сплав $Cu + Sb$. В металле эти три возможности получения данной меди различить, практически, невозможно. Чисто теоретически это можно сделать за счет объемных статистических процедур, но, с учетом постоянных переплавок металла, реальный результат этих процедур более, чем сомнителен.

В принципе, из литературы мне известен лишь один случай описания легирования сурьмой, хотя доказательства этого носят не столько аналитический, сколько логический характер. Исследование У. Цвиккером руды и шлака раннебронзового поселения Норшун Тепе в Восточной Анатолии выявило присутствие руды двух типов — химически довольно чистой из песчаника, и обогащенной примесью мышьяка и сурьмы из кварцевых жил. Однако исследование шлаков подобной примеси не выявило, из чего был сделан вывод, что в плавку поступала только руда из песчаника. Руда из кварца в плавку не годилась из-за слишком высокого содержания сурьмы и использовалась только в качестве лигатуры (Zwicker, 1980, p. 13—17). Но представить себе легирование металла рудой проблематично, а исследование не выявило плавки подобных руд для получения легирующего концентрата. Наши исследования ничего подобного тоже не обнаружили, но, в отличие от описанной Цвиккером ситуации, сурьма у нас присутствует в шлаке.

Не исключен и еще один вариант. Выше было показано, что в шлаках ПБВ содержатся повышенные концентрации мышьяка. Поэтому в случае легирования меди с этой примесью сурьмой, мог быть получен металл, химически близкий ВК. Однако аналитических фактов в пользу подобного предположения нет, хотя наличие единичных сплавов меди с сурьмой позволяет это допускать. Но для доказательства подобной возможности было бы неплохо иметь на памятниках металлическую сурьму, какие-то минералы сурьмы, возможно, соответствующие шлаки. До этого данный вариант обсуждению не подлежит.

Как все это соотносится с металлом группы ВК? Прежде всего, необходимо уточнить цифры, касающиеся доли мышьяково-сурьмяных и сурьмяных бронз группы ВК в срубном металле. Выше, при пересчете данных Е. Н. Черных (2007, таб. 6.3) обсуждалась цифра около 2%, что несколько меньше выведенной здесь цифры для Приуралья, но, все же, в пределах статистической ошибки, и можно говорить о принципиальном соответствии. Следует также понимать, что это доля в пределах всей срубной выборки, включающей материалы Оренбуржья и далее на запад, вплоть до Предкавказья, Дона и Левобережной Украины. А группа ВК распространена, главным образом, в Поволжье и хуже представлена в Башкирии (Черных, 1970, рис. 28). При анализе всего волгоуральского материала доля группы ВК составила около 41% коллекции срубного металла и 70,8% коллекции приказанского (Черных, 1970, с. 34), но эта цифра столь велика, благодаря поволжским материалам. Поскольку приказанские материалы в культурном смысле близки межовским и сусканско-лебяжинским, в результате чего один и тот же памятник разными авторами может даже рассматриваться в рамках разных культур, это соответствует тенденции, выявленной на шлаковом материале, когда в срубных шлаках Приуралья уже фиксируются следы получения мышьяково-сурьмяных бронз, а в межовских они составляют почти половину образцов.

Проблема химико-металлургической группы МП

Принято считать, что в металле повышенное содержание серебра и относительная свобода от иных примесей являются признаком его связи с медистыми песчаниками Приуралья и поводом к отнесению к химико-металлургической группе МП (Черных, 1970, с. 17). Однако анализ шлака на территории Башкирии этого не подтверждает.

В исследованной выборке определено к шлакам, выплавленным из руды из песчаников, относятся только образцы с Сергеевского поселения и некоторые образцы V абашевской минералогической группы. Однако в них, по сравнению с прочими образцами, наблюдается несколько меньшее количество цинка. Поведение же почти всех прочих элементов не отличается от основного массива. Исключением являются барий и стронций, содержание которых в шлаках, связанных с песчаниками, выше (рис. 8-19). Поэтому можно предполагать, что и прочие образцы, полученные при плавке руды в кварцевой породе, имеют то же происхождение. Но некоторые из этих образцов, связаны с плавками руд из ультраосновных пород, другие происходят с поселений, где иные образцы такого содержания этих элементов не демонстрируют. А с учетом возможного флюсования баритом, которое обсуждалось выше, не исключено, что стронций связан именно с ним. В этом случае, и эти элементы не являются маркером песчаниковой руды.

Не исключено, что проблема здесь даже не в происхождении руды, а в технологии. Экспериментально установлено, что возрастание концентраций никеля и мышьяка в металле происходит только при плавке окисленной руды, как это имело место в синташтинское время. При плавке сульфидной руды, более загрязненной примесями, вследствие более высоких температур происходит очищение металла от всех примесей, включая даже никель и мышьяк (Tylecote, 1980, p. 7). Следует также отметить, что эта закономерность в шлаке не всегда проявляется, и шлаки, полученные при плавке сульфидных руд при высокой температуре, могут быть загрязнены примесями.

Высокие концентрации серебра (более 1%) отмечены в 22 образцах шлака Приуралья, но в 14 случаях это связано с высоким содержанием бария, и объясняется добавками какого-то флюсующего компонента. Три иных образца происходят с межовского Юкалекулевского поселения, расположенного далеко за пределами ареала распространения медистых песчаников. А несколько иных образцов выплавлены из серпентинизированных ультраосновных пород. Соответственно, более высокое содержание серебра может присутствовать в медистых песчаниках, но может присутствовать и в коренных

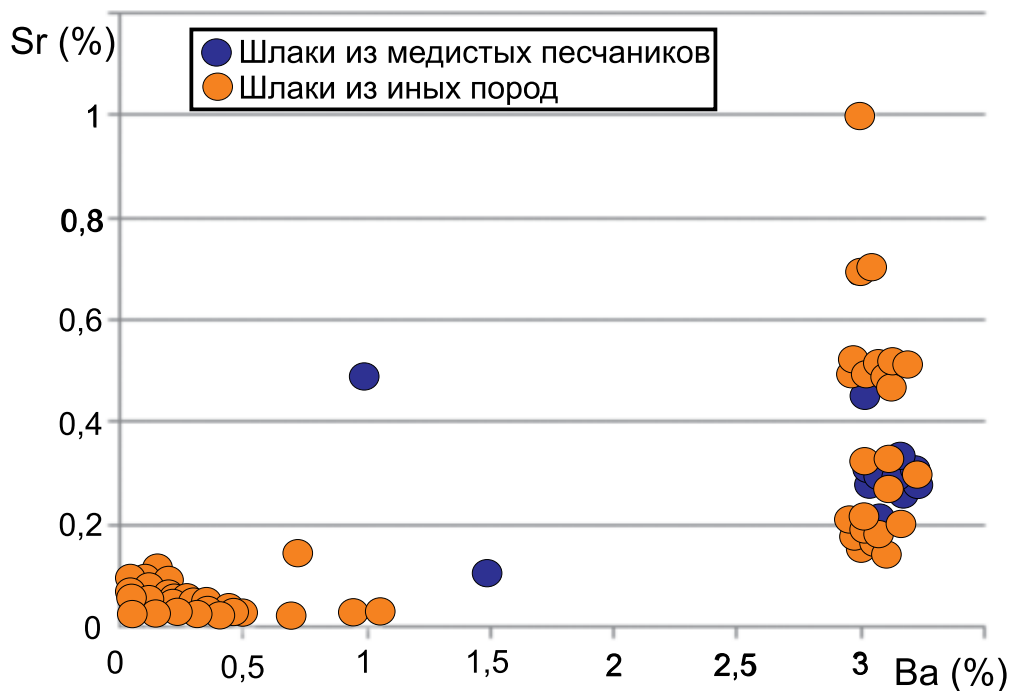


Рис. 8-19. Корреляционный график Ba—Sr для шлаков Башкирского Приуралья: черные кружки — шлак, надежно связанный с месторождениями в медистых песчаниках

месторождениях, из которых эти песчаники и формировались. Другой же химический признак меди МП (ее чистота) может также иметь разные причины: приуроченность исходной руды к верхней окисленной зоне месторождения, технологии плавки и рафинирования, приводившие к очистке металла. То есть, химически это, практически, неразрешимая проблема.

Таким образом, для материалов Башкирского Приуралья установить какой шлак (а тем более какой металл) может соотноситься с медистыми песчаниками, в настоящее время не представляется возможным, хотя часть металла, по-видимому, действительно была связано с этим источником. На минералогическом уровне можно лишь однозначно утверждать, что образцы, происходящие из серпентинизированных ультраосновных пород, с этой группой месторождений связаны не были. Образцы же, содержавшие включения кварца, могли относиться и к медистым песчаникам и к месторождениям в кварцевых жилах. Но в них минералогические признаки песчаников выявлены лишь в редких абашевских образцах поселений Береговского I и Юмаково III и срубных образцах Сергеевского поселения, в которых, впрочем, было мало серебра.

Из сказанного следует следующий вывод. Выделяемая для металла группа МП (если статистическое ее выделение правомерно) далеко не всегда связана с медистыми песчаниками. Если ее диагностирующим признаком является чистота металла, то причин (как и в случае с медью ВК) может быть несколько. То же относится к повышенным концентрациям серебра. Для Башкирского Приуралья этот признак значимым, насколько можно судить по данной выборке, не является.

Шлаки с повышенными концентрациями олова

Несколько анализов позволяют поставить проблему легирования оловом. В трех межовских образцах (Юкалекулево, Новокизганово) и одном срубном (Юмаково II) выявлены повышенные концентрации олова, от 0,1 до 0,3%. К сожалению, поведение

олова при металлургических переделах не вполне ясно. В целом, им легировали в металл. Тем не менее, шлак с высоким содержанием олова был обнаружен на поселении Узерлик-Тепе в Закавказье (Кушнарева, 1965, с. 79). Мы видели повышенные концентрации олова в некоторых энеолитических шлаках Урала, Европы и Анатолии. Возможно, дериваты старых принципов легирования в руду местами сохранялись. В данном случае мы тоже можем это допускать, но более вероятен вариант использования руды с этой примесью, поскольку это встречается слишком редко и концентрации олова слишком низкие. На эту проблему надо обратить внимание в будущем, но пока она неразрешима. Полностью без обсуждения ни один вариант отвергать нельзя, даже исходя из хронологических соображений. Например, для иберийских памятников финикийского периода (РЖВ) установлена совместная плавка медной и оловянной руды (Hunt Ortiz, 2003, p. 356), но анализом всего одного образца. Данная ситуация тоже может быть игрой случая. Поэтому мне представляется предпочтительней объяснение случайного попадания небольшого количества станнина в шихту с похожим на него халькопиритом.

Химические группы шлака

Учитывая все сказанное ранее о проблемах спектрального анализа, мы провели обработку анализов шлака с помощью Brookhaven Data Handling Programs, что позволило выделить пять химических кластеров¹ (таб. 8-20). Правда, это выделение было далеко не всегда безусловно по сравнению с подобной процедурой для синташтинского шлака. Кроме того, такое незначительное количество кластеров для такой территории и разных эпох явно указывает на то, что каждый кластер включает в себя не шлаки, полученные при плавке руд одного происхождения, а отражает какие-то типы руды.

Таб. 8-20

Химические кластеры шлака поселений Приуралья

Кластеры	1	2	3	4	5
Аитово	2			6	5
Байгильдино			1		
Верхнебиккузино	12			7	
Какрыкуль	1		1		
Новобарятино			3		
Новокызганово		1	3		
Тюбьяк	8		1	1	5
Урняк		1			
Чишмы	1				
Юкалекулевское	1		4	3	
Юмаково I				1	1
Юмаково II	2		2		

Кластер 1 представлен образцами, полученными при плавке руд из серпентинитов и ультраосновных пород с поселений Аитово, Верхнебиккузино, Тюбьяк, Чишмы, Юмаково II, а также единичные образцы с поселений Юкалекулево и Какрыкуль. На поселении Юкалекулево на основе минералогического анализа предполагалось, что шлак получен при плавке руды из кварцевых жил, но приурочены они, все же, к серпентинизированным ультраосновным породам. Руда представлена вторичными сульфидами, реже халькопиритом и малахитом. Атмосфера плавки восстановительная, потери меди незначительные. На диаграмме Sr—As этот кластер располагается в правой верхней части (рис. 8-12).

Кластер 2, вероятно, выделен неправоммерно, поскольку присоединение этих двух образцов происходит на высоком уровне дерева кластеров, что для данной программы

¹ Для кластерирования были использованы следующие элементы: Ti, Mn, As, Ba, Sr, Ni, Co, V, Sc, Pb, Sn, Zr, Ga, Ge, Ag, Mo, Be, Cr.

указывает на ошибочный результат. К тому же, он включает в себя всего два образца.

Кластер 3 включает в себя образцы из кварцевых пород с поселений Байгильдино, Какрыкуль, Новобарятино, Новокизганово, и половину образцов с Юкалекулевского. Два образца с Юмаково II, возможно, не должны входить в этот кластер, поскольку происходят из кварцевых жил в серпентинитовых породах. Руда — преимущественно вторичные сульфиды, халькопирит, в меньшей степени, окисленные рудные минералы. Атмосфера плавки восстановительная, потери металла невелики, температуры довольно высокие (кроме образцов из Юмаково II, в которых халькопирит не зафиксирован).

Кластер 4 включает образцы из серпентинитов и кварцевых пород, происходящие с поселений Аитово, Верхнебиккузино, Тюбьяк, Юкалекулевское, Юмаково I. Руда, преимущественно, окисленная и вторичные сульфиды. Кластер разнообразен и в технологическом плане. Но температуры не столь высоки как в предыдущем кластере. Образцы содержат повышенные концентрации мышьяка, но содержание хрома в них может различаться, что дублируется и минералогическим анализом.

Кластер 5 объединяет образцы из кварцевых пород с поселений Аитово, Тюбьяк, Юмаково I. Руда, преимущественно, окисленная и вторичные сульфиды. Атмосфера восстановительная, кроме плавков, демонстрируемых шлаком с Юмаково I.

Как мы видим, определенная связь между содержанием того или иного элемента и выделяемых на их основе кластеров с определенным памятником есть, но эта связь намного хуже, чем это имело место при анализе материалов синташтинской культуры. При исследовании синташтинских шлаков мы столкнулись с чрезвычайно унифицированной технологией, типами руды и единственным способом легирования. Поэтому главным фактором, который оказывал воздействие на химический состав шлака, был исходный рудный материал. Поэтому там удалось получить относительно четкую зависимость между минералогическими типами шлака и химическими группами, хотя ряд образцов и выбивался из этой, в целом стройной, картины. В данном случае мы имеем дело со шлаком различных эпох, очень различными рудными источниками, как по рудовмещающей породе, так и по типу руды, разными технологиями и температурными режимами. Ситуация осложняется еще и тем, что мы сталкиваемся с разными способами легирования (мышьяком и сурьмой с мышьяком) на стадии плавки руды, а также, в отдельных случаях, с добавками барита в шихту. В результате, выделяемые химические кластеры коррелируют с памятниками не столь хорошо. Определенная связь намечается лишь с типом месторождения и, отчасти, со способом легирования мышьяком на стадии плавки руды. Однако для этой многокомпонентной ситуации данная статистическая процедура представляется малоинформативной. Но здесь мы в состоянии, хотя бы, контролировать ситуацию, имея данные минералогических анализов. В случае с металлом такой возможности мы лишены, и к перечисленным проблемам добавляются еще и проблемы сплава металлического лома, разного по происхождению. Это лишает возможности обсуждать что-либо вообще, помимо характера лигатур.

Отдельные элементы могут сильно варьировать в руде и в шлаке. И довольно сложно сказать, как они себя поведут в металле при той или иной технологии. Но совершенно очевидно, что данные группы, выделяемые для шлака, с группами, которые могут быть выделены для соответствующего металла, будут совпадать лишь частично.

Рудная база и технология плавки в эпоху бронзы Приуралья

Рудная база

Как мы видим, большинство исследованных памятников с остатками металлургического производства выявлено в среднем течении Белой. Е. Н. Черных предполагает, что в эти районы, как и в XVIII—XIX вв., вывозилась руда с Каргалинских рудников (Черных, 1997, с. 68; 2002, с. 104; Каргалы, 2002, с. 49). Выявление в этой зоне шлака,

полученного при плавке ультраосновных пород, позволяет также предполагать импорт руды из Зауралья с месторождений кипрского типа, на которых известны древние выработки (Ишкининское, Ивановское, Дергамышское и др.). Однако все эти рудники находятся на очень значительном расстоянии (150—300 км) от мест предполагаемой плавки этих руд (см. карту, рис. 8-1), поэтому подобные предположения довольно сомнительны. В Башкирском Приуралье имелись собственные значительные запасы меди в месторождениях типа медистых песчаников. Какие-либо аналитические возможности отчленить эти материалы от каргалинских даже на уровне руды отсутствуют. Существуют серьезные проблемы и с выделением шлака, полученного от плавки медистых песчаников вообще. Но медистые песчаники отнюдь не являлись единственным источником руды. Эксплуатировались также месторождения в ультраосновных породах (абашевскими и отчасти срубными металлургами) и какие-то сульфидные месторождения (срубными и межовскими металлургами). Эти месторождения сконцентрированы, преимущественно, по Уральскому хребту.

Можно допускать, в отдельных случаях, вывоз руды с востока, но основой производства это быть не могло. Как мы уже писали выше, ультраосновные руды поселений в Приуралье содержали относительно большее количество вторичных сульфидов, чем в Зауралье, поэтому более логично предполагать их какие-то местные источники. Равным образом обстоит дело и с месторождениями первичных сульфидных руд. Концентрация металлургических комплексов именно в районе среднего течения Белой позволяет предполагать, что эти рудные источники могут располагаться именно здесь. При этом месторождения типа медистых песчаников, концентрируются, преимущественно, к западу от Белой, а прочие месторождения могли располагаться восточнее. Поэтому поиски местной рудной базы для древней металлургии на территории Башкирии представляются мне наиболее оправданными.

Определенные импорты можно, все же, предположить, но это требует серьезной аналитической проработки. Импорт руды на такие расстояния вряд ли был рентабельным. Гораздо проще осуществлять плавку неподалеку от месторождений и везти уже металл. Но можно допускать импорт легирующего компонента. Для синташтинского времени таким компонентом могли быть минералы с примесью мышьяка, добываемые, по-видимому, на том же Ишкининском месторождении. В срубное время мы фиксируем добавки в качестве флюсующего компонента барита. Поскольку более высокие концентрации бария (как и серебра) присущи оренбургским рудникам, можно предполагать импорт этого компонента оттуда. В каких-то случаях, возможно из Оренбуржья или Зауралья поступала и руда, но отчетливых данных в пользу этого нет. Даже поступление извне флюсующих и легирующих компонентов не более, чем предположение, обосновать которое на основе анализов будет чрезвычайно трудно.

Развитие технологии

Как уже отмечалось, ситуация в металлургии эпохи СБВ и ПБВ Приуралья является более разнообразной, чем в Зауралье, хотя часть технологий вполне сопоставима с синташтинской, и может рассматриваться как продолжение синташтинской традиции (таб. 8-21).

В синташтинской культуре доля минералогических групп I и III, связанных с ультраосновными породами, составляла 81,6%. В абашевской металлургии Приуралья эксплуатация этих руд присутствует, но в гораздо более ограниченном объеме — 39,3% плавок. Но значительно растет доля эксплуатации месторождений в кварцевых породах. В синташтинской культуре она невелика, а в абашевской (с учетом, вероятно, связанной с песчаниками V минералогической группы) она составляет 60,7%. Следует иметь, конечно, в виду, что на этом ограниченном материале, не имея представления

**Распределение минералогических групп шлака по культурным группам Приуралья
и синташтинской Зауралья**

Минералогическая группа \ Культура	I	II	III	IV	V	VI	VII	керамзит
Синташтинская культура	45 (59,2%)	12 (15,8%)	17 (22,4%)					2 (2,6%)
Абашевская культура	8 (28,6%)	6 (21,4%)	3 (10,7%)	7 (25%)	4 (14,3%)			
Срубная культура	22 (33,7%)	17 (26,2%)	2 (3,3%)	18 (27,5%)		7 (9,3%)		
Межовская культура							7 (100%)	

о хронологическом соотношении этих шлаков (относительной хронологии абашевской культуры Приуралья на сегодняшний день тоже нет) трудно делать надежные выводы, так как наверняка во времени происходили какие-то технологические изменения. Но такое преобладание руд из более кислых (по сравнению с синташтой) пород, позволяет предполагать ориентацию на какие-то местные источники.

Часть этих источников, вероятно, была связана с медистыми песчаниками, хотя определенно об этом можно говорить лишь для группы V, составляющей 14,3% абашевского шлака. Но из-за сложности фиксации этого шлака в раскопе логично предположить, что эта доля была выше. Это довольно простые плавки в тигле чистой окисленной руды с минимальными включениями рудовмещающей породы. Эти шлаки не имеют параллелей в синташтинской металлургии и явно являются местной технологической традицией. По времени эта традиция синхронна синташтинской (см. в описании синташтинской металлургии об ее хронологическом соотношении с абашевской).

Более сложное производство, связанное со шлаковой металлургией, было, вероятно, стимулировано синташтинской традицией, поскольку вместе с использованием руды из ультраосновных пород появляется и связанное с этим легирование мышьяковыми минералами на стадии плавки руды. Увеличиваются, вероятно, и объемы плавки. Имеются и небольшие отличия. Здесь отсутствовали печи, пристроенные к колодцу, что не позволяло эффективно создавать восстановительную атмосферу, плавя окисленные руды, но это компенсировалось более активным использованием сульфидной руды. Трудно сказать — делалось ли это преднамеренно, или было связано с характером местной рудной базы. Очевидно, что это не была преднамеренная компоновка шихты из смеси разных руд, но горняки могли выбирать те места месторождений, которые эту смесь содержали. В тех случаях, когда доля окисленной руды была больше, это приводило к более окислительной атмосфере в печи, что выразилось в сравнительно высокой доле шлака IV минералогической группы. На чисто синташтинских памятниках подобный шлак отсутствовал, но обнаружен на памятниках петровских, или содержавших синташтинские и петровские слои. Поэтому датируется он, вероятно, уже петровским временем.

Еще одним отличием является то, что в абашевском шлаке не существует такой четкой связи между примесями мышьяка и никеля. В ряде случаев легирование осуществлялось мышьяково-никелевыми минералами, как и в синташтинской культуре, но не всегда. А, как мы помним, примесь никеля способствовала удержанию мышьяка в металле, и была технологически обусловлена. То есть, как и в случае с отсутствием печей, пристроенных к колодцам, мы видим определенную деградацию технологии.

На поздний характер этого тренда указывает то, что в срубное время он находит свое продолжение. Доля руды из ультраосновных пород в этот период составляет 37%, что гораздо меньше ее доли в синташтинской металлургии, но сопоставимо с абашевской. Исчезает архаический абашевский способ плавки чистой руды в тиглях (группа V), но

плавка руды из песчаников ведется в печах, в соответствии с синташтинской традицией, что отразилось в группе шлака IV, присутствующей на абашевских памятниках, но и на памятниках имеющих синташтинско-петровские или петровские слои в Зауралье. Разница лишь в том, что теперь эта группа связана с плавкой руды из медистых песчаников в условиях окислительной атмосферы, а в абашевской культуре и в Зауралье — из месторождений в кварцевых породах. При этом сохраняется легирование мышьяком на стадии плавки руды (хотя доля его, по сравнению с синташтой, уменьшатся) и связь этого способа легирования с рудами в ультраосновных породах, что технологически вполне обусловлено. В результате, срубная металлургия Приуралья оказывается по многим параметрам достаточно близка абашевской, но избавляется от архаичных технологий последней. Вероятно, это связано с тем, что раннесрубная культура формируется на абашевско-синташтинской основе.

Но в срубное время возникает и совершенно новое явление — появление плавок первичных сульфидов, в первую очередь, халькопирита, чего не было ранее, ни в синташтинской, ни в абашевской металлургии. И на данном этапе трудно сказать — было ли это результатом заимствования с востока или внутреннего развития, поскольку внедрение плавок халькопирита совпадает с иным внедрением — оловянных лигатур и трансформацией типологического набора изделий.

Как и в случае с формированием синташтинской металлургии мы наблюдаем здесь комплексную трансформацию: переход на руды, плавка которых велась при более высоких температурах. В результате мышьяк не мог сохраняться в металле и осуществляется переход на легирование оловом в металл. Можно допускать редкие попытки легировать оловянными минералами в руду, но эти данные малочисленны и не убедительны. Оловянные же лигатуры позволили совершить революцию в металлообработке и лить новые типы тонкостенных изделий в закрытые литейные формы, изделий, требовавших незначительной кузнечной доработки. Прежние традиции легирования сохранялись только за счет сохранения старых синташтинских традиций плавки руды в ультраосновных работах, плавки более низкотемпературной. Это сочетание двух традиций проявляется и в органичном сочетании разного по происхождению набора металлического инвентаря: восходящего к синташтинским и сейминско-турбинским стереотипам. То же проявляется в мышьяково-сурьмяных бронзах срубной культуры, которые связаны как с легированием мышьяковыми минералами, содержащими сурьму (что является прямым продолжением синташтинско-абашевской традиции), так и с использованием обогащенных этими примесями сульфидных медных руд, что является уже новым явлением. При этом мы можем допускать, что принципиальных изменений в объеме плавок с синташтинско-абашевского времени не происходит, насколько мы можем судить по единственному слитку из Токтубаево. Однако изменения в структуре несомненны: производство обнаруживается уже не на всех поселениях, как это имело место в синташте, скорее, мы наблюдаем ситуацию, характерную для приуральского абашева. Правда, все это наиболее общий тренд, поскольку объем изученного шлакового материала не столь велик, и он почти не имеет четкой связи с разными этапами развития срубной культуры Приуралья.

Существует еще одна серьезная проблема. Как уже сказано выше, архаические абашевские плавки ограниченного количества чистой руды в тигле, скорее всего, наследие местной традиции. У нас пока нет возможности судить о том, является ли это наследием местного энеолита или влиянием фатьяновско-балановской металлургии. Но с синташтинской традицией это не связано. Поэтому в принципе, взглянув на таблицу 8-21, мы можем представить ситуацию следующим образом. В абашевской металлургии Приуралья происходит переход на плавки руды в больших объемах, по-прежнему из кислых пород, но уже непосредственно в печах. Затем происходит подключение руды в

ультраосновных породах и переход к легированию этих плавок на стадии плавки руды мышьяковыми минералами¹. Эта новая традиция передается уже из абашевской среды в синташтинскую культуру и срубную культуру Приуралья, а прежняя архаическая традиция затухает. Но, как уже обсуждалось, оснований датировать абашевскую металлургию более ранним временем, чем синташтинская нет. Кроме того, в синташтинской металлургии мы наблюдаем очень сложную комплексную цепочку добычи определенной руды из определенных пород², связанную с этим технологию плавки, последующие технологии металлообработки и набор типов изделий. И все это имело место на Ближнем Востоке, и, отчасти, в связанной с Ближним Востоком майкопской металлургии. Это дублируется плавкой серебра из свинцовой руды, что имеет те же корни, а также остальным набором черт материальной культуры. Поэтому предложенная выше модель представляется более правомерной.

В лесной зоне Башкирского Приуралья в ПБВ возникает межовская технологическая традиция. Она базируется на плавке окисленных руд и сульфидов с включениями рудовмещающей породы, но нельзя сказать — насколько это было целенаправленно. Появляется легирование сурьмяно-мышьяковыми минералами, но тоже трудно сказать — является ли это развитием традиции срубной металлургии, с ее легированием мышьяково-сурьмяными минералами. Наличие подобной меди на востоке, как будто, указывает на восточные корни этой традиции.

Примечательно, что образцы шлака ПБВ демонстрируют прямое восстановление меди из руды, несмотря на широко распространенное мнение о том, что в случае плавки сульфидных руд сначала было необходимо осуществлять обжиг руды и плавить на получение штейна, как это имеет место в современном производстве. Чаще это делается со ссылками на старые публикации, например на Форбса, без опоры на анализы шлака (напр. Mei, Li, 2003, p. 114, но это мнение достаточно широко распространено). Предполагается, что потом штейн обжигали до оксида и плавил уже оксид. Анализ Бахманном шлаковых лепешек (40 см диаметром и 8 см толщиной) ПБВ из Австрии показал, что это вполне нормальный шлак из фаялита, вюститита и магнетита, без штейна. Поэтому было решено, что этот шлак остался от последней стадии этого многоступенчатого процесса. Обсуждая этот результат, Тайликот предположил, что не исключено, что всю плавку проводили в одну стадию, и нужны дополнительные исследования, чтобы разобраться в этом, так как иногда штейн в шлаке встречается (Tylecote, 1987, p. 130, 131).

В наших шлаках ПБВ сульфиды меди часто сохраняются. Не исключено, что их могли отбирать и вновь помещать в шихту со следующей порцией руды, хотя это лишь в случаях больших включений и бракованных плавок. Но штейн не зафиксирован. Единственный случай с двумя образцами культуры курмантау, которой завершается эпоха бронзы в Приуралье, позволяет допускать получение сульфидов, так как медь в шлаках не обнаружена. Но скорее, это результат бракованной плавки.

Таковы, в общих чертах, характеристики основных культурных типов Башкирского Приуралья в эпоху бронзы.

¹ Единственный упоминавшийся образец архаичного шлака (группы V) с Юмаково III, содержащий мышьяк можно трактовать и как зарождение традиции подобного легирования, но, скорее, это влияние синташтинской традиции.

² В данном случае, если представить самостоятельный переход абашевских горняков с добычи руды в кварцевых породах и песчаниках на руды в ультраосновных породах, то мы сталкиваемся с непонятной технологической логикой — зачем переходить на гораздо более бедные руды, если уже была освоена плавка более богатых? Ради простоты плавки? И уже затем сюда подключалось легирование мышьяковыми минералами, удобство которого до самого перехода на эту руду предсказать было невозможно?

Глава 9. Metallургия ПБВ Поволжья и Оренбургского Приуралья

Проблема эксплуатации медистых песчаников в РБВ — ПБВ

Как мы видели в предыдущем разделе, в период ПБВ в Башкирском Приуралье отмечено не слишком много надежных свидетельств плавки руды из медистых песчаников, хотя поселения со следами плавки руды располагаются или непосредственно вблизи этих месторождений или неподалеку от них. Объясняется это и ориентацией на технологии, не приспособленные к плавке этих руд, и доступностью иных, более удобных месторождений. Поэтому может сложиться впечатление, что эти многочисленные песчаниковые месторождения не эксплуатировались. Но ситуация меняется в Поволжье и Оренбургском Приуралье, где месторождения меди представлены почти исключительно медистыми песчаниками. При этом для ямной культуры эпохи РБВ этот источник, почти наверняка, был единственным. К сожалению, данные о плавках руды этого времени отсутствуют, мы лишь знаем о единичных случаях обнаружения песчаниковой руды в курганах Западного Оренбуржья (Черных, 2007, с. 69, 70). Нет данных и по периоду СБВ, за исключением обнаружения шлака в курганах потаповского культурного типа, описанного в разделе о синташтинской металлургии. Но эти шлаки с медистыми песчаниками не связаны.

Поэтому отсутствие информации о плавке руды в эпоху СБВ в районе богатых месторождений Оренбуржья вызывает удивление. Анализирую данную проблему, Е. Н. Черных писал о затухании эксплуатации медистых песчаников в эту эпоху и последующем возобновлении этой эксплуатации в срубное время (Черных, 2007, с. 70). Этот вывод базировался на методологически сомнительной операции: на основе значительной морфологической близости ямного и полтавкинского металла произведено объединение их в единый ямно-полтавкинский очаг металлургии. В дальнейшем же при сопоставлении карт распространения меди МП (связанной с медистыми песчаниками) и мышьяковых бронз в периоды РБВ и СБВ весь ямно-полтавкинский металл рассматривается совместно в рамках РБВ и на карту СБВ не переносится (Черных, 2007, с. 48, рис. 4.9, 4.10). Из этого и вытекает впечатление затухания эксплуатации этих руд.

Однако в действительности полтавкинская металлургия хронологически существует на каких-то территориях до начала СБВ II, на каких-то до начала ПБВ. Ее морфологическая близость с ямной действительно затрудняет членение этих комплексов, но это не позволяет говорить о том, что в данный период производство исчезло. В Южном Приуралье существуют безупречные комплексы этого времени (Ткачев, 2007, с. 228—257), и население наверняка продолжало эксплуатировать этот тип месторождений.

Проблема лишь в отсутствии данных о непосредственной плавке руды. Но, равным образом, у нас нет ни одного образца ямного шлака, что не позволяет ставить вопрос об отсутствии плавки в этот период. Все дело в том, что плавка руды могла осуществляться лишь на поселениях¹, которые для периода РБВ и СБВ этой зоны изучены крайне слабо. Отчасти это связано с особенностями данной культурной модели, когда мощные поселения отсутствуют, а незначительные крайне редки, но отчасти и с традициями археологической науки региона, где основное внимание многие годы концентрировалось на исследованиях курганных памятников.

На этом фоне вопрос о технологиях плавки всего этого периода РБВ — СБВ остается открытым, но наиболее правомерно, на мой взгляд, мнение Е. Н. Черных об эксплуатации месторождений в медистых песчаниках. Если добывали и плавил чистые руды с минимальным количеством пустой породы (как это зафиксировано описанным архаичным типом плавки абашевской культуры), то найти следы этого производства будет не

¹ В данном случае не важно — были ли это обычные поселения или поселения близ рудников.

так просто. Этот вариант представляется мне наиболее вероятным, но аргументировать это мнение фактами сегодня невозможно.

Ситуация меняется с началом ПБВ, когда появляются поселения срубной культуры, и на ряде этих поселений обнаружены следы металлургического производства. Только в Западном (приуральском) Оренбуржье следы металлургического производства известны на 15 поселениях (Халяпина, 2000, с. 85). А в этом районе (в силу уже отмеченной традиции) число исследованных поселений не слишком велико. Из 45 известных поселений раскопки проводились только на 12 (Халяпина, 2000, с. 84). А это несопоставимо с исследовательской ситуацией, например, в Зауралье. Следовательно, на подавляющем числе поселений этой зоны в этот период существовало металлургическое производство.

В прилегающих районах Поволжья, вероятно, в силу более бедной рудной базы, металлургическое производство представлено не столь хорошо, но на ряде памятников оно, все же, выявлено. Безусловно, общие объемы производства по сравнению с предыдущими эпохами возрастают, но меняется и культурная модель, и степень исследованности памятников, что позволяет, в конечном счете, говорить что-то более определенное о характере производства в этот период.

Памятники, включенные в исследование

В исследованную выборку были включены (или учитывались) шлаковые и рудные материалы с 12 объектов (рис. 9-1). Почти все они располагаются в степной зоне. Исключением являются поволжские поселения Шигонское II, Попово Озеро и Липовый Овраг, находящиеся в южной части лесостепи.

Поселение Шигонское II исследовалось в 1982 г. О. В. Кузьминой, и в ходе раскопок были обнаружены материалы раннесрубного времени. Вероятно, это наиболее ранний памятник в данной выборке. Раскопки на поселении Попово Озеро производились Ю. И. Колевым в 1984 г.; на поселении выявлена срубная и сусканско-лебяжинская керамика. Мне приходилось касаться некоторых проблем сусканско-лебяжинского культурного типа, не исключена его достаточно ранняя позиция от конца раннесрубного времени, хотя сейчас это довольно дискуссионная проблема (Григорьев, 1999, с. 257). Но для данной работы нам важно то, что этот тип относится к периоду после ранних срубников покровского типа. Основой формирования сусканско-лебяжинского типа были, по-видимому, местные срубные комплексы, но на его формирование оказали воздействие федоровско-межовские импульсы из Зауралья (Колев и др., 1995; Григорьев, 1999, с. 254). Поселение Липовый Овраг относится к срубной культуре (Агапов, Иванов, 1989).

Очень ярким памятником является поселение Михайло-Овсянка. Поселение располагается у древних рудников. Медная минерализация гидротермального происхождения приурочена к мелкокристаллическим известнякам и представлена карбонатами и оксидами меди — малахитом, азурином, купритом. На поселении исследованы остатки четырех жилищ и шахты глубиной до 4—5 м. Зафиксированы боковые штреки, остатки крепей. Памятник относится к срубной культуре (Матвеева, 1979; Горбунов, 1992, с. 78, 79, Матвеева и др., 2004, с. 70, 71).

Наиболее восточным из поволжских памятников является поселение Съезжее, на котором обнаружены материалы срубной культуры. Это самый близкий памятник к Приуралью, и, как мы увидим далее, его шлаковые материалы более сопоставимы с этим районом, чем с поволжскими материалами.

Самым западным из группы оренбургских поселений является Кузьминковское, раскопанное О. И. Пороховой в 1986 г. Поселение хорошо стратифицировано, на нем четко выделяется два слоя — ранний и поздний. Ранний содержит материалы синташтинско-раннеалакульского облика. Материалы срубно-алакульской эпохи на поселении отсутствуют. Поздний слой представлен керамикой, сопоставимой с поселенческой федоров-

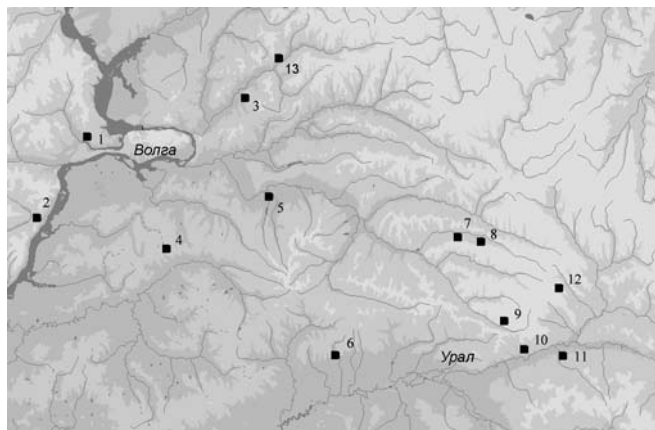


Рис. 9-1. Карта памятников Поволжья и Оренбургского Приуралья: 1 — Шигонское II; 2 — Липовый Овраг; 3 — Попово Озеро; 4 — Михайло-Овсянка; 5 — Съезжее; 6 — Кузьминковское; 7 — Ивановское; 8 — Токское; 9 — Покровское; 10 — Родниковое; 11 — Нижнепавловское; 12 — Горный, 13 — Кибит I

ской, черкаскульской, межовской, саргаринской и ивановско-хвалынской (Моргунова и др., 2001)¹. Остатки металлургического производства связаны, вероятно, с поздним комплексом.

В северной части ареала, близко к Башкирскому Приуралью, располагаются Ивановское и Токское поселения. На исследованном большой площадью в течение длительного времени Ивановском поселении верхний слой (откуда происходит шлак) содержал абашевские и срубные материалы. Как и на большинстве памятников Оренбуржья, в керамике отмечены также отдельные алакульские черты. Обнаружено четыре ямы со шлаком, куски руды, фрагменты ошлакованной керамики, которые связаны со срубным временем (Моргунова, Порохова, 1989, с. 169; Горбунов, 1992, с. 75). Раскопки на Токском поселении производились Н.Л. Моргуновой и О.И. Пороховой в 1978 и 1990 гг. На поселении заложен сравнительно небольшой раскоп, который выявил керамику срубной культуры и четыре сосуда с алакульскими признаками (Моргунова, Порохова, 1989, с. 163).

Южнее располагается очень важный металлургический центр срубного времени — Каргалинские рудники. Они являются наиболее крупным месторождением этой зоны. Руда в них представлена малахитом и азурином и приурочена к осадочным сероцветным песчаникам и мергелям. Оруденение распространено на площади около 500 км². Масштабы добычи здесь были огромными. На поверхности фиксируется 32—34 тысячи выработок, хотя я полагаю, что большая часть добычи здесь должна датироваться XVIII—XIX веками. В противоположность этому Е.Н. Черных считает, что здесь в бронзовом веке добыто 2,5—5 млн тонн руды, что позволило выплавить 55—60 или 100—120 тыс. тонн меди. Каргалинская медь, по его мнению, распространялась в Восточной Европе на площади 1 млн км². Судя по позднейшим источникам, в древности здесь использовали руду, содержащую свыше 10% меди (Черных, 2002, с. 88, 91, 94, 95; Каргалы, 2002, с. 10, 23—38, 45, 46).

На Каргалинском рудном поле известно около 20 поселений эпохи бронзы, на большинстве из них культурный слой достаточно беден, но следует учитывать, что в силу сложности поисков истинное число поселений эпохи бронзы этого ареала неизвестно (Черных, 2002, с. 95; Каргалы, 2002, с. 58—75). Наиболее крупным поселением, к тому же исследованным раскопками Е. Н. Черных, является Горный.

¹ На мой взгляд, ранний комплекс нельзя считать собственно синташтинским. Это слабо расчленяемый позднесинташтинский материал раннеалакульского или покровского облика.

На поселении вскрыто 880 м². Количество находок шлака, меди, костей и керамики здесь чрезвычайно велико (Черных, 2002, с. 97). Выделено три фазы застройки, в которых выделяются субфазы. Наиболее ранним является горизонт с так называемыми жилищами-норами или ямами. Фактически, это очень глубокие укрытия площадью 1,5—4 м² (Каргалы, 2002а, с. 26—49). В более поздней фазе появляются капитальные постройки с крупными жилищами площадью 115—120 м² (Каргалы, 2002а, с. 71).

Калиброванные даты поселения — XVII—XV (XIV) вв. до н. э. (Черных и др., 1999, с. 98; 2002, с. 104; Каргалы, 2002, с. 124). Оно относится к срубной культуре. Вместе с тем, хотелось бы обратить внимание на присутствие на поселении сосудов, имеющих федоровско-межовские черты, причем, встречаются они с раннего периода (фаза А) и в рамках фазы В (см. Луньков, 2004, рис. 1.7.1, 2, 10; 1.11.11).

Нами исследовалась лишь руда с этих рудников, но большая работа по анализу шлака была выполнена С. Ровирой (2004).

Южнее Каргалинских рудников, у р. Урал располагаются поселения Покровское, Родниковское и Нижнепавловское. Покровское поселение однослойное и содержит срубно-алакульскую керамику. В ходе раскопок исследовано два жилища и хозяйственные сооружения (Горбунов, 1992, с. 75). Родниковское поселение исследовалось О. И. Пороховой в 1982—1983 гг. На поселении обнаружена керамика абашевского, срубно-алакульского, черкаскульского и саргаринского типов (Горбунов, 1992, с. 75). Нижнепавловское поселение исследовалось Л. Н. Моргуновой в 1989 г. и относится к срубной культуре.

Таким образом, из поселений приволжской зоны наиболее ранним, относящимся к раннесрубному времени, является Шигонское II. Материалы поселений Липовый Овраг, Михайло-Овсянка и Съезжее относятся к срубной культуре. Видимо, срубные традиции металлургии должны отражать и материалы поселения Попово Озеро, хотя здесь не исключены восточные федоровско-межовские импульсы.

В оренбургской зоне, вероятно, наиболее ранние традиции демонстрируют поселения Покровское, содержащее керамику срубно-алакульского облика. Очень часто она отражает не контакты срубных и алакульских популяций на развитом этапе, а ранний этап формирования срубных и алакульских комплексов на синташтинской основе, когда последующие более четкие культурные стереотипы еще не сформировались. То есть это могут быть сравнительно ранние материалы в срубной серии, хотя уже и не покровские, синхронные в Зауралье частично синташтинской культуре, но, в большей степени, петровской. Поселения Токское, Ивановское и Нижнепавловское близки этой серии, и безусловно относятся к срубной культуре, хотя при анализе следует учитывать присутствие на Ивановском поселении абашевской керамики. Шлаки Горного, которые будут обсуждаться, тоже относятся к этому времени, хотя там присутствует примесь федоровско-межовских материалов. Сложнее определиться с датировкой шлака с поселения Родниковское, где присутствует ранний материал абашевского и срубно-алакульского облика, который мы можем рассматривать как материалы начала ПБВ, и более поздние материалы черкаскульского и саргаринского типов. Следует отметить, что, как правило, археологи, работающие в степи, достаточно вольно обращаются с термином «черкаскульская керамика». Это не те материалы, которые характеризуют черкаскульскую керамику лесной зоны. Кроме того, очень часто присутствие валиков на посуде поселенческих федоровских и черкаскульско-межовских памятников заставляет рассматривать их в рамках эпохи финальной бронзы или валикового хронологического горизонта. Не вдаваясь в анализ данного конкретного поселения, отметим, что в любом случае это относится к познесрубному или постсрубному времени. То есть, исследованный шлак может датироваться или временем начала ПБВ или временем конца

ПБВ — начала финальной бронзы¹. И в последнем случае шлак этот может нести следы восточных влияний. Кузьминковское поселение является, вероятно, наиболее поздним в рассматриваемой серии, поскольку относится тоже к познесрубному или постсрубному времени, и содержит уже безусловные восточные влияния.

Металлургические комплексы

Выявление металлургических печей, как это обсуждалось при анализе материалов синташтинской культуры, является не простой задачей. Очень часто эти печи представлены достаточно простыми округлыми в плане конструкциями, и если их стенки не сохранились, что является типичной ситуацией, в раскопе они могут фиксироваться как очаги с небольшими прокалами. Ситуация упрощается лишь в случае присутствия в таком очаге металлургического шлака, но чаще он оттуда выгребался. Поэтому количество надежно зафиксированных печей в этом регионе не слишком велико.

В Поволжье надежный металлургический комплекс исследован на поселении Михайло-Овсянка (Матвеева и др., 2004; Горащук, Колев, 2004; Kolev, 2010; Garner, 2010). Этот комплекс прекрасно иллюстрирует весь цикл металлургического производства от добычи руды до металлообработки. Для нашей темы наиболее важны выявленные здесь операции по подготовке руды к плавке и сам плавильный процесс. Площадки по первичному дроблению руды располагались рядом с шахтами, но окончательная ее доводка производилась в сооружениях рядом с плавильными комплексами. Для этого использовались молоты, песты и даже костяные орудия, позволявшие измельчать руду до порошкообразного состояния² (рис. 9-2.3—9). Причем, тщательность всех совершаемых операций указывает на их безусловную технологическую необходимость. Обсуждая экспериментальные работы, мы останавливались на том, что руду надо измельчать именно до такого состояния. Примечательно и то, что орудия для металлообработки находились здесь же. Это указывает на то, что в тот период разделения труда между металлургами и кузнецами внутри металлургических поселков не существовало, хотя разделение территориальное, конечно, уже было. То есть, существовали, как и ранее, регионы, где была только металлообработка.

К металлургическим конструкциям авторы раскопок относят сооружение № 16, в котором выявлено много шлака (Матвеева и др., 2004, с. 76, рис. 2), но оно, к сожалению, очень скудно описано, а из чертежей можно понять лишь то, что это некое овальное углубление длиной около 1,3 м.

Чуть более определенный комплекс располагается в постройке 1 (рис. 9-2.1). В этой постройке обнаружено много шлака, ямка с рудой и прокал вытянутой формы размером 115×60 см. Вероятно, это место и есть основание печи.

Интересная металлургическая печь (сооружение 26) исследована разрезом на краю раскопа (рис. 9-2.2). Это углубленная на 12—14 см конструкция размером около 50 см, которая имеет продолжение в виде еще одной углубленной на 15 см части шириной около 30 см. Примечательно то, что основание обеих частей прокалено. Предполагается, что в наиболее углубленную часть ставились тигли с рудой (Kolev, 2010, S. 8, Abb. 8.2).

На поселении Михайло-Овсянка II, раскопанном Г. И. Матвеевой³, обнаружено два углубления с золой и прокалами около 55 см диаметром, которые, возможно, являлись основаниями печей. Рядом располагается овальное углубление, длиной около 1,3 м, шириной до 0,4 м, в котором обнаружены кости и шлак.

¹ В принципе, финальная бронза является частью ПБВ, и здесь намеренно употреблено это не вполне корректное различие для того, чтобы точнее обозначить возможную датировку шлака.

² Костяными орудиями производилась окончательная стадия — растирание руды ребром животных на шкуре, причем, операция производилась в воде. Это установлено как по микроследам на орудиях, так и по равномерному распределению оксидной пленки на поверхности этих орудий (Горащук, Колев, 2004, с. 93).

³ Благодарю Ю.И. Колева за предоставленную информацию.

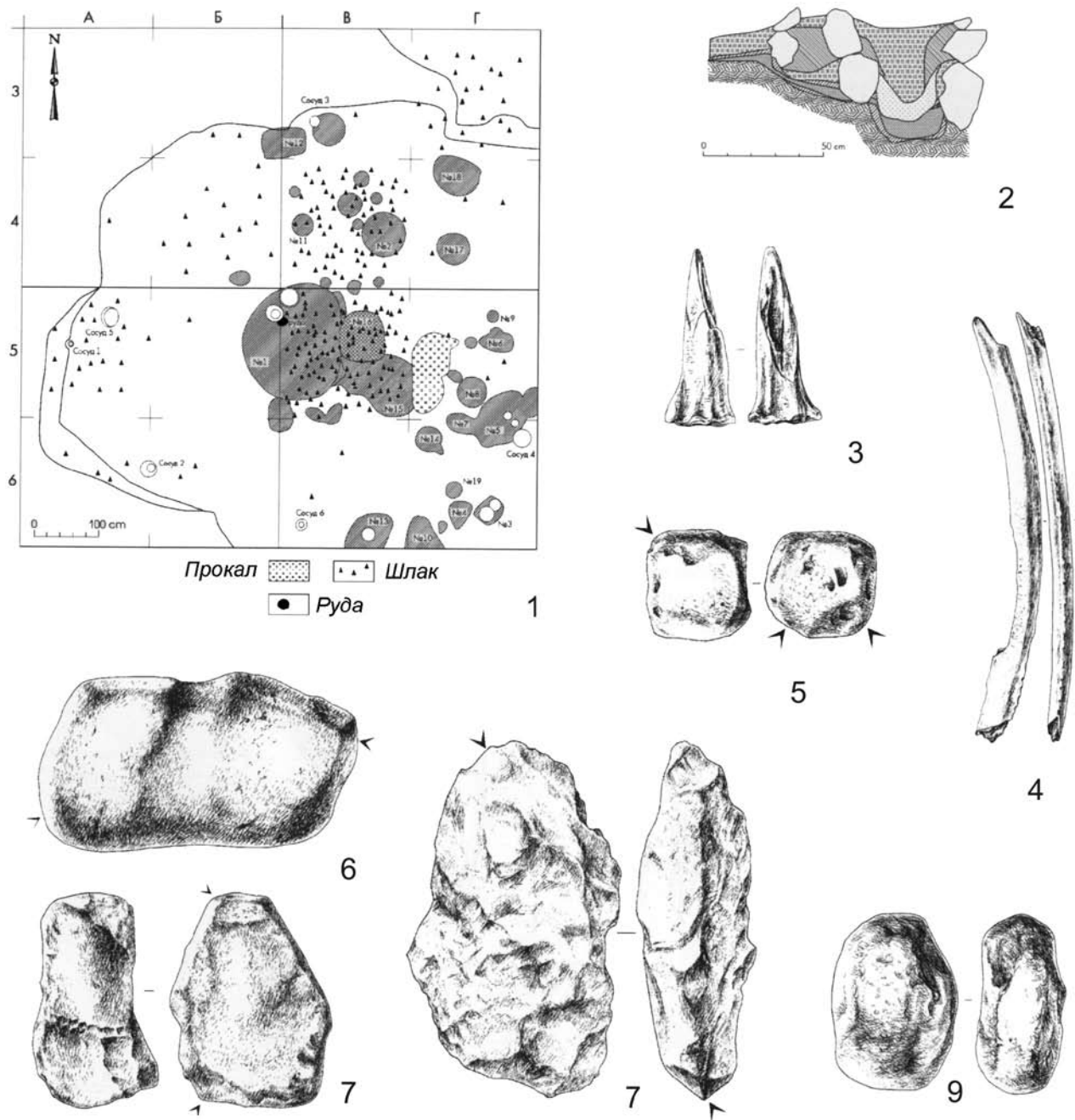


Рис. 9-2. Поселение Михайло-Овсянка (по Kolev, 2010). 1 — Сооружение 1, 2 —разрез металлургической печи (сооружение 26), костяные (3, 4) и каменные орудия (5—9) для дробления и измельчения руды

Таким образом, несмотря на скудость данных, мы вправе обсуждать два возможных типа конструкции: небольшие округлые печи диаметром около 55 см и более вытянутые конструкции длиной 0,8—1,3 м, причем у наиболее короткой из этих конструкций есть углубленная часть. Поскольку в плавку на данном поселении поступали окисленные руды, то первый тип конструкций представляется для металлургического производства менее вероятным, хотя он мог вполне использоваться для металлообработки. Дело в том, что в печах небольшого диаметра не сложно создавать высокую температуру, но трудно восстанавливать медь из окисленной руды. То есть, в принципе это возможно, но потери меди в виде куприта были бы очень высоки. В исследованных же шлаках содержание меди составляет 5,46 и 0,81%, что декларируется как признак неэффективной плавки и даже допускается последующая переплавка этого шлака в тигле (Garner,

2010, Tab. 1, S. 18). Но в действительности, мы имеем дело с конечным продуктом и во многих шлаках этого периода известны потери меди несопоставимо более высокие. Даже в синташтинских шлаках, где они незначительны, содержание меди составляло 1—2%, а там в плавке часто участвовали, помимо оксидов, вторичные сульфиды, и применялся способ генерации монооксида углерода с помощью дутья из колодцев. Поэтому мы не можем полностью отвергать использование этих небольших печей, возможно, они как-то комбинировались с плавкой в тиглях, сложно сказать. Но более вероятно плавка в более вытянутых конструкциях. Под этих конструкций прокален по всей длине, что указывает на то, что высокие температуры были везде. Наличие у одной из них углубленной части позволяло создавать тут более высокую температуру. И если дутье подавалось с другого конца, этого расстояния было более чем достаточно для создания восстановительной атмосферы.

Это подтверждается обнаружением вытянутого металлургического «очага» с прокаленным заполнением и находками медных капель на поселении Липовый Овраг (Агапов, Иванов, 1989, с. 136), с которого тоже происходит шлак от плавки руды, причем, шлак этот демонстрирует восстановительную атмосферу плавки, несмотря на достаточно высокие температуры.

Менее определенно можно говорить о металлургических печах поселения Кибит I (Кузнецов и др., 2005)¹. Здесь выявлены сооружения 1 и 2, связанные с металлургическим производством, рядом с ними или внутри лежали куски песчаниковой руды, но шлаки поблизости обнаружены не были. Это округлые конструкции диаметром 50—70 см и глубиной 20—40 см. У одной из них фиксируется площадка из прокаленной глины (рис. 9-3). В принципе, такие сооружения вполне можно было использовать для плавки руды, но в случае плавки окисленной руды из песчаников создавались бы проблемы со значительными потерями металла из-за окисления. Впрочем, во многих иных местах с этими проблемами мирились. К сожалению, в этом случае невозможно пока разобраться в этом вопросе, так как шлак на поселении не выявлен.

На поселениях Оренбуржья исследована серия очагов, иногда с каменными выкладками, но являются ли они металлургическими печами — не ясно. Наиболее примечательны на Токском поселении две каменные «ванны», пристроенные к колодцу с каменной обкладкой. Рядом в большом количестве обнаружены руда, шлак и куски оплавленного песчаника. Предполагается, впрочем, что эти конструкции служили для промывки руды (Халяпина, 2000, с. 85, 86). Но принцип этих конструкций близок пристроенным к колодцам синташтинским печам.

Металлургические комплексы исследованы также в таком важном центре, как поселение Горный на Каргалинских рудниках. Как уже отмечалось выше, на этом поселении выделяется три фазы эксплуатации. Уже в слоях ранней фазы (А) присутствует значительное количество руды и шлака. Тем не менее, металлургические печи, относящиеся к этой фазе, не выявлены.

В более поздней фазе (В-1) исследовано два комплекса (Каргалы, 2002а, с. 71). В комплексе 1 раскопана печь из поставленных на ребро плит, размером 140—160 см. К ней примыкала яма, куда сгребали дробленые кости, дробленный шлак, золу. Возможно, здесь у печи разбивали шлак и извлекали мелкие слитки металла. Потом его в этой печи переплавляли (Каргалы, 2002а, с. 72—76).

Рядом исследован плавильный двор со значительным количеством шлака. В его границах выявлена глиняная платформа размером 1,8—2×1,2×0,3—0,35 м. Печь на платформе не зафиксирована, поэтому предполагается, что плавка осуществлялась в угольной засыпке в тиглях. Руда в тигли помещалась слоями, вместе с прослойками

¹ Я глубоко признателен П. Ф. Кузнецову, который предоставил в мое распоряжение отчет и предложил использовать в публикации отчетные иллюстрации.

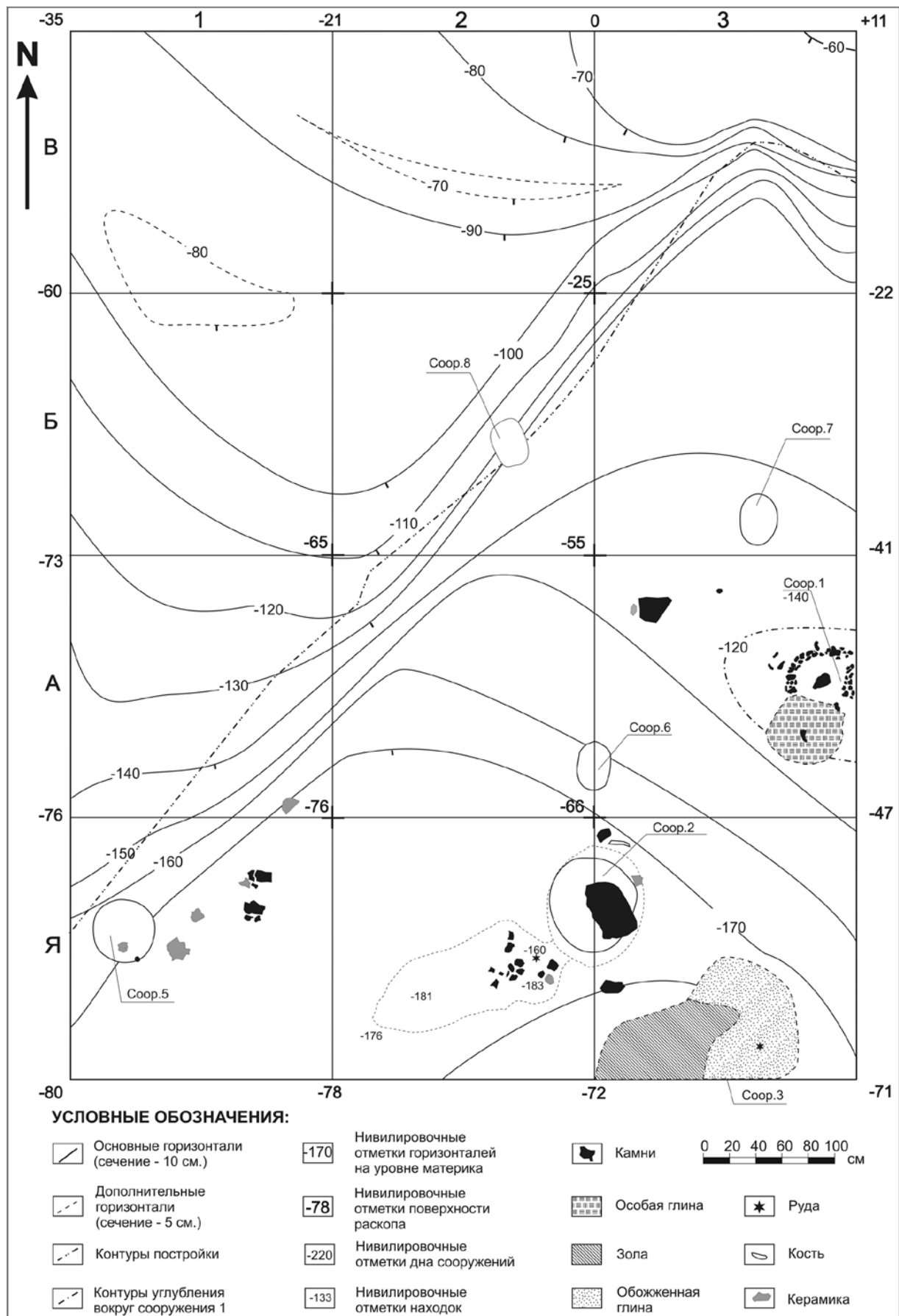


Рис. 9-3. План постройки поселения Кибит I (по П. Ф. Кузнецову)

угля. Поблизости найдено много костей, шлака и меди. Рядом располагался рудный двор площадью 13—15 м², где осуществлялась подготовка руды к плавке и ее хранение. Поблизости найдена яма-траншея для отходов. Рядом обнаружен небольшой очаг (№ 5), округлый, диаметром около 55 см, с каменными стенками, но шлак в печи не обнаружен, и он рассматривается как магический (Черных, 1997, с. 37, 38, 61; Черных и др., 1999, с. 83; Каргалы, 2002а, с. 73—83).

Второй комплекс (рис. 9-4) содержал очаг №6, который функционировал достаточно долго. Он имел сложную конструкцию. Первоначально была вырыта яма диаметром 180—200 см, забутованная затем глиной. Над ней прокаленный участок. Конструкции не зафиксированы. Предполагается, что это кострище, где плавил в тиглях в кучах угля. Рядом найдены более мелкие очаги. Один имеет по поду выкладку из плиток. Прочие представляют собой обычные прокалы. Конструкций тоже не зафиксировано. Размеры этих очагов колеблются от 30 до 70 см. По присутствию шлака и ошлаковке определено, что некоторые очаги (№ 7, 10) использовались для плавки руды, но предполагается, что функционировали они недолго. Найдено еще две печи, использовавшиеся для переплавки металла. Одна из них представляла собой прокаленное плоское округлое углубление 70—80 см с древесным углем и фрагментами ошлакованных плавильных тиглей. Другая — скопление пережженных кусочков песчаника с подмазками обожженной глины. Эта конструкция напоминает корытообразное углубление. В ней, видимо, разогревали литейные формы (Каргалы, 2002а, с. 98—101).

Необходимо отметить еще один тип конструкции. Это длинные канавки (№ 19, 23, 93, 106), которые имеют или небольшое утолщение на конце или завершаются более крупной округлой частью. Их сооружение предшествует раннему полу плавильного двора, и трактуются они как магические сооружения фаллической формы (Каргалы, 2002а, с. 84—86, 102—106). Однако идентичность этих сооружений синташтинским печам с дымоходом позволяет усомниться в подобной трактовке. Следует, видимо, искать все же более рациональное объяснение. Не исключено, что это тоже какие-то теплотехнические сооружения.

В следующий период (субфаза В-2) отмечено два очага диаметром 70—80 см, но определенно устанавливается их связь только с литейным производством, а для завершающего периода (субфаза В-3) металлургические конструкции не выявлены вовсе (Каргалы 2002а, с. 114, 115, 120—123).

Таким образом, плавильные сооружения выявлены только для двух субфаз (В-2,3). Причем, предполагается тигельная плавка в угольных кучах с дутьем в тигель через слой угля. Это положение требует короткого обсуждения. Дело в том, что уголь, в отличие от дров, плохо горит в открытом костре. В печи доступ воздуха сквозь него обеспечивается за счет давления. В случае же дутья на кучу угля воздух будет сталкиваться с верхним слоем и идти по нему, слабо проникая внутрь. Это не позволяет достигать высоких температур (а как мы увидим далее, на Горном достигались очень высокие температуры плавки). У нас нет оснований полностью отвергать такую возможность¹. Но как вариант мы можем допускать тигельную плавку и в небольших печах (очагах), исследованных на поселении.

В принципе, как уже обсуждалось, доказать тигельную плавку — сложная аналитическая задача. Но в данном случае обращает на себя внимание огромное количество плавильных чаш — 457. Объемы их колеблются, чаши первой группы имеют объемы от 680 до 1750 см³. Предполагается, что они использовались для переплавки металла

¹ В принципе, кучи угля могли быть невелики, а дутье в несколько сопел очень интенсивным. Подобное возможно для эпизодических плавок, но необъяснимо для постоянно действующего крупного металлургического комплекса: металлурги должны были прекрасно понимать, что сооружение небольших стенок вокруг очага резко улучшает ситуацию и повышает эффективность плавки.

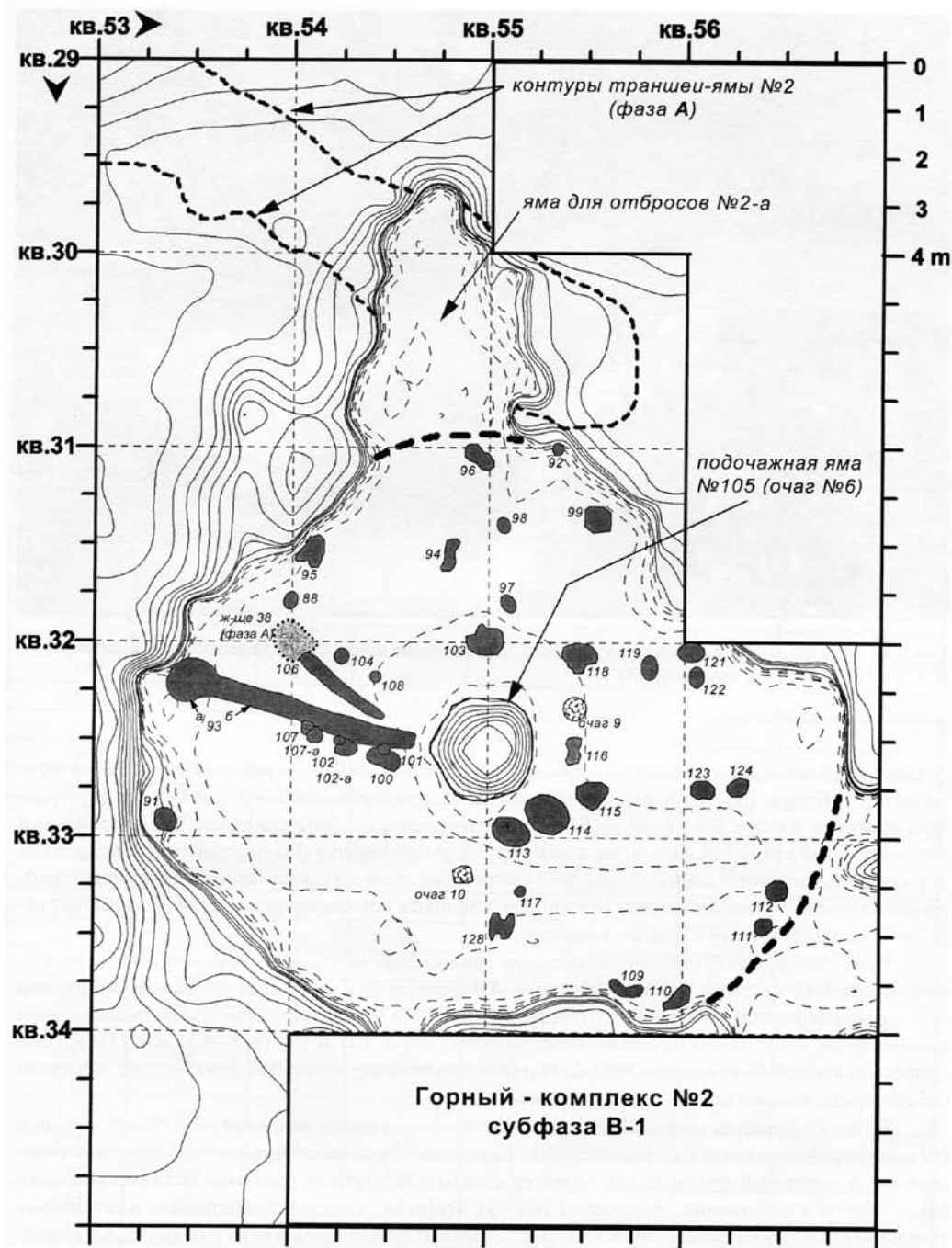


Рис. 9-4. Комплекс № 2 поселения Горный (Каргалы, 2002а, рис. 4.11)

(Луньков, 2004, с. 70—75). Но часть из них вполне могла служить в качестве тиглей, плавка в которых руды предполагается для данного поселения.

Однако и с тигельной плавкой окисленной руды, которая доминировала на Каргалинских рудниках, тоже дело обстоит не просто. Не случайно, организаторы экспериментальных работ по выплавке меди на этих рудниках даже не пробовали подобное моделирование процесса, а вели плавку непосредственно в печи, впрочем, как часто бывает с окисленной рудой, не вполне успешную (Ровира, Апп, 2004). Как мы обсуждали в описании наших экспериментальных работ, получить медь из окисленной руды в тигле крайне сложно, даже если дутье осуществляется через слой угля. В этом случае успевает сформироваться лишь диоксид углерода, и восстановление меди не происходит. Подобным образом можно получить или массу куприта или шихта покрывается шла-

ковой коркой, которая предохраняет руду от дальнейшей плавки. Речь в данном случае идет не о плавке чистого малахита, а об окисленной руде, содержащей существенные примеси породы, которую необходимо расплавить. А именно такие руды использовались на Каргалах. Но и плавка этой руды непосредственно в печах, как показали наши эксперименты, а также эксперименты С. Ровиры и Ж. Аппа является низкоэффективной, с извлечением 5—7% меди, содержавшейся в руде. Возможно, древние металлурги могли увеличивать степень извлечения, но в любом случае потери были велики.

Проанализированные материалы

В исследованную выборку попали 11 образцов руды, один слиток меди, один фрагмент обмазки, три образца флюса и 85 образцов шлака, из которых несколько образцов оказались ошлакованной обмазкой. В общей сложности с этих памятников было сделано 13 визуальных определений руды, 83 минералогических анализа шлака с помощью оптического микроскопа и 100 спектральных анализов обмазки, металла, шлака и руды. Кроме того, учитывались данные анализов шлака и руды с поселений Горный и Михайло-Овсянка.

Исследованная руда происходит из песчаниковой породы. Вся руда в выборке окисленная, за исключением образца 1338 с поселения Родниковское, оказавшегося вторичным сульфидом. В принципе, в окисленной руде тоже могут быть сульфидные включения, которые трудно заметить без специального анализа, но основа руды все равно окисленная.

Форма шлака

Подавляющее большинство образцов (таб. 9-5) представлено тяжелыми бесформенными кусками пористого шлака, имеющего оплавленные поверхности и иногда вдавления от древесного угля. Некоторые образцы (№ 335 с Липового Оврага и 333 с Шигонского II) имеют округлую нижнюю поверхность, указывающую на то, что этот шлак сформировался в каком-то углублении. Нижняя поверхность, при этом, мелкозернистая, к ней припечен какой-то песчаник (грунт или обмазка печи). Поэтому может сложиться впечатление, что этот шлак излит в ямку, но такая форма может образоваться и в самой печи.

Таб. 9-5

Форма шлака Поволжья и Оренбургского Приуралья

Памятник \ Форма	Бесформенный тяжелый	Плотные шлаковые лепешки	Бесформенный легкий	Шлаковые корки на обмазке	Обмазка
Липовый Овраг	1				
Попово Озеро	8				
Шигонское II	4	6			
Съезжее	4				
Кузьминковское	6				
Ивановское	6				
Токское	5				
Покровское	15		3	1	
Родниковское	14			2	1
Нижнепавловское	1		4		
Михайло-Овсянка		?			
Горный	?				

На поселении Шигонское II шесть образцов (№ 325—330) представлены черным плотным уплощенным шлаком. Верхняя сторона его неровная, с вдавлениями (в том числе от древесного угля), вторая гладкая, с металлическим блеском. Вероятно, этот шлак формировался на слитке металла, то есть вязкость его была ниже, чем у осталь-

ной серии. По этому признаку он ближе к синташтинским шлакам, но, все же, вязкость его не так низка, чтобы это позволило сформироваться типичным для синташтинских шлаковых лепешек закраинам, захватывающим слиток металла по сторонам. В синташтинской серии, поэтому, подобный шлак относился, с оговорками, к бесформенным. Один образец (330) более пористый и имеет коричневатый оттенок.

Близкие синташтинским округлые, лепешкообразные шлаки с утолщением по краям выявлены только на поселении Михайло-Овсянка (рис. 9-6). Они темно-серые, почти черные. Верхняя часть гладкая, стекловидная, нижняя — пористая, с металлическим блеском (Kolev, 2010, S. 15). Эта их форма объясняется очень низкой вязкостью этого шлака, но степень вязкости была все же выше синташтинской.

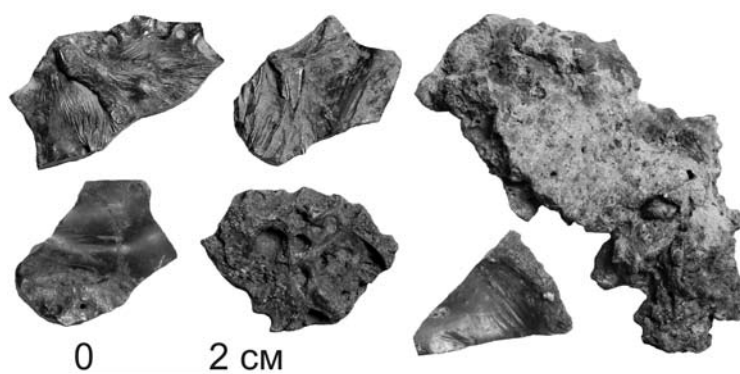


Рис. 9-6. Шлаки поселения Михайло-Овсянка

На Покровском поселении из основной массы выделяется уплощенная плотная шлаковая корка (№ 1327) и бесформенные пористые легкие куски шлака, похожие на керамзитовый (№ 1328—1330), а на Родниковском — уплощенный спекшийся конгломерат, состоявший из мелких окисленных частиц меди или окисленной песчаниковой руды (№ 1334), по сути дела, непереработанная руда, ошлакованная обмазка печи (№ 1335), слиток меди со значительными включениями шлака (№ 1343), плотные шлаковые корки на обмазке (№ 1353, 1354) и куски чограйского железосодержащего песчаника (№ 1339—1341). Последние примечательны тем, что в Зауралье являются типичной находкой у металлургических комплексов синташтинской культуры.

Наконец, на Нижнепавловском поселении к стандартным шлакам относится только образец № 1286. Остальные образцы (№ 1287—1290) представлены легкими пористыми кусками шлака, похожего на керамзитовый.

Определить форму шлака на поселении Горный невозможно, так как почти весь шлак измельчен. Выявлено только одно скопление, результат неудачной плавки, представленное небольшими бесформенными кусками (Кузьминых, 2004, с. 101). Возможно, остальной шлак до дробления был таким же, но уверенно судить об этом по неудачной плавке сложно.

Таким образом, основная масса образцов представлена тяжелыми бесформенными шлаками. Шлаковые корки на обмазке могут образовываться при любом типе плавки, но они указывают на то, что плавка осуществлялась в печах, а не в тиглях. То же можно сказать о более легких шлаках. Их преобладание на Нижнепавловском поселении, в силу незначительности выборки, пока не позволяет говорить о какой-то специфике металлургии данного поселения. И необходимо, конечно, обратить внимание на присутствие уплощенного шлака на поселении Шигонское II, что указывает на связь с более ранней синташтинской традицией, и этому не противоречит относительно ранняя хронологическая позиция данного поселения.

Химизм шлака

Коэффициенты основности шлака и руды

Для понимания характера шлака и технологий плавки в Оренбуржье важно понимать экстремальный химизм оренбургской руды. Нами был сделан лишь один химический анализ руды с Каргалинских рудников и несколько анализов шлака (таб. 9-7; 9-8), кроме того, были использованы данные С. Ровиры и Й. Гарнера (Rovira, 1999; Garner, 2010). В первую очередь, были сделаны расчеты коэффициента основности (в данном случае, скорее, кислотности) этого шлака, отражающего соотношение кислотных и основных окислов. В синташтинско-абашевском шлаке этот коэффициент колебался в пределах 0,1—2,52. Средний коэффициент для руды составил 0,82, а для шлака 1,4. Для каргалинской руды этот коэффициент составил 0,41, то есть руда ультракислая, а для шлака он колебался в пределах 0,25—2,15, со средним значением 0,5. Для руды Михайло-Овсянки средний коэффициент составил 0,51, а для шлака 0,96. Соответственно, большая часть шлака являются ультракислыми или кислыми.

Таб. 9-7

Химический анализ шлака Оренбургского Приуралья (%)

№	Памятник	Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	Cu	SO ₃
1285	Кузьминковское	шлак	40,40	3,46	36,77	7,53	1,02	0,46	0,07	4,92	0,04
1303-1	Ивановское	шлак	40,00	4,87	26,61	12,74	0,82	0,94	0,07	4,96	0,04
1304-1	Ивановское	шлак	51,38	4,03	26,01	5,79	1,63	2,14	0,07	5,84	0,04
1318-1	Покровское	шлак	46,28	5,97	18,70	13,03	1,83	1,15	0,35	11,05	0,14
1333-1	Родниковое	шлак	39,54	5,10	4,28	4,34	1,43	0,81	0,09	29,02	0,36
1344	Родниковое	шлак	44,70	6,64	6,52	5,21	1,74	1,41	0,05	22,03	0,16
1355	Родниковое	шлак	60,88	7,79	4,84	11,29	2,66	3,85	0,16	0,38	0,04
1356-2	Родниковое	шлак	65,54	7,54	5,00	9,12	2,35	4,10	0,15	0,45	0,08

Таб. 9-8

Химический анализ образца руды с Каргалинских рудников (Activation Laboratories Ltd.)

SAMPLE	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	LOI %	TOTAL %	Ba ppm	Sr ppm	Y ppm	Sc ppm	Zr ppm	Be ppm	V ppm
2027	15,99	2,81	1,66	0,013	0,51	0,54	0,57	0,44	0,124	0,04	22,48	45,18	52580	3399	9	6	35	-1	32

Это влияло на кристаллизацию шлака. Затвердевание кислых и ультракислых шлаков идет плохо, поэтому увидеть здесь крупные таблитчатые кристаллы невозможно, и это не будет указывать на высокую скорость остывания расплава, хотя будет маркировать высокую скорость его затвердевания. Но объяснение этому лежит в химизме шлака, а не в конструкции печи или выпуске шлака. Выпустить подобный шлак из печи или тигля в принципе невозможно.

Плавить руду такого состава достаточно трудно, так как он вызывает высокую вязкость. И, как мы видим по шлаку, существенного снижения этой вязкости за счет изменения шихты флюсами основного состава не происходило. Небольшой же сдвиг в сторону основности может быть объяснен и тщательной сортировкой руды.

Вязкость шлака

По уже описанной методике были проведены расчеты вязкости для условной температуры 1400 °С (таб. 9-9). Напомним, что для синташтинских шлаков вязкость колеблется от 0 до 5,94 Pa·s, со средним значением 2,82 Pa·s, а для приуральских шлаков этого времени от 2,18 до 9,91 Pa·s (среднее значение 5,88 Pa·s) (таб. 5-19). Для шлаков Поволжья и Оренбуржья среднее значение этого коэффициента составило 12,89 Pa·s. Но вязкость очень сильно колеблется и для шлаков отдельных памятников и для образ-

Таб. 9-9

Руда и шлаки Поволжья и Оренбургского Приуралья: соотношения окислов сокращающих вязкость (TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO , K_2O , CaO , Na_2O) к окислам, повышающим ее (SiO_2 , Al_2O_3) — коэффициент K_z и коэффициент вязкости (в $\text{Pa}\cdot\text{s}$) при температуре $1400\text{ }^\circ\text{C}$.
Часть анализов (Rus, Gor) дана по Rovira, 1999; Ровира, 2004.

№	Памятник	Материал	K_z	η 1400 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
Rus-1/1a	Михайло-Овсянка	Руда	1,07	4,14
Rus-1/1c	Михайло-Овсянка	Руда	0,51	9,25
Rus-1/1b	Михайло-Овсянка	Руда	0,31	15,17
Rus-1/2	Михайло-Овсянка	Руда	0,11	42,55
2103	Каргалы	руда	0,03	149,73
Gor-E09/3	Горный	Шлак	2,15	1,83
Rus-1/6b	Михайло-Овсянка	Шлак	1,46	2,9
1285	Кузьминковское	шлак	1,16	3,78
1303-1	Ивановское	шлак	1,03	4,31
1333-1	Родниковое	шлак	0,9	4,97
1318-1	Покровское	шлак	0,89	5,09
1304-1	Ивановское	шлак	0,75	6,09
Gor-E29/7	Горный	Шлак	0,74	6,21
1344	Родниковое	шлак	0,72	6,33
Gor-E10/1	Горный	шлак	0,64	7,17
Gor-E26/7	Горный	шлак	0,64	7,21
Gor-E01/5	Горный	шлак	0,63	7,3
Gor-E11/3	Горный	шлак	0,58	8
Gor-E12/1	Горный	шлак	0,57	8,13
Gor-E27/5	Горный	шлак	0,57	8,21
Gor-E28/6	Горный	шлак	0,49	9,48
Rus-1/6a	Михайло-Овсянка	шлак	0,45	10,42
Gor-E06/1	Горный	шлак	0,44	10,58
Gor-E23/5	Горный	шлак	0,39	11,97
Gor-E18/5	Горный	шлак	0,39	12,09
Gor-E25/6	Горный	шлак	0,37	12,8
Gor-E08/1	Горный	шлак	0,36	13,13
Gor-E20/3	Горный	шлак	0,34	13,86
1355	Родниковое	шлак	0,34	14,04
Gor-E30/4	Горный	шлак	0,29	16,26
1356-2	Родниковое	шлак	0,29	16,4
Gor-1-5	Горный	шлак	0,26	18,42
Gor-E22/5	Горный	шлак	0,21	23,04
Gor-E13/5	Горный	шлак	0,19	25,06
Gor-E19/8	Горный	шлак	0,17	28,41
Gor-E21/5	Горный	шлак	0,12	41,9
Gor-E24/5	Горный	шлак	0,1	47

цов внутри выборок с отдельных поселений, что указывает на вариабельность шихты. Так, на поселении Горный вязкость колебалась от 1,83 до 47 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ со средним значением 15,37 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, и только один образец из 22 продемонстрировал вязкость, попадающую в интервал синташтинского шлака.

Вязкость шлака Михайло-Овсянки тоже очень высокая (2,9 и 10,42 $\text{Pa}\cdot\text{s}$). Она значительно ниже расчетной вязкости для руды данного поселения, но все же слишком высока для того, чтобы формировались обнаруженные на этом поселении шлаковые лепешки с закраинами. Следовательно, в шихте должны были употребляться какие-то компоненты, не включенные в данные расчеты. Или выборка анализов недостаточна и некорректна (у нас нет данных о том, что сделан анализ именно лепешкообразных шлаков).

На оренбургских поселениях, за исключением Горного, средняя вязкость составляет 7,63 $\text{Pa}\cdot\text{s}$. При этом на Ивановском, Кузьминковском и Покровском поселениях она сравнительно ниже и укладывается в пределы 3,78—6,09 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, а на Родниковом — в пределы 4,97—16,4 $\text{Pa}\cdot\text{s}$, со средним значением 10,44 $\text{Pa}\cdot\text{s}$. Таким образом, вязкость оренбургских шлаков значительно превышает вязкость синташтинских, хотя вязкость шлака Ивановского, Кузьминковского и Покровского поселений еще сопоставима с наиболее вязкими

синташтинскими шлаками. Но вязкость шлака Родникового, а в особенности Горного, слишком высока для нормального отделения металла от шлака. Необходимо иметь в виду, что эта расчетная вязкость не вполне соответствует реальной. Например, как мы увидим ниже, в руде некоторых поселений Оренбуржья (Ивановское, Кузьминковское, часть шлаков Родникового) была высока доля сульфидных минералов, которые плавятся при относительно невысоких температурах и, соответственно, их расплав способствует снижению вязкости. Поэтому, в целом, на этих поселениях удавалось создавать относительно приемлемый шлаковый состав. Металлурги Горного были такой возможности полностью лишены, а улучшения ситуации за счет использования флюсов основного состава из химических анализов мы не видим.

Минералогия шлака

В принципе, описанная выше форма шлака достаточно хорошо объясняется его микроструктурами, выявленными минералогическим анализом, проведенным с помощью оптического микроскопа. При этом минералогические группы шлака в этом случае имеют отчетливо выраженную территориальную связь. В данной выборке четко отчлняются друг от друга шлаки Поволжья и Оренбуржья, а внутри Поволжья наблюдаются отличия наиболее раннего шлака поселения Шигонское II от шлака других поселений. Поэтому описание шлака по минералогическим группам, применяемое в этой работе, в целом, соответствует описанию по территориальному принципу. При этом минералогия шлака имеет определенные отличия от зауральской, но здесь сохранен тот же состав минералогических групп, с обсуждением имеющихся отличий.

Минералогическая группа I

В коллекциях Зауралья данная группа характеризовалась шлаком, полученным при плавке руды из ультраосновных серпентинизированных пород. В поволжско-оренбургской выборке эта группа зафиксирована только на поселении Шигонское II и один образец (№ 1327) на поселении Покровское. С учетом того, что этот тип плавки генетически восходит к синташтинско-абашевской металлургии, присутствие шлаков этой группы в наиболее раннем в данной выборке поселении вполне логично.

В большинстве образцов шлака хорошо оформились таблитчатые, удлиненно-призматические и удлиненно-скелетные кристаллы оливина (рис. 9-1.1). В некоторых образцах даже слабо различимы границы между отдельными зернами. Ранее оливина сформировался вюстит, представленный обычно крупными оплавленными дендритами. Иногда эти дендриты очень длинные. Следовательно, формировались они уже в районе пода печи, когда шлак протек вниз и больше не перемещался. Иногда встречаются крупные оплавленные октаэдры или более мелкие дендриты магнетита.

Зерна кварца изредка встречаются, но это для шлака не типично. Обычно он растворяется в расплаве и затем переходит в фаялит. В образце 327 зафиксировано крупное зерно серпентинита с включениями куприта по трещинам. Хромит почти не встречен. Только в образце 327 и в образце с Покровского поселения он представлен хорошо. Его окружает толстая кайма магнетита, и изредка наблюдаются его ассоциации с зернами, похожими на серпентинит. Вероятно, порода была, преимущественно, основного состава с включениями силикатного компонента. То есть, по этому признаку это идентично аналогичной синташтинской группе, но в последней более хорошо был представлен хромит, выступавший даже в качестве безошибочного маркера данной группы. В этом же случае хромит, хотя и присутствует, но значительно реже. Вероятно, это объясняется особенностью данного конкретного месторождения в основных породах. В случае с Покровским поселением, где основной массив руды связан с песчаниковыми породами, на основании одного образца вряд ли правомерно говорить о возможности эксплуатации

еще какого-то месторождения. Скорее всего, это обусловлено наличием в песчаниковых месторождениях каких-то гнезд со специфической минерализацией, тем более, что в этом образце присутствует примесь мелких кварцевых фрагментов.

Рудные минералы представлены изредка малахитом, но, в большей степени, сульфидом меди, образующим зерна, расплав и корольки. По малахиту часто образуется куприт. Иногда куприт представлен мелкими корольками вокруг зерна сульфида, то есть при образовании куприт плавился. Порой сульфид окружает зерна пирита. Вокруг куприта и меди может формироваться тонкая кайма магнетита. Все это может отражать плавку халькопирита и борнита. Небольшие зерна халькопирита, при этом, в шлаке выявлены.

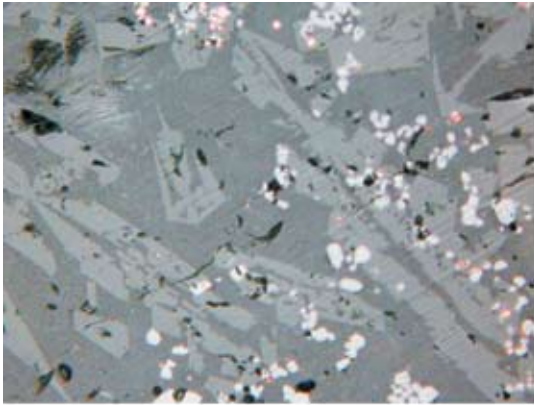
Медь представлена небольшими корольками, окруженными иногда каймой сульфида или куприта. Иногда она вместе с купритом замещает зерна сульфида. Количество меди (как, кстати, и руды) в шлаке очень невелико.

Все образцы содержат восстановленные, часто оплавленные частицы железа. Их оплавленность, впрочем, не свидетельствует в пользу достижения температур плавления железа, а отражает лишь восстановление из оплавленных частиц и корольков вюстита. Существует еще один вариант объяснения, возможного для всех случаев, когда в шлаке ПБВ выявляется расплавленное железо. Дело в том, что чистое железо плавится при температуре 1534 °С, но в случае восстановительной атмосферы и обилия угля, оно может обогащаться углеродом. Железо с содержанием углерода 4,3% плавится уже при температуре 1147 °С (Amborn, 1976, S. 15; Tylecote, 1980a, p. 209; Childs, 1996, p. 299). Поэтому оплавленное железо во всех случаях указывает на восстановительную атмосферу, но вовсе не обязательно является свидетельством высоких температур.

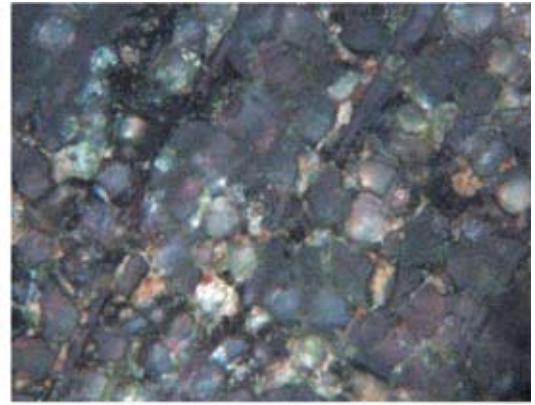
Таким образом, это достаточно стандартный шлак, характерный для синташтинско-абашевской металлургии, и все сказанное относительно технологии плавки этих более ранних комплексов вполне применимо и к металлургии Шигонского II. Отличия наблюдаются лишь в продолжении динамики трансформации рудной базы, наметившейся ранее. Если в синташтинское время в плавку поступала окисленная руда и вторичные сульфиды, то в абашевских плавках этого типа в Приуралье доля вторичных сульфидов возрастает. Здесь же эта тенденция продолжается в виде дальнейшего роста этой доли и начала добавления к шихте первичных сульфидов — халькопирита и борнита. Другим отличием является то, что в этом шлаке нет примесей мышьяка (таб. 9-13).

От описанной серии несколько отличается два образца, в которых не прошла фаялитовая кристаллизация. Это обр. 334, перенасыщенный неоплавленными октаэдрами магнетита, что привело к большей вязкости и большим потерям меди. Кроме того, в этом шлаке фиксируется более окислительная атмосфера, что маркируется присутствием делафоссита. Эти черты позволяют отнести данный образец к минералогической группе IV. Следует отметить, что ниже эта группа будет подробно описываться, и в этом регионе она связана, главным образом, с песчаниковой рудой. В обр. 331 фаялитовая кристаллизация тоже не фиксируется, но нет и признаков окислительной атмосферы. К увеличению вязкости и потерям металла это не привело. Видимо, плавка была длительной, а температуры высокими. Скорее всего, шлак относится к основной группе, но для формирования фаялита не хватало каких-то компонентов.

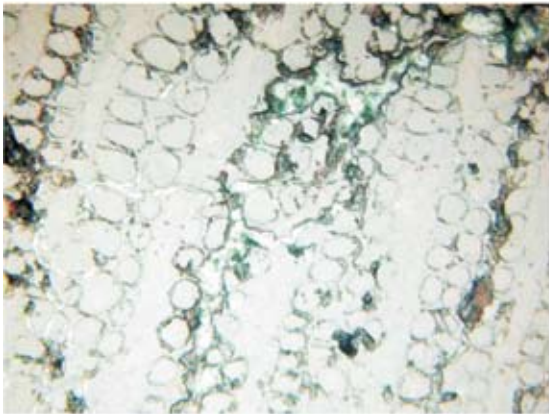
В целом, температуры в печи могли даже достигать 1350 °С, судя по расплавлению куприта и вюстита. Затем происходило постепенное снижение температуры с восстанавливающим дутьем. Плавил, преимущественно, вторичные сульфидные руды. Железистый компонент происходит, вероятно, из породы, а не в результате флюсовых добавок, хотя полной уверенности в этом нет.



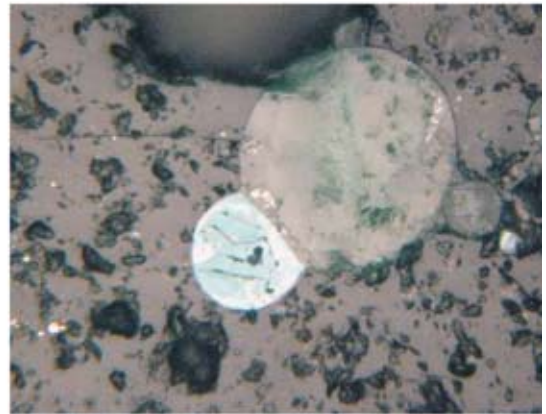
1. — пос. Покровское, обр. 1327, I мин. группа, длина снимка 0,62 мм: удлиненно-скелетные кристаллы фаялита (светло-серое) в стеклянной матрице (темно-серое), мелкие частицы магнетита (светлые) и мелкие медные корольки



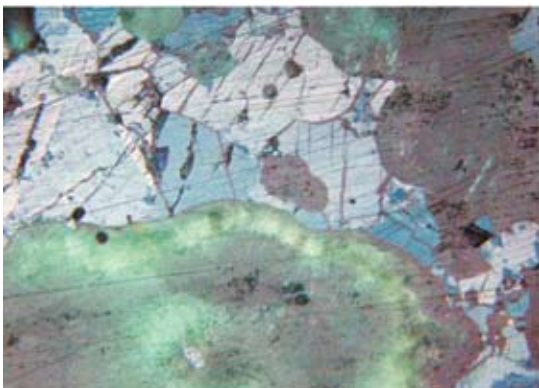
2. — пос. Токское, обр. 1291, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: фрагмент песчаника с мелким малахитовым цементом



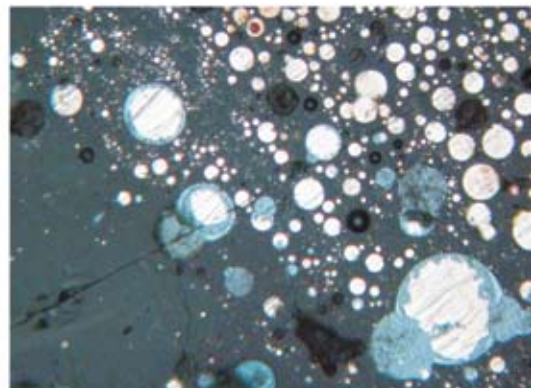
3. — пос. Ивановское, обр. 1307, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: фрагмент песчаника с включениями малахита.



4. — пос. Токское, обр. 1291, II мин. группа, длина снимка 0,46 мм: крупные округлые зерна малахита (серый с зеленоватым оттенком) с примыкающим к ним расплавленным корольком ковеллина (голубой) в стеклянной матрице (темно-серое), в верхней части снимка крупная пора



5. — пос. Ивановское, обр. 1304, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: рудное тело, состоящее из малахита (зеленый) и ковеллина (сине-голубой).



6. — пос. Родниковое, обр. 1348, II мин. группа, длина снимка 0,46 мм: скопление корольков меди и куприта в стеклянной матрице

Рис. 9-1. Микроструктуры шлака Оренбуржья

Минералогическая группа II

В минералогическую группу II включались образцы из кварцсодержащих пород, выплавленные в условиях восстановительной атмосферы. В Поволжье зафиксирован лишь один образец, отнесенный к этой минералогической группе, происходящий с поселения Липовый Овраг (обр. 335). В шлаке присутствует много (до 40%) зерен кварца средних размеров. В плавку явно поступала руда из кварцевой породы. В зернах кварца изредка встречаются единичные вкрапления меди, что свидетельствует в пользу того, что минерализация была приурочена именно к кварцу. Вокруг этих зерен в стекле наблюдается мелкая редкая кристаллизация фаялита (иголки, зародыши). Слабая кристаллизация этого минерала может объясняться как нехваткой железистого компонента, так и очень высокой скоростью остывания расплава. К сожалению, отсутствие химических анализов шлакового стекла не позволяют судить об этом определенно. В случае слишком кислого силикатного расплава вязкость его была бы очень велика, что вело бы к значительным потерям металла в шлаке. Однако анализом зафиксирован лишь один королек меди, окруженный каймой куприта. Снизить вязкость можно было бы и повышением температуры, но для этого требовалось интенсифицировать дутье, что вело бы к окислительной атмосфере. А атмосфера этой плавки была восстановительной: в шлаке обнаружено несколько оплавленных частиц вюститита, отсутствуют магнетит и куприт.

Температуры плавки были, вероятно, около 1300 °С или чуть выше. Но она проходила в течение продолжительного времени, что позволило полностью переработаться руде и осесть металлу.

Данная минералогическая группа хорошо представлена и в Оренбургском Приуралье. Однако от вышеописанного образца, и от образцов из Зауралья она отличается тем, что получена не в результате плавки руды из кварцевых жил, а в результате плавки медистых песчаников. Здесь эта группа составляет основу шлака на Ивановском и Кузьминковском поселениях и в меньшей доле присутствует на поселениях Покровское, Родниковое и Токское (таб. 9-10). Подавляющее число шлаков является кислым или ультракислым (таб. 9-11).

Связь руды с месторождениями в медистых песчаниках видна достаточно отчетливо. Во всех образцах зафиксированы зерна кварца и фрагменты песчаника с характерной слоистой зернистой структурой. Иногда сами зерна кварца в скрещенных николях демонстрируют подобную структуру или кварц присутствует в виде мелких окатанных зерен. Рудные включения очень часто присутствуют между отдельными зернами песчаника, являясь его «цементом» (рис. 9-1.2, 3). В образцах этой минералогической группы с Покровского поселения песчаниковые структуры выявлены не были, но это

Таб.9-10.
Минералогические группы шлака Поволжья и Оренбургского Приуралья

Минералогические группы	I	II	IV	VI	Обмазка	Всего:
Поселения						
Шигонское II	9		1			10
Липовый Овраг		1				1
Попово Озеро				8		8
Съезжее			4			4
Ивановское		5	1			6
Кузьминковское		5	1			6
Нижнепавловское			1		3	4
Покровское	1	1	16		3	21
Родниковое		4	13	1		18
Токское		2	3			5
Итого:	10 12%	19 23%	39 47%	9 11%	6 7%	83 100%

Коэффициенты основности руды и шлака Поволжья и Оренбуржья

Образец	Памятник	Материал	Коэффициент основности	Группа
Rus-1/2	Михайло-Овсянка	руда	0,13	ультракислая
Rus-1/1b	Михайло-Овсянка	руда	0,34	ультракислая
2027	Каргалы	руда	0,41	ультракислая
Rus-1/1c	Михайло-Овсянка	руда	0,52	кислая
Rus-1/1a	Михайло-Овсянка	руда	1,04	средняя
Gor-E24/5	Горный	шлак	0,1	ультракислая
Gor-E21/5	Горный	шлак	0,12	ультракислая
Gor-E19/8	Горный	шлак	0,17	ультракислая
Gor-E13/5	Горный	шлак	0,19	ультракислая
Gor-E22/5	Горный	шлак	0,21	ультракислая
1333-1	Родниковое	шлак	0,25	ультракислая
Gor-1-5	Горный	шлак	0,26	ультракислая
1356-2	Родниковое	шлак	0,28	ультракислая
Gor-E30/4	Горный	шлак	0,29	ультракислая
1344	Родниковое	шлак	0,29	ультракислая
1355	Родниковое	шлак	0,33	ультракислая
Gor-E20/3	Горный	шлак	0,34	ультракислая
Gor-E08/1	Горный	шлак	0,36	ультракислая
Gor-E25/6	Горный	шлак	0,37	ультракислая
Gor-E18/5	Горный	шлак	0,39	ультракислая
Gor-E23/5	Горный	шлак	0,39	ультракислая
Gor-E06/1	Горный	шлак	0,44	ультракислая
Rus-1/6a	Михайло-Овсянка	шлак	0,46	ультракислая
Gor-E28/6	Горный	шлак	0,49	ультракислая
Gor-E27/5	Горный	шлак	0,57	кислая
Gor-E12/1	Горный	шлак	0,57	кислая
Gor-E11/3	Горный	шлак	0,58	кислая
Gor-E01/5	Горный	шлак	0,63	кислая
Gor-E26/7	Горный	шлак	0,64	кислая
Gor-E10/1	Горный	шлак	0,64	кислая
1304-1	Ивановское	шлак	0,64	кислая
1318-1	Покровское	шлак	0,67	кислая
Gor-E29/7	Горный	шлак	0,74	кислая
1303-1	Ивановское	шлак	0,92	кислая
1285	Кузьминковское	шлак	1,05	средняя
Rus-1/6b	Михайло-Овсянка	шлак	1,47	средняя
Gor-E09/3	Горный	шлак	2,15	основная

единичные образцы, и, скорее всего, эта руда тоже связана с песчаниками, тем более, что для шлаков IV минералогической группы этого поселения, отличающихся лишь более окислительной атмосферой, данный факт установлен.

Малахит представлен корольками и зернами, это доминирующая руда (рис. 9-1.4, 5). Иногда он замещается купритом. Большая часть малахита присутствовала в руде изначально, хотя в образце 1304-1 Ивановского поселения отмечено вторичное образование малахита по краю поры, то есть уже после застывания шлака. В виде исключения в отдельных шлаках зафиксированы жилки азурита (обр. 1304) и круглое зерно малахита и азурита (обр. 1306-1). Иногда встречаются также зернышки (порой оплавленные) хризоколлы.

Но в шлаке достаточно много и сульфидных руд. Во всех образцах встречен ковеллин (Рис. 9-1.4, 5). Он представлен обычно корольками, порой крупными, реже оплавленными зернами. В трех случаях выявлена кайма ковеллина вокруг малахита. Встречается ковеллиновая кайма вокруг отдельных корольков меди или куприта. Эта кайма явно вторичное образование, сформировавшееся в процессе плавки. Обнаружена ассоциация ковеллина с малахитом.

Первоначальное количество ковеллина было явно больше, так как в шлаке присутствует значительное количество корольков медного сульфида, сформировавшегося из ковеллина. Иногда фиксируется его расплав или каемки вокруг корольков меди, которые неплохо представлены в шлаке, что отражает прямое восстановление меди из этого сульфида. Встречаются относительно крупные корольки, а в единичных случаях зерна этого сульфида, порой крупных размеров. Отдельные зерна идут в ассоциации с купритом. Иногда они окружены купритовой каймой или мелкими корольками меди. Медь явно восстанавливается из этого сульфида непосредственно.

В одном образце с поселения Родниковое (№ 1348-1) встречены мелкие зерна халькопирита или частицы халькопирита в зерне малахита. Значительной роли в плавке этот минерал не играл и был лишь случайной примесью к основной руде в данном отдельном случае.

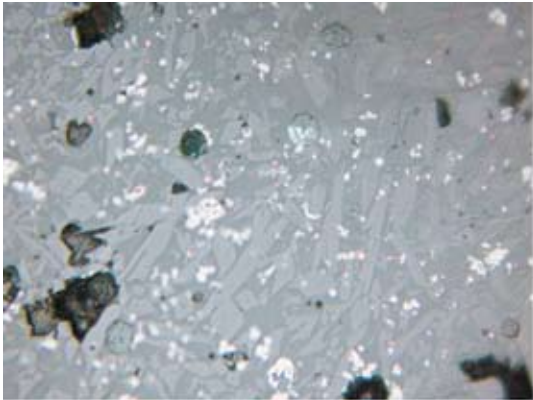
Описанные сульфидные минералы, малахит и куприт могут встречаться в одних зернах и корольках, и те и другие встречены в ассоциации с песчаником или кварцевыми частицами, следовательно, происходят они с одного месторождения или месторождений и не являются признаком целенаправленного формирования шихты из смеси окисленной руды и вторичных сульфидов. Это отражает именно специфику рудной базы, хотя целенаправленный выбор именно подобных месторождений исключать нельзя.

Куприта в шлаке сравнительно мало (рис. 9-1.6). Изредка он присутствует в виде зерен, но чаще расплавлен. Случай заполнения купритом трещины в шлаке может объясняться его поздним формированием в слое поселения. Но в некоторых случаях купритовое заполнение трещин соединяется с корольками куприта, следовательно, заполнение шло, когда эти корольки были расплавлены. Соответственно, затвердевание силикатной матрицы происходило иногда при температуре более высокой, чем температура плавления куприта, и на момент затвердевания расплав был очень кислого состава.

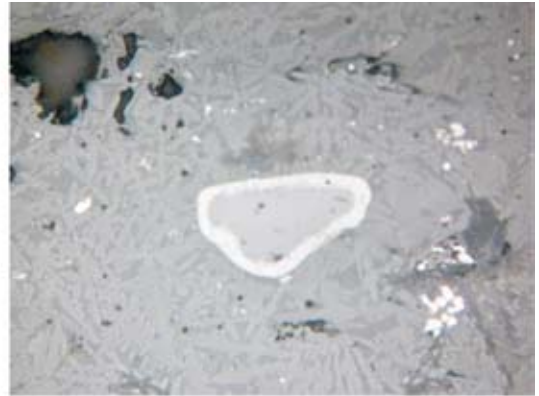
Иногда корольки куприта образуют скопления с медными, имеющими меньшие размеры. Следовательно, купритовые корольки сформировались в процессе плавки¹. Однако содержание куприта не столь значительно, что объясняется отсутствием ярко выраженной окислительной атмосферы плавки, благодаря активному использованию сульфидных руд.

В некоторых шлаках оливина кристаллизация не зафиксирована вовсе. Однако и в остальных она прошла достаточно слабо, что вполне объясняется преимущественно кислым химическим составом шлака. Оливин представлен в виде мелких зародышей кристаллизации или небольших игольчатых или призматических кристаллов, но во всех шлаках преобладают участки, на которых оливина кристаллизация отсутствует (рис. 9-II.1—4). Исключением является образец 1303-1, в котором оливин был основным включением в шлаке (до 60% участков), где он представлен в виде мелких игольчатых и призматических кристаллов. В некоторых образцах (№ 1303) зафиксировано, что количество кристаллов оливина больше в центральной части шлака (до 40% участка), хотя и там кристаллы достаточно мелкие. Кристаллы оливина разноориентированы, что указывает на то, что охлаждение шло с различных сторон. Поэтому в центре шлак остывал медленнее, позволяя лучше выкристаллизоваться оливины.

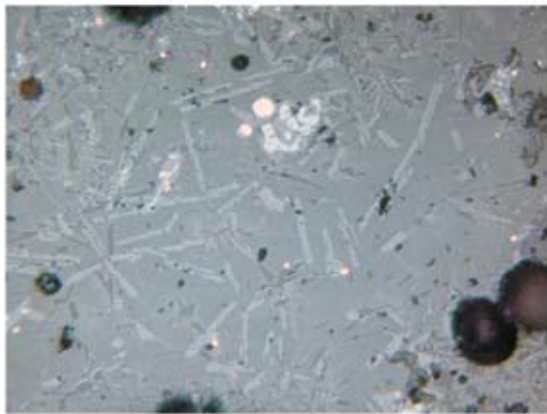
¹ Мы уже неоднократно касались того, что это сочетание является признаком формирования куприта в процессе плавки, а не в ходе последующего окисления меди.



1. — пос. Токское, обр. 1291, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: мелкие вытянутые призмы оливина (светло-серое) в стекляннй матрице темно-серая), между которыми присутствует сыпь мелких частиц магнетита и вюститита (светлые) и очень мелкие медные корольки



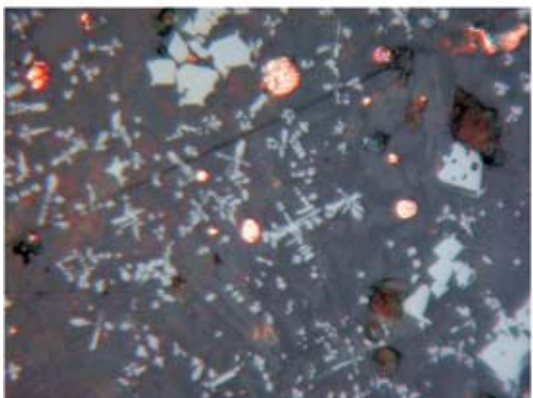
2. — пос. Токское, обр. 1291, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: мелкие призмы оливина (светло-серое) в стекляннй матрице темно-серая), между которыми присутствует сыпь мелких частиц магнетита и вюститита (светлые), в центре снимка зерно хромита в магнетитовой кайме, черное — поры



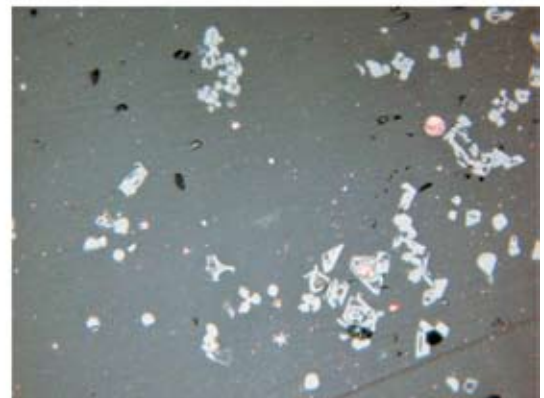
3. — пос. Ивановское, обр. 1304, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: крупные игольчатые скелеты оливина в стекляннй матрице, редкие медные корольки и поры (черные)



4. — пос. Покровское, обр. 1320, II мин. группа, длина снимка 0,46 мм: кристаллы оливина (светло-серые), дендриты магнетита (светлые) и мелкие корольки меди



5. — пос. Кузьминковское, обр. 1285, II мин. группа, длина снимка 0,54 мм: мелкие октаэдры, скелеты и дендриты магнетита, корольки меди; на фоне стекляннй матрицы слабо различима кристаллизация силиката, возможно, оливина



6. — пос. Ивановское, обр. 1304, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: крупные скелеты магнетита и корольки меди

Рис. 9-II. Микроструктуры шлака Оренбуржья

Как правило, оливин не зональный, светлый, вероятно, фаялитового состава. В одном случае (обр. 1304) видно, что он формируется вокруг частиц магнетита. Вторым компонентом при его образовании были силикаты расплава.

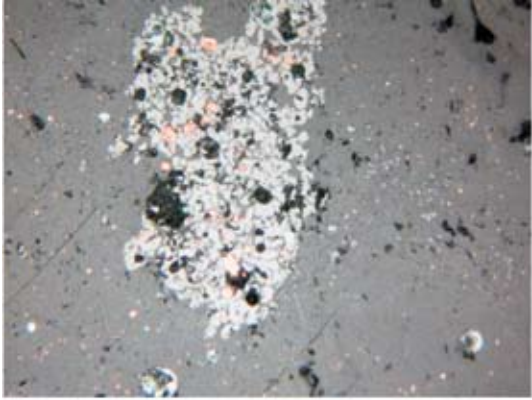
Магнетит представлен мелкой сыпью частиц, в том числе небольшими скелетами и дендритами, кристаллизующимися из расплава (рис. 9-II.1, 2, 4—6). В некоторых образцах наблюдается кристаллизация магнетита вокруг королек меди (обр. 1304, рис. 9-II.6). Иногда медные корольки могут быть сильно деформированы и заключены в октаэдр магнетита. Следовательно, последние успели неплохо выкристаллизоваться из расплава, а не являются результатом распада более крупных зерен. Но иногда встречаются плотные скопления частиц магнетита, распадающиеся из какого-то более крупного зерна. В отдельных случаях эти скопления даже сохраняют границу первичного зерна. В одном из таких скоплений (обр. 1307) присутствует много мелких королек меди (рис. 9-III.1). Это в очередной раз указывает на то, что железистые компоненты изначально присутствовали в исходной руде, а не добавлялись в качестве флюса.

Следует отметить, что кристаллизация магнетита осуществляется и при температурах более низких, чем точка его плавления, а наличие редких оплавленных зерен магнетита тоже не указывает на достижение этих температур, так как оплавление может происходить и за счет воздействия расплава.

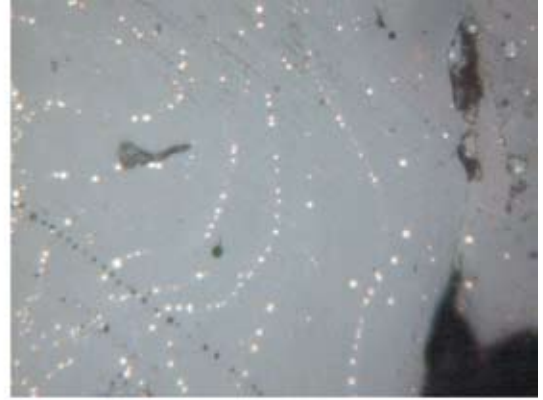
Во всех образцах зафиксированы зерна хромита (рис. 9-II.2). Однако это единичные (1—2 на образец) зерна маленького размера, и они не указывают на использование в плавку ультраосновных пород. Вероятно, они попали в шихту вместе с гидроокислами железа. Но для отдельных случаев можно допускать возможность попадания в плавку некоторого количества ультраосновных серпентинизированных пород. В образце 1291-1 Токского поселения у некоторых оливинов имеется зональная структура: отличаются более светлая внешняя кромка (более железистая часть) и более темный, более магнезиальный центр. Купритовые корольки в этом образце заполняют пространство между оливиновыми кристаллами, а трещины с купритом разделяют эти кристаллы. Следовательно, кристаллизация оливина происходила при более высокой температуре, чем температура плавления куприта. В данном случае мы вправе говорить о температуре не менее 1250—1300 °С, что выше температуры кристаллизации фаялита, следовательно в оливине действительно мог присутствовать магнезиальный компонент, но это, скорее, частный случай, который нельзя распространять на данную серию в целом. Вероятно, этот образец указывает на определенную неоднородность руды и наличие разных включений в песчанике.

В отдельных случаях медные корольки образуют очень плотные скопления, сохраняющие границы первичного рудного зерна (обр. 1304, 1308). Подобное прямое восстановление из малахита маловероятно. Скорее, восстановился вторичный сульфид. На прямое восстановление меди из этих сульфидов указывают и восстановление меди внутри крупного королька вторичного сульфида (обр. 1303-1), корольки меди в сульфидной кайме или корольки сульфида с включениями меди (обр. 1304, 1304-1, 1305). Зерна малахита обычно замещаются купритом, вокруг которого уже и идет восстановление меди (напр. обр. 1304). Медь может восстанавливаться и внутри расплава куприта (обр. 1307). В том же образце деформированные корольки меди восстановились непосредственно в кусках песчаника, который не успел расплавиться.

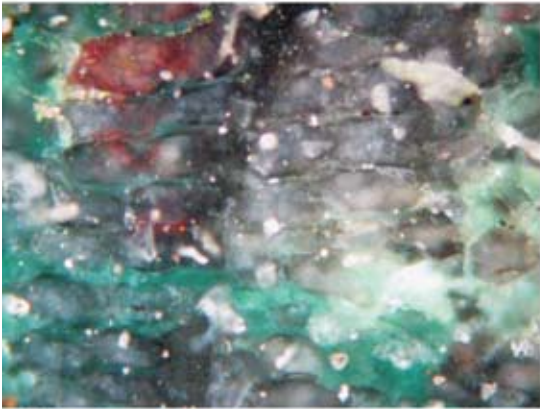
Но обычно медь представлена сравнительно редкими мелкими корольками. На некоторых участках наблюдается скопление королек, но размеры их очень незначительны, поэтому общее количество меди в шлаке невелико. В некоторых образцах стекло окрашено в красный цвет за счет очень мелких медных и купритовых включений, растворенных в расплаве. Иногда встречаются более крупные корольки. Корольки меди часто образуют скопления с корольками изотропного сульфида, реже с мелкими корольками



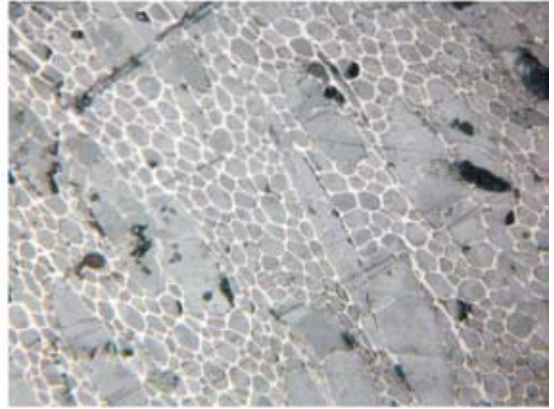
1. — пос. Ивановское, обр. 1307, II мин. группа, длина снимка 0,62 мм: скопление оплавленных частиц магнетита, образующее четкую границу первичного зерна. В нем включения мелких корольков меди и медного сульфида (голубые в верхней части зерна)



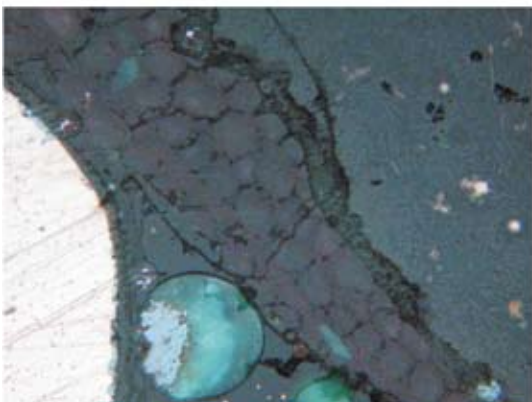
2. — пос. Кузьминковское, обр. 1283, II мин. группа, длина снимка 0,46 мм: изогнутые цепочки мелких медных корольков



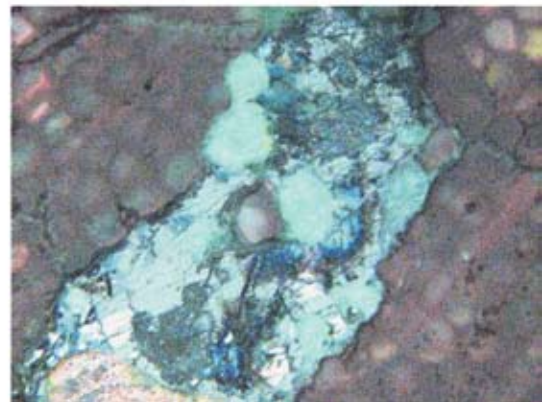
3. — пос. Покровское, обр. 1309, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: фрагмент песчаника с малахитовым цементом



4. — пос. Покровское, обр. 1312, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм: фрагмент песчаника



5. — пос. Покровское, обр. 1312, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: фрагмент песчаника (полоса по диагонали через снимок), малахит; слева крупный корольек меди, справа в стекле мелкие иглы делафоссита и медные корольки



6. — пос. Родниковое, обр. 1312, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: малахит и ковеллин в песчанике

Рис. 9-III. Микроструктуры шлака Оренбуржья

куприта. В некоторых образцах на участках, где оливиновая кристаллизация не фиксируется, присутствует больше мелких королек меди. Они могут образовывать изогнутые цепочки, указывающие на вязкость расплава (рис. 9-III.2). Особенно это характерно для участков более вязкого пористого стекла. Но для такого вязкого состава потери меди, в любом случае, невелики, что подтверждается и химическим анализом (таб. 9-7). В двух шлаках этой группы они менее 0,5% (обр. 1355, 1356), но это, как будет показано ниже, шлак, образовавшийся, в значительной степени, за счет обмазки. А в двух других шлаках (обр. 1285, 1304) эти потери (включая куприт и непереплавленную руду) составляют 5—6%.

Три образца шлака Родникового поселения несколько выбиваются из этой серии, поскольку в их формировании, вероятно, в большей степени принимала участие обмазка печи. Это сказалось и на химическом анализе данного шлака (таб. 9-7): в нем присутствует максимальное для этой серии содержание SiO_2 и Al_2O_3 , и минимальное Fe_2O_3 и меди. Два из этих образцов (№ 1355, 1356), представлены более пористым и легким шлаком, в которых очень слабо прорастает фаялитовая кристаллизация, и присутствуют редкие включения кварцевых зерен, магнетита, меди. Один образец является достаточно типичным шлаком, сформировавшимся на обмазке (№ 1351). Он имеет зональную структуру: нижняя его часть выпуклая, керамзитовая, выше располагается собственно шлаковая масса. В керамзитовой массе встречаются очень мелкие и редкие корольки меди, крупное зерно малахита и куприта, зернышки ковеллина, куприта. Это однозначно указывает на то, что шлак сформировался не в результате литья металла.

В нижней части шлаковой массы (на контакте с керамзитовой частью) присутствует расплав и корольки вторичного сульфида с купритом, зерна малахита, мелкие призм оливина, корольки куприта. Корольки меди очень мелкие и чаще встречаются в местах скопления сульфида и куприта. Оливин на некоторых участках отсутствует, на других представлен иголками. Его много, но он сравнительно мелкий. Есть участки относительно чистого стекла. Иногда встречаются очень мелкие зародыши магнетитовой кристаллизации, но это не слишком типично. Ближе к верхней части шлака резко уменьшается количество рудных включений и меди и несколько уменьшается размер иголок оливина.

Формирование подобной структуры в тигле сомнительно: для этого он должен быть очень сильно расплавлен. Речь должна, следовательно, идти об обмазке печи, и плавка руды велась непосредственно в печи, а не в тигле.

Таким образом, руда представлена гидроокислами меди (малахит, изредка азурит) из медистых песчаников. Поэтому расплав был насыщен силикатным компонентом. Вместе с тем, в плавке принимали участие железные оксиды. У нас нет оснований для утверждений о том, что этот компонент был добавлен в качестве флюса, больше свидетельств в пользу того, что железистые включения присутствовали иногда в исходной руде. Кроме того, в руде было достаточное количество вторичных сульфидов: ковеллина, реже халькозина. Присутствие сернистых минералов позволило в течение большей части плавки поддерживать восстановительную атмосферу в печи. Благодаря этому происходит формирование фаялитового расплава, а купритизация минимальна. Кристаллизация фаялита и расплавленный куприт указывают на то, что температура плавки находилась в пределе 1200—1300 °С.

Плавка велась, по-видимому, не слишком продолжительное время, во всяком случае, в зоне высоких температур. В результате, в шлаке достаточно часто присутствует ковеллин, сохранивший серу, и не перешедший в более типичный для шлаков сульфид.

Плавка велась, вероятно, непосредственно в печи, а не в тигле. На это указывает то, что в центре образцов фаялитовая кристаллизация прошла лучше, а кристаллы фаялита имеют различную ориентацию. На то же указывает исследованный фрагмент обмазки.

Не вполне ясно, насколько быстро снижалась температура в печи. С одной стороны, кристаллы оливина имеют маленькие размеры, что может указывать на быстрое остывание, но с другой — причина этого может быть в недостатке железистого компонента. Однако, как показывает химический анализ шлака Ивановского поселения, баланс SiO_2 и Fe_2O_3 был вполне достаточен для формирования фаялита (таб. 9-7). Магнетит мог не перейти в фаялит по той причине, что необходимой стадией для этого является формирование вюстита. А в определенный момент плавки, после выгорания большей части серы из сульфидов, формирование вюстита могло быть затруднено. Поэтому слабая кристаллизация фаялита не отражает конструкцию печей или выпуск шлака.

В целом о плавке можно говорить, как о вполне технологичной. Металл неплохо отделился от шлака и его потери невелики.

Минералогическая группа IV

Это наиболее представительная минералогическая группа шлака в данной выборке, и она связана здесь с плавкой руды из медистых песчаников. В принципе, в силу единства происхождения сырья и близости технологии, микроструктуры этой минералогической группы очень близки вышеописанной группе II. Отличия наблюдаются лишь в степени окисления данного шлака.

Маркером происхождения руды из медистых песчаников здесь тоже являются фрагменты песчаника в шлаке и мелкие кварцевые зерна. С песчаником явно связано орудование, поскольку руда располагается между зернами песчаника (рис. 9-III.3—6; 9-IV.1). Обращает на себя внимание то, что фрагменты песчаника обнаружены в тех же образцах, где присутствуют изредка встречающиеся, как и в предыдущей группе, зерна хромита, что вновь подтверждает уже высказанную мысль о том, что в данном случае зерна хромита не могут выступать в качестве маркера происхождения руды из ультраосновных пород.

Оливиновая кристаллизация выражена крайне слабо. В ряде образцов она не прошла вовсе (например, во всех шлаках поселения Съезжее), в других оливин представлен лишь на некоторых участках зародышами кристаллизации и мелкими иголками. Магнетит в шлаке встречается в виде мелких скелетов или скелетных дендритов, кристаллизующихся из расплава, или небольших октаэдров и частиц, формирующихся за счет распада более крупных зерен (рис. 9-IV.2—6). Магнетит обычно не оплавлен.

Рудные минералы представлены достаточно хорошо, прежде всего, малахитом. Малахит присутствует в виде зерен округлой формы или мелких включений в песчанике, цемента между отдельными зернами песчаника (рис. 9-III.3, 5, 6; 9-IV.1, 3, 6; 9-V.1, 2). Вместе с тем, в шлаке выявлены сульфидные минералы (рис. 9-III.1, 6; 9-IV.3—5; 9-V.2, 3).

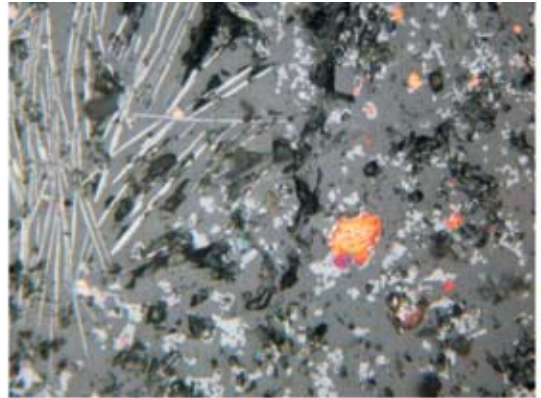
Основным сульфидным минералом, поступавшим в плавку, был, по-видимому, ковеллин. Ковеллин представлен в шлаке в виде оплавленных зерен, но чаще расплавленных корольков. Изотропный медный сульфид встречается обычно в виде корольков, хотя иногда присутствуют и его оплавленные зерна. Халькозин встречается реже, в виде расплава, реже оплавленных зерен. Однако, вероятно, в исходной руде он присутствовал. Иногда эти сульфиды образуют каемки вокруг малахита, куприта или корольков меди.

Вторичные сульфиды, по-видимому, изначально присутствовали в исходной руде вместе с малахитом. Специальная компоновка шихты из двух типов руд не производилась. На это указывают неоднократно отмеченные ассоциации ковеллина (реже халькозина) с малахитом. Ковеллин преобразуется в куприт, но иногда фиксируется прямое восстановление из него меди.

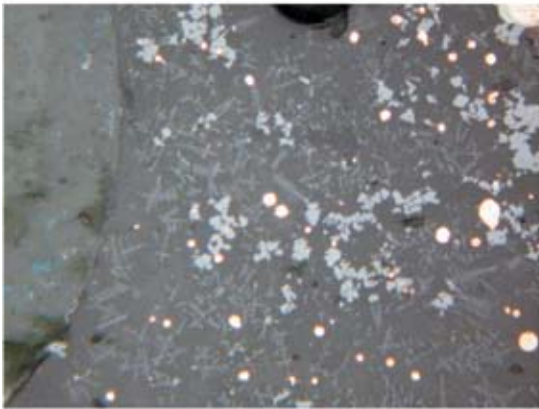
Соотношение малахита и сульфидных минералов было в разных шлаках различно, что сказалось на их микроструктуре. В шлаках с преобладанием окисленной руды потери меди в виде куприта значительно выше.



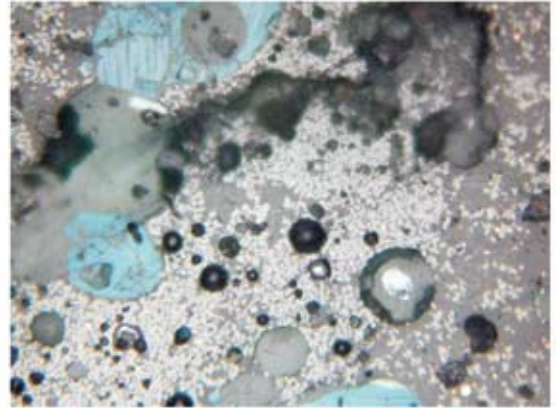
1. — пос. Ивановское, обр. 1305, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм: мелкие иглы делафоссита, медь и малахит в пространстве между фрагментами песчаника



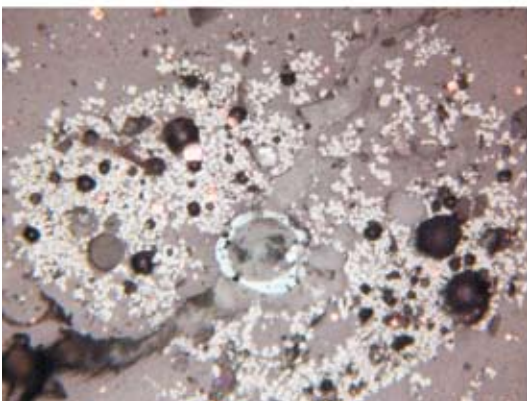
2. — пос. Нижнепавловское, обр. 1286, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм: октаэдры и скелеты магнетита (светлые), корольки меди и иглы делафоссита. Некоторые медные корольки бесформенные, вокруг них образуется магнетит



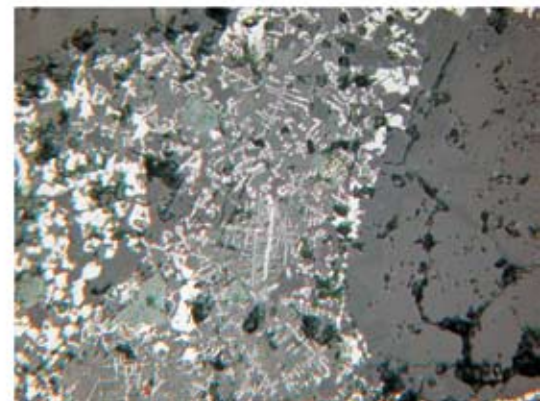
3. — пос. Ивановское, обр. 1305, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм: частицы, скелеты и дендриты магнетита (светлые), корольки меди в стекле; слева крупное зерно малахита с мелкими включениями ковеллина (голубые). Отдельные медные корольки (в правом верхнем углу) имеют тонкую сульфидную кайму



4. — пос. Покровское, обр. 1325, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм: скопление частиц магнетита, сохраняющее форму первичного распадающегося зерна, с включениями мелких корольков меди. Зерна ковеллина (голубые) и малахита (серо-зеленоватое слева между зернами ковеллина), поры (черные)

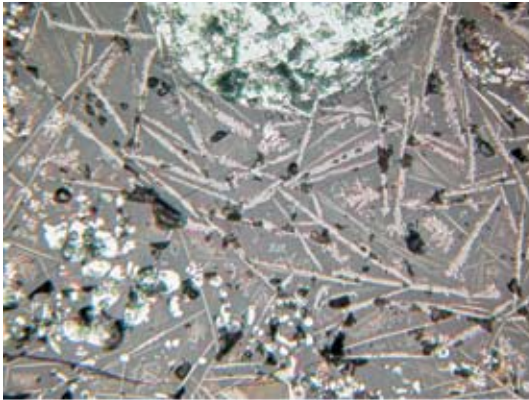


5. — пос. Покровское, обр. 1325, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм: в скоплении частиц магнетита, распадающихся из зерна, круглое зерно хризоколлы в ковеллиновой кайме и корольки меди

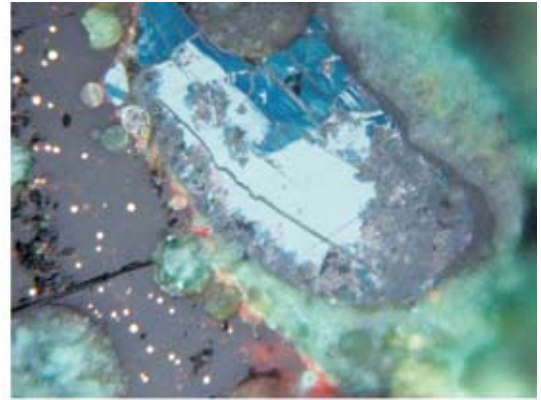


6. — пос. Родниковое, обр. 1347, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм: зерна кварца (темно-серые справа и слева сверху), между которыми присутствуют частицы, скелеты и дендриты магнетита (светлые) и небольшие зерна малахита (зеленоватые)

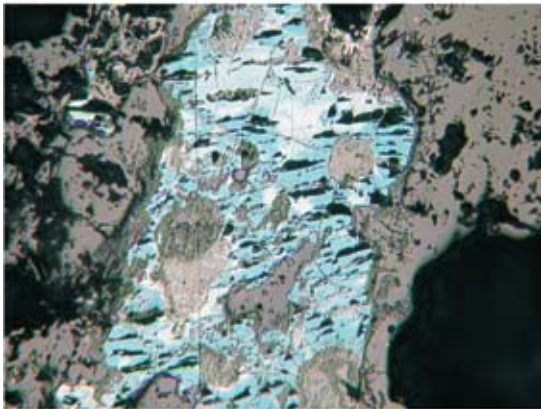
Рис. 9-IV. Микроструктуры шлака Оренбуржья



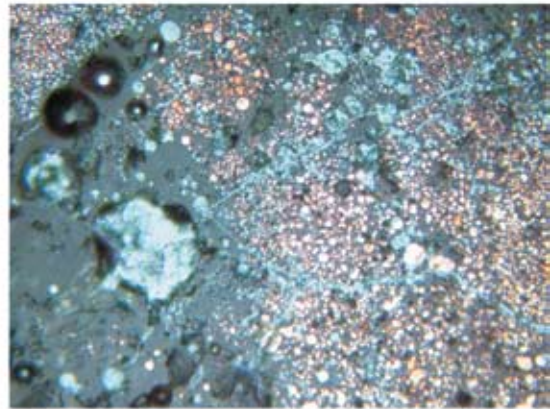
1. — пос. Покровское, обр. 1311, IV мин. группа, длина снимка 0,54 мм: крупное зерно малахита (светло-зеленое), корольки куприта (светлые) и иглы делафосита, по плоскостям которых и рядом прорастают дендриты куприта



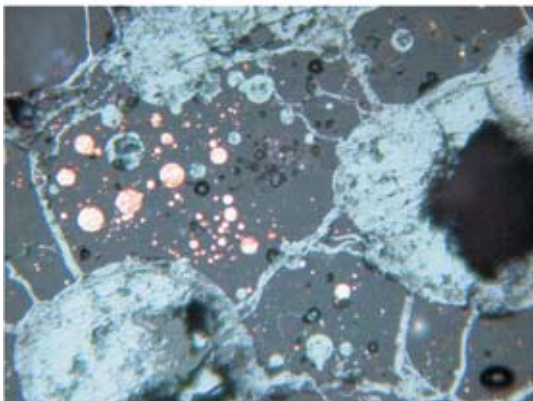
2. — пос. Покровское, обр. 1313, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: крупное зерно ковеллина (голубое), заключенное в зерно малахита (светло-зеленое); рядом в стекле мелкие медные корольки



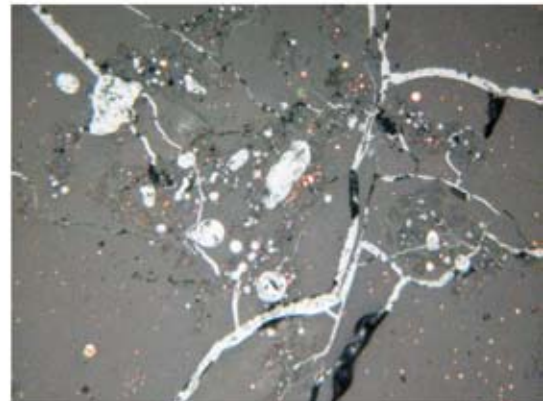
3. — пос. Родниковое, обр. 1352, IV мин. группа, длина снимка 1,55 мм: крупное зерно ковеллина



4. — пос. Кузьминковское, обр. 1280, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм: Скопление корольков меди, корольков и зерен куприта (голубой). Куприт заполняет и трещины в стекле



5. — пос. Родниковое, обр. 1331, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм: скопление корольков меди и крупных корольков куприта (голубой), заполняющего трещины



6. — пос. Родниковое, обр. 1332, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм: мелкие корольки меди, крупные корольки и заполнение трещин купритом

Рис. 9-V. Микроструктуры шлака Оренбуржья

Куприт присутствует во всех образцах (рис. 9-V.1, 3—6). Возле скоплений зерен малахита и меди его заметно больше. Стекло на таких участках может иметь красноватый оттенок (рис. 9-VI.1—3). Встречаются корольки меди в купритовой кайме, причем, не вторичной, а сформированной в процессе плавки, что заметно по купритовым королькам, примыкающим к этой кайме. Расплав куприта часто окружает зерна малахита. После расплавления они переходят в куприт, уже потом идет восстановление меди.

Часто корольки куприта имеют правильную округлую форму, но во многих шлаках они деформированы. Следовательно, часто температура плавки превысила температуру расплавления куприта, произошел его перегрев, что позволило оформиться правильным королькам.

Куприт встречен в трещинах в стекле, часто заполнение трещин соединено с корольками куприта. Это указывает на то, что застывание стекла порой происходило до того, как застыл куприт, или при достаточно близкой температуре.

В отдельных образцах зафиксированы дендриты куприта (рис. 9-VI.4—6; 9-VII.1, 2, 4). Иногда заметно, что они формируются в районе корольков меди. Сформировались они в процессе остывания расплава, до того как шлак начал затвердевать. В одном из образцов трещина усадки вокруг крупного медного королька разделяет уже сформировавшиеся дендриты.

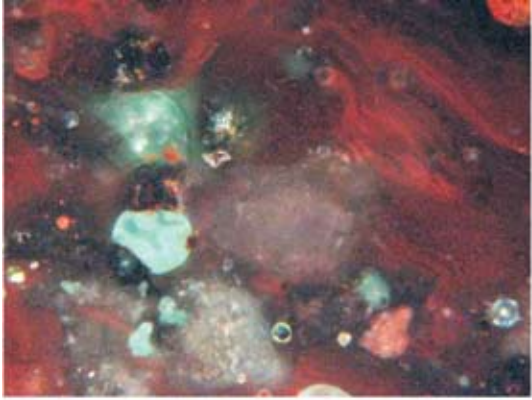
В шлаках поселения Покровское содержание куприта, хотя и велико, но не чрезмерно. В шлаке же Съезжего его несопоставимо больше. Причем корольки куприта в нем обычно сильно деформированы, что указывает на вязкость расплава.

В стекле шлака из Нижнепавловского и в ряде шлаков Покровского и Съезжего фиксируется много иголок делафоссита, между которыми прорастают дендриты куприта и фиксируются небольшие скопления гидроокислов железа (рис. 9-VI.5, 6; 9-VII.1—5). Часто дендриты куприта формируются вдоль плоскостей делафоссита. Иногда иглы делафоссита изогнуты (обр. 1309, 1311, 1313 с Покровского). В образце 1312-1 отчетливо видно, что делафоссит формируется тогда, когда кристаллы оливина уже сформировались. Застывание делафоссита происходит при температурах 1175—1200 °С (Трофимов, Михайлов, 2002, рис. 2), и ситуация соответствует несколько более высоким температурам, при которых происходит кристаллизация оливина.

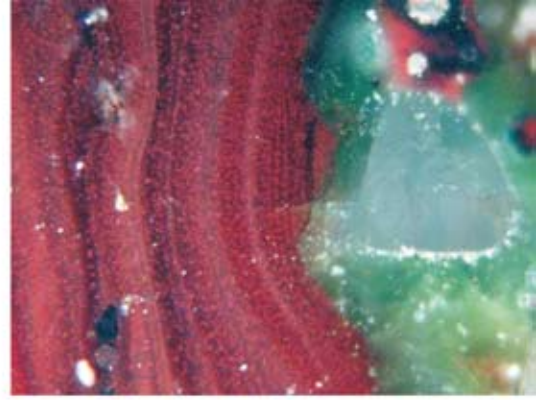
В шлаке хорошо представлены корольки меди (9-VII.6). Изредка они образуют скопления с четко выраженными границами — результат расплавления куска руды. В некоторых образцах в стекле содержится большое количество растворенных меди и куприта, в результате чего стекло окрашивается в красный цвет, что наиболее заметно в скрещенных николях. Иногда эта окраска идет изогнутыми полосами. На таких участках встречаются также изогнутые цепочки из корольков меди (9-VII.6). Это указывает на значительную вязкость расплава. Однако, за исключением отдельных образцов, количество меди не слишком велико. Несмотря на количество корольков, они очень мелкие, и общее содержание меди обычно не превышает 5—8%. Естественно, за счет куприта и руды реальные потери металла были выше, что подтверждается и химическими анализами, которые для этой группы шлака показали содержание меди в пределах 5—30% (таб. 9-7, обр. 1303, 1318, 1333, 1344).

Таким образом, в плавку поступала окисленная руда из медистых песчаников. Атмосфера плавки окислительная (в некоторых шлаках, например, Покровское, умеренно-окислительная), железистые флюсы не применялись. Отдельные железистые включения связаны, вероятно, с рудной породой. В результате, формировался очень вязкий расплав, в котором сохраняется много меди и куприта.

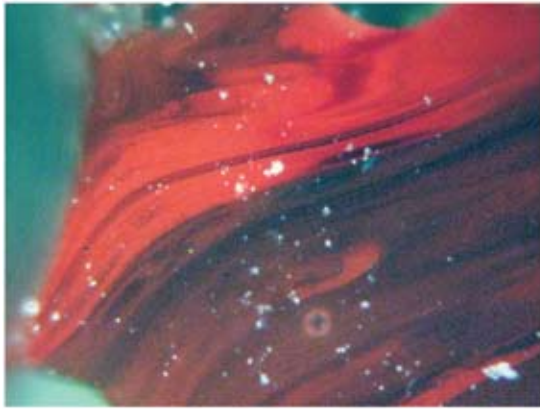
Застывание расплава происходило, видимо, достаточно быстро. Температура была близка к температуре плавления куприта. Вероятным температурным диапазоном является 1200—1300 °С. От минералогической группы II данная группа отличается лишь



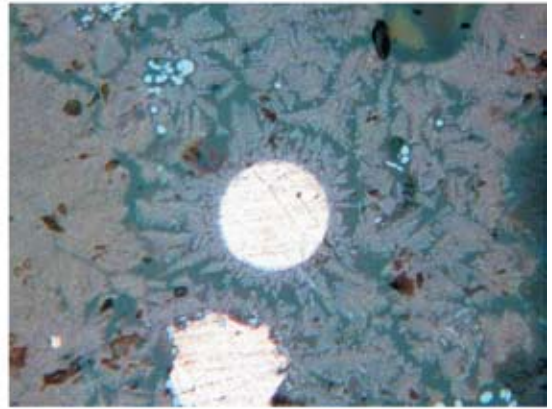
1. — пос. Токское, обр. 1294, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: полосы из мелких корольков меди и куприта, окрашивающие шлак в красный цвет, мелкие округлые зерна малахита и хризоколлы (зеленые)



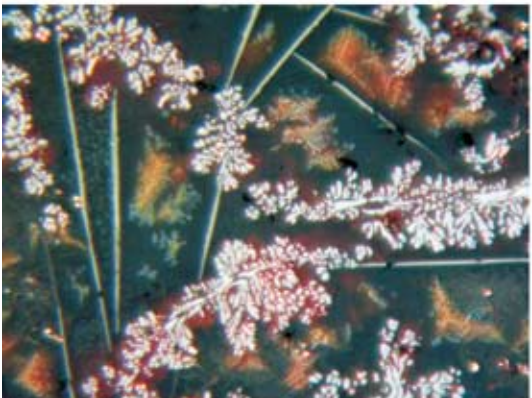
2. — пос. Покровское, обр. 1322, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: полосы из мелких корольков меди и куприта, справа зерно кварца с хризоколлой



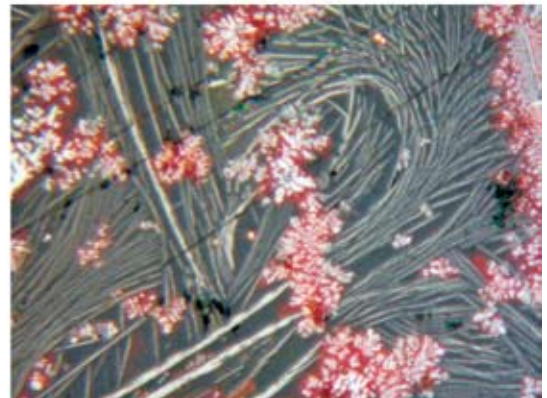
3. — пос. Родниковое, обр. 1346, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: полосы из мелких корольков меди и куприта



4. — пос. Покровское, обр. 1310, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: формирование дендритов куприта вокруг королька меди

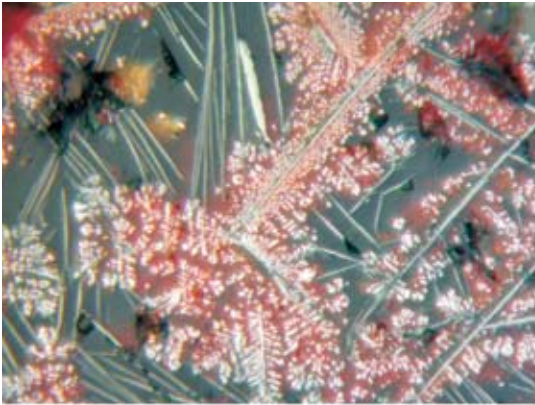


5. — пос. Покровское, обр. 1311, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: дендриты куприта и иглы деляфоссита

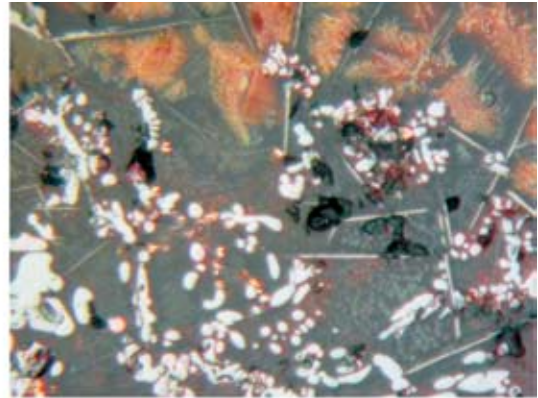


6. — пос. Покровское, обр. 1311, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: дендриты куприта и иглы деляфоссита

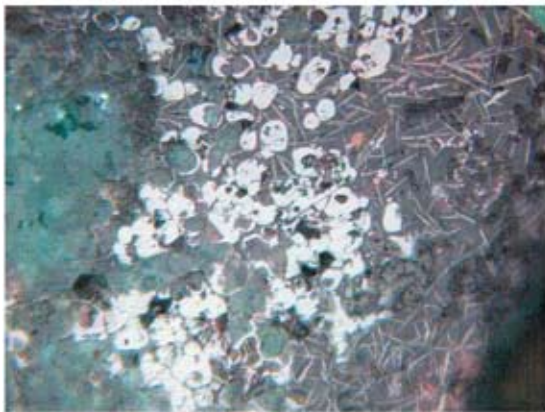
Рис. 9-VI. Микроструктуры шлака Оренбуржья



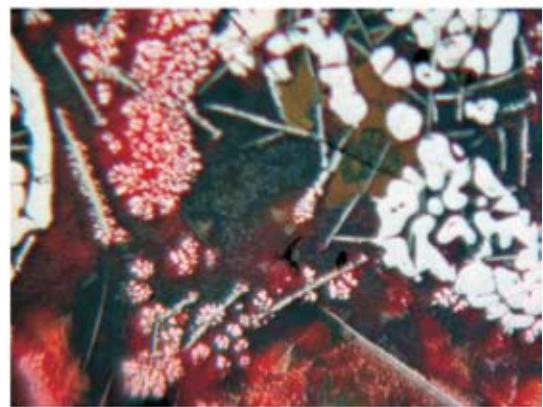
1. — пос. Покровское, обр. 1311, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: дендриты и деформированные корольки куприта и иглы делафоссита



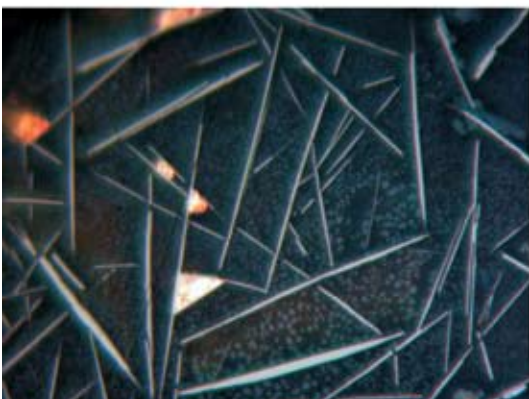
2. — пос. Покровское, обр. 1311, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: дендриты и деформированные корольки куприта и иглы делафоссита



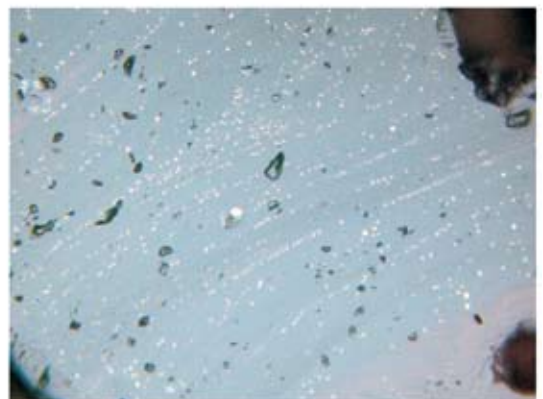
3. — пос. Покровское, обр. 1312, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм, николи скрещены: распадающиеся малахитовые зерна (зеленоватые), корольки куприта и иглы делафоссита



4. — пос. Покровское, обр. 1319, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: дендриты и расплав куприта и иглы делафоссита



5. — пос. Покровское, обр. 1319, IV мин. группа, длина снимка 0,46 мм, николи скрещены: иглы делафоссита и медь



6. — пос. Токское, обр. 1292, IV мин. группа, длина снимка 0,62 мм: мелкие корольки меди иногда образуют тонкие изогнутые цепочки

большой степени купритизации, что вызвано меньшим использованием сульфидных руд при принципиально той же технологии. В результате это приводило к большим потерям металла в шлаке.

Судя по имеющимся публикациям, подавляющее число шлаков поселения Горный на Каргалинских рудниках относится именно к этому типу, и демонстрирует весьма близкие структуры. Археометаллургические исследования руды, шлаков и металла поселения Горный были осуществлены Сальвадором Ровирой (Rovira, 1999; Ровира, 2004)¹. Анализы рудных минералов с поселения показали их насыщенность SiO_2 и бедность окислами железа и кальция. Количество оксидов меди в руде колеблется, как правило, в пределах 20—80% (Rovira, 1999, Tab. 1). Содержание CuO в шлаке варьирует от 0 до 46%, но в среднем составляет 11% (Rovira, 1999, Tab. 3), что близко минералогическому типу IV. Около трети образцов отнесены к диапазону 0—5%, треть — 5—10%, и треть более 10% (Rovira, 1999, Fig. 2). Причина столь высоких потерь была не только в высокой вязкости, но и в окислительной атмосфере плавки. Минералогическое исследование выявило микроструктуры, весьма типичные для плавок окисленных руд в условиях окислительной атмосферы. Шлак насыщен корольками меди и куприта, иглами делафосита и дендритами куприта. Лишь в двух образцах отмечена хорошая кристаллизация фаялита. В некоторых образцах обнаружены включения сульфидов, но они не были ведущими компонентами в плавке и сформировались, вероятно, в результате распада барита и последующего соединения серы с медью (Rovira, 1999, p. 94, 96, Tab. 4).

Существуют этнографические параллели таким потерям меди в шлаке. Metallурги народности Йоке в Конго флюсами не пользовались, и на 50 кг загрузки получали 12—15 кг меди. Так как в малахите содержится 55% меди, то потери составляли 40—50% (Bisson, 2000, p. 97).

Построение термальной диаграммы CaO—FeO—SiO_2 позволило выделить три группы шлака, различающиеся по температурному диапазону: 1400—1600 °С, 1200—1400 °С, 1100—1200 °С. Почти все пробы находятся в первых двух группах. Однако, по нашему опыту, иногда диаграммы демонстрируют более высокие температуры, что объясняется термодинамическими процессами и воздействием расплава. Поэтому вывод Ровиры о том, что температуры колебались, в основном, в пределах 1200—1400 °С (Rovira, 1999, Fig. 3, p. 94, 97) представляется вполне правомерным, хотя в какие-то моменты плавки достижение более высоких температур было вполне возможно². Это соответствует той картине, которая здесь реконструирована на остальной оренбургской выборке. Однако в последующей публикации С. Ровира скорректировал данный вывод и предпочел говорить о температурах около 1100 °С (2004, с. 120). Но это основано на представлении о том, что куприт расплавлен и плавится он при температуре 1080 °С. Однако температура плавления этого минерала значительно выше.

Достижение столь высоких температур, как справедливо отмечает Е. Н. Черных, невозможно без принудительного дутья. Однако на поселении Горный обнаружено лишь

¹ Я очень признателен Сальвадору Ровире за его очень скорый ответ на мои вопросы относительно его первой статьи. Их было достаточно много, так как статья была написана по-испански, и я не был уверен, что мне удалось понять ее дословно и вполне правильно. Мне придется ее касаться, несмотря на наличие более поздней публикации, так как там, и в последующем обсуждении содержались достаточно ценные мысли.

² С. Ровира объясняет наличие шлаков, лежащих в высокотемпературной области, тем, что он использовал для построения термальной диаграммы общий анализ шлака, что не вполне оправданно из-за присутствия значительного количества нерасплавленных, в первую очередь, силикатных компонентов. Их попадание в пробы и вызвало данную группу. Более правильно, по его словам, строить диаграммы по микроанализу расплавленных компонентов. Мы проделывали такую работу с синташтинским шлаком, и результаты были несравненно более устойчивые. Однако в отдельных случаях пробы показывали более высокие температуры.

два фрагмента, которые с большой долей условности могут быть отнесены к соплам, что не соответствует представлениям о масштабном производстве на Каргалах. И это повсеместная ситуация, хотя по сравнению с тиглями и литейными формами они более устойчивы к эксплуатационным нагрузкам (Вальков, Кузьминых, 2000, с. 73—75). Поэтому некоторые исследователи предполагают, что сопла использовались в металлообработке, где важна направленность дутья, а металлургический процесс мог ограничиваться естественным поддувом ветра (Вальков, Кузьминых, 2000, с. 77). Однако тогда можно задаться вопросом — почему в раскопах редко представлены сопла для металлообработки — производства гораздо шире распространенного? Почему столь редки находки тиглей и литейных форм, разрушавшихся гораздо чаще, чем сопла, к тому же литейных форм требовалось намного больше? Ссылка на экспериментальные работы по выплавке железа не вполне правомерна. Наши работы с медной рудой показали, что без интенсивного направленного дутья этот процесс вести очень затруднительно.

Минералогическая группа VI

Шлаки этой минералогической группы зафиксированы только на поселении Попово Озеро. В шлаке, за исключением нескольких образцов, относительно хорошо выкристаллизовался оливин. Он образует призмы различных размеров, удлиненные скелеты, дендриты. В некоторых образцах (№ 340, 342, 343) оливиновая кристаллизация прошла хуже или не прошла вовсе.

Магнетит представлен мелкими октаэдрами. Хорошо представлены сформировавшиеся, часто оплавленные дендриты вюстита. Зафиксирован также расплав вюстита. Иногда расплав вюстита или октаэдры магнетита смешаны с расплавом сульфида меди. Вероятно, это отражает формирование вюстита и магнетита из первичного сульфида. Вместе с тем, встречаются относительно крупные тела магнетита. Поэтому часть октаэдров магнетита формируется на их основе. Иногда внутри магнетита восстанавливаются частицы меди. Часто они имеют оплавленную форму или даже образуют корольки, повторяя форму магнетитовых частиц, в которых они сформировались. В одном случае зерно железа окружено каймой магнетита, за которой идет образование гематита. Вероятно, кислород, покидающий железо, обогащает поверхностный слой магнетита.

Частицы восстановленного железа представлены в шлаке достаточно хорошо, что указывает на восстановительную атмосферу. Иногда частицы железа имеют примесь медного оттенка. Встречаются и более светлые корольки меди. Вероятно, здесь мы имеем дело с разными формами сплавов меди и железа. В отдельных образцах (№ 337) «чистые» корольки меди просто отсутствуют. Встречаются зерна, содержащие сульфид, куприт, магнетит и железо, что объясняет формирование подобных соединений. Иногда частицы меди присутствуют в восстановленных частицах железа. В некоторых шлаках корольки меди есть, но потери ее в шлаке, в целом, незначительны.

Медь часто восстанавливается по куприту, но может образовываться и из изотропного сульфида меди. Обнаружены зерна пирита, содержащие медь, что указывает на возможное ее получение непосредственно из халькопирита.

Изредка в шлаке присутствуют зерна хромита, но оруденение связано с кварцем. Некоторые зерна его, видимо, высокотемпературные. Многие расплавляются, образуя участки кварцевого стекла.

Из рудных выявлены малахит и хризоколл (обр. 339), но в общей массе руды их доля была весьма незначительной. Основу составляли сульфидные минералы меди.

Наиболее распространен изотропный сульфид, образующий корольки, расплавы и зерна в ассоциации с другими минералами (магнетитом, медью, купритом, халькопиритом, пиритом). Часто он замещается по краю купритом, а внутри медью. В принципе, он мог образовываться из ковеллина и халькозина. Однако ни одного королька этих

минералов в шлаке не выявлено, что объясняется их достаточно легким перерождением. Зато хорошо зафиксированы зерна халькопирита, реже пирита. Не исключено и первоначальное присутствие борнита.

Таким образом, в плавку поступал, главным образом, халькопирит из кварцевых пород. Это и давало железистый компонент. Оплавленный магнетит не может указывать на высокие температуры плавки, поскольку сформировался он, видимо, из вюстита. Состав шлака был оптимальный, вязкость незначительная. Потери металла (за редким исключением) невысоки. Шлак остывал медленно, в печи, в условиях восстановительной атмосферы. Видимо, дутье снижалось постепенно, поскольку кристаллизация магнетита и оливина прошла хорошо. В этих условиях восстанавливались медь и железо, и последнее могло даже выступать в качестве незначительного попутного продукта. Медь, видимо, протекала на самый под печи, шлак протекал тоже, располагаясь над медью, а в верхней части локализовались частицы железа. Часть из них оставалась в шлаке.

Здесь уместно вспомнить, что Е. Н. Черных, анализируя металл из Сосновомазинского клада, в котором было выявлено от долей процента до 5% железа, отмечал невозможность использования железа в качестве искусственной лигатуры в силу его тугоплавкости, и предполагал, что эти аналитические данные могут фиксировать начало эксплуатации первичных сульфидных месторождений (Черных, 1970, с. 18, 19). Наши аналитические данные по шлакам эпохи поздней бронзы подтверждают данный вывод.

Проблема флюсов

На основе анализа четырех образцов руды и шлака с поселения Михайло-Овсянка рентгендифракционным методом (RFD) и плазменно-оптической эмиссионной спектроскопией (ICP-OES) было показано, что рудой являлся малахит с примесью азурита, кварца и кальцита. Содержание меди в руде составляло 40,75%. Сделан вывод об отсутствии данных о добавках или легировании и о том, что шлаки соответствуют местной руде (Garner, 2010, S. 17, 18, Tab. 1).

Однако внимательное рассмотрение приводимых анализов заставляет сомневаться в этом выводе. В образцах руды барий не содержится, в то время как в шлаке его содержание составляет 1—2%. Это указывает, вероятно, на преднамеренные добавки. Большинство компонентов в шлаке, по сравнению с рудой, действительно принципиально не изменяется, но значительно растет содержание кремнезема (SiO_2) и железных оксидов (Fe_2O_3). И если рост кремнезема от 2—13% до 33—52% можно объяснить отчасти удалением кварца при подготовке руды, отчасти металлургическим переделом в случае использования очень богатых руд, то рост оксидов железа от 1—5% до 24—52% слишком значителен, и позволяет ставить вопрос о флюсовании оксидами железа или допускать, что вместе с ними поступал барит, и флюсование было, тем самым, комплексным. Вероятно, этим, объясняется сравнительно низкая вязкость шлака этого поселения, что привело к формированию близких синташтинским шлаковых лепешек.

По Оренбуржью, как мы видели выше, у нас нет данных о железистых флюсах. Железистые включения связаны были с рудонесущей песчаниковой породой. Тот же вывод сделал и С. Ровира, сопоставив анализы руды поселения Горный с анализами шлака. Равным образом он отвергает возможность добавок кальция, который хорошо представлен в каргалинском шлаке, объясняя это либо его переходом из руды, либо из золы (Ровира, 2004, с. 115). В наших шлаковых образцах содержание кальция колебалось от 4,34 до 13,03% (таб. 9-7). Однако наши экспериментальные работы зафиксировали незначительный рост содержания кальция в шлаке по сравнению с рудой. В большей степени из золы переходит калий. А его содержание в исследованном нами шлаке колеблется в пределах 0,46—4,1%. Это позволяет допускать использование каких-то

компонентов, содержавших кальций, для создания более жидкого шлака. Таковыми, в принципе, могли быть мелкодробленые кости животных. Но эти размышления не могут рассматриваться в качестве решения проблемы, поскольку анализы шлаков, полученных при экспериментальных плавках каргалинской руды, тоже демонстрируют в ряде случаев более высокое содержание СаО. А добавки, содержавшие кальций, в шихте не употреблялись (Rovira, 1999, Tab. 9).

Высокие концентрации бария в шлаке требуют особого обсуждения. Е. Н. Черных объяснял его присутствие в каргалинской меди специальными добавками сульфата бария, необходимыми для того, чтобы сера соединялась с кислородом окисленных каргалинских руд, что способствовало восстановлению меди (Черных, 1997, с. 62, 63). Исследования С.Ровиры шлаков, руды и металла поселения Горный показало, что более высокие концентрации бария часто содержатся в рудных минералах и шлаках, редко встречаются в медных включениях, заключенных в шлаке, типичны для слитков меди и редки для изделий. Следует отметить, что экспериментальные плавки каргалинской руды тоже дали в ряде случаев шлаки с повышенными концентрациями бария (Rovira, 1999, Tab. 1, 3, 4, 6, 7, 9). Данная ситуация имеет следующее объяснение¹. Барий изначально присутствовал в каргалинской руде. Он растворяется в расплавленной меди при низкой температуре 1100 °С. Поэтому в меди можно ожидать присутствие какого-то количества бария. Но анализы меди в шлаке сделаны с помощью сканирующего электронного микроскопа, который не может определить низкие значения элементов (до 0,2%). При последующих переплавках барий окисляется и переходит в шлак, чем объясняется его редкость в изделиях. Поэтому более высокие концентрации бария были связаны все же с рудой, а не со специальными добавками. Один из образцов этой руды был нами отослан на анализ в Activation Laboratories Ltd., в Канаде (Таб. 9-8). Этот образец демонстрирует концентрации бария, чуть превышающие 5%.

Выше мы упоминали, что рост содержания бария в шлаке по сравнению с содержанием его в руде наблюдается на поселении Михайло-Овсянка, где безусловно в плавку поступала местная руда. На других поселениях Поволжья барий в шлаке отсутствует. Исключением является Съезжее, наиболее близко расположенное к оренбургской зоне (таб. 9-13). Именно благодаря этому поселению в исследованных шлаках Поволжья средняя концентрация бария составляет 0,47%, а если шлаки Съезжего не учитывать, то на остальных памятниках эта концентрация составляет 0,04%. В Оренбуржье ситуация принципиально иная. Здесь среднее содержание бария достигает 1,42%, причем эта примесь характеризует шлак поселений, как на западе, так и на востоке, вблизи Каргалинских рудников (таб. 9-12).

Таб. 9-12

Среднее содержание бария в шлаке оренбургских поселений

Поселение	Ва (%)
Нижнепавловское	0,364
Родниковое	1,24
Ивановское	1,25
Кузьминковское	1,65
Покровское	1,69
Токское	2,6
Съезжее	2,63

На Нижнепавловском поселении значительная часть шлака оказалось обмазкой, что и дало суммарно такие низкие значения содержания бария. Причем, связь более высоких

¹ Я хотел бы выразить свою глубокую признательность Сальвадору Ровире, который подробнейшим образом объяснил мне смысл этих, на первый взгляд, противоречивых результатов.

Таб.9-13

Спектральный анализ шлака и руды с памятников Поволжья и Оренбургского Приуралья (%)

Памятник	Материал	Но-мер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Шигонское	шлак	325	0,003	0,0003	0,001	0,3	0,0015	0,05	<0,0005	0,00015	0,3	0,03	0,005	0,0005	0,0005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,01	0,01	<0,001	<0,0005	0,00005	0,001	0,0015	<0,001	<0,0001
Шигонское	шлак	326	0,0015	0,0003	0,002	1	0,003	0,2	0,0005	0,00015	0,03	0,05	0,007	0,0003	<0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,03	0,01	<0,001	0,0003	0,0002	0,007	0,001	0,015	0,001
Шигонское	шлак	327	0,0007	0,0003	0,005	1	0,007	0,15	0,001	0,00015	0,015	0,007	0,0007	0,0003	<0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,03	0,015	<0,001	0,0003	0,00015	0,007	0,001	0,003	0,0002
Шигонское	шлак	328	0,0005	<0,0003	<0,001	0,3	0,0015	0,07	<0,0005	<0,0003	0,3	nd	0,0015	0,0003	<0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,01	0,01	<0,001	<0,0005	0,0001	0,0015	0,0005	<0,001	<0,0001
Шигонское	шлак	329	0,005	<0,0003	0,007	0,7	0,007	0,3	<0,0005	0,00015	0,2	nd	0,005	0,0005	<0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,1	0,015	<0,001	<0,0005	0,00015	0,005	0,0005	0,002	0,0002
Шигонское	шлак	330	0,0015	<0,0003	0,003	0,5	0,0015	0,05	<0,0005	0,00015	0,15	0,07	0,007	0,0003	<0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,02	0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	0,001	0,001	0,0015	0,0001
Шигонское	шлак	331	0,0007	<0,0003	0,001	0,3	0,0015	0,07	<0,0005	<0,0003	0,015	0,02	0,0005	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,01	0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	0,0015	0,0015	<0,001	0,0001
Шигонское	шлак	332	0,0007	0,0003	0,001	0,5	0,0015	0,1	<0,0005	0,00015	0,02	0,05	0,007	0,0005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,02	0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	0,001	0,0015	<0,001	0,0001
Шигонское	шлак	333	0,002	0,0003	0,001	0,3	0,001	0,07	<0,0005	0,00015	>1	0,03	0,007	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,01	0,01	<0,001	<0,0005	0,00005	0,001	0,001	<0,001	<0,0001
Шигонское	шлак	334	0,005	0,015	0,007	0,15	0,015	0,1	<0,0005	>0,01	>1	1	0,7	>>3	0,02	<0,003	0,07	<0,001	0,1	0,05	0,015	<0,001	0,0003	0,00007	nd	0,001	<0,001	<0,0001
Липовый Овраг	шлак	335	0,005	0,001	0,005	0,15	0,007	0,15	0,0005	<0,0003	0,015	0,007	0,0007	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,03	0,015	<0,001	<0,0005	0,001	0,007	0,001	0,002	0,00015
Попово Озеро	шлак	336	0,01	0,005	0,003	0,15	0,001	0,05	<0,0005	0,0003	0,1	0,007	0,003	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,01	0,01	<0,001	0,0003	0,00003	0,001	0,0005	<0,001	<0,0001
Попово Озеро	шлак	337	0,0007	<0,0003	0,01	0,05	0,0015	0,2	<0,0005	<0,0003	0,0015	0,007	0,0007	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,05	0,015	<0,001	<0,0005	0,00007	0,01	0,0005	0,001	0,00015
Попово Озеро	шлак	338	0,005	0,0015	0,01	0,02	0,0015	0,2	<0,0005	<0,0003	0,03	0,007	0,001	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,07	0,015	<0,001	<0,0005	0,0001	0,007	0,001	0,001	0,0001
Попово Озеро	шлак	339	0,0015	0,0003	0,01	0,07	0,0015	0,15	<0,0005	<0,0003	0,01	0,007	0,001	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,05	0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	0,007	<0,0005	<0,001	0,0001
Попово Озеро	шлак	340	0,01	0,005	0,007	0,02	0,0015	0,15	<0,0005	0,00015	0,003	0,007	0,0005	0,0003	<0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,05	0,015	<0,001	<0,0005	0,00005	0,007	<0,0005	<0,001	0,0001
Попово Озеро	шлак	341	0,01	0,003	0,0015	0,02	0,001	0,1	<0,0005	0,0003	0,07	0,007	0,0015	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	0,00005	nd	0,001	<0,001	<0,0001
Попово Озеро	шлак	342	0,005	0,0015	0,02	0,02	0,005	0,5	0,001	<0,0003	0,05	0,005	0,0015	0	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0001	0,1	0,02	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,001	0,0015	0,0001
Попово Озеро	шлак	343	0,007	0,003	0,03	0,02	0,007	0,3	0,0005	<0,0003	0,02	0,007	0,0015	0	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,07	0,05	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,0015	0,0001
Михайло-Овсянка	шлак	470	0,003	0,0003	0,0015	0,02	0,015	0,07	<0,0005	0,0015	0,5	0,03	0,007	0,0001	0,05	<0,003	0,003	<0,001	0,001	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	<0,00003	0,001	0,001	<0,001	0,0001
Сызжее	шлак	763	0,005	0,002	0,03	0,03	0,02	0,2	0,001	0,003	>>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	>3	0,3	<0,001	0,0003	0,00015	0,02	0,001	0,003	0,0002
Сызжее	шлак	764	0,007	0,003	0,03	0,1	0,03	0,2	0,0005	0,007	>>1	nd	0,07	>3	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	3	0,15	<0,001	0,0003	0,0002	0,015	0,001	0,002	0,00015
Сызжее	шлак	765	0,01	0,003	0,03	0,05	0,03	0,15	0,0005	>0,01	>>1	nd	0,15	>3	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	1,5	0,15	<0,001	0,003	0,00015	0,015	0,0015	0,002	0,00015
Сызжее	шлак	766	0,005	0,003	0,03	0,1	0,03	0,2	0,001	0,007	>>1	nd	0,05	>>3	0,015	<0,003	0,001	<0,001	0,01	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,0015	0,002	<0,0001
Кузьминков-ское	шлак	1280	0,003	0,001	0,03	0,05	0,02	0,3	0,0005	0,001	>1	nd	0,05	>3	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	2	0,2	<0,001	<0,0005	0,00015	0,02	0,0015	0,002	0,00015
Кузьминков-ское	шлак	1281	0,003	0,0007	0,02	0,07	0,03	0,3	0,0005	0,0003	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	3	0,5	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,001	0,001	0,0001
Кузьминков-ское	шлак	1282	0,005	0,001	0,03	0,05	0,01	0,5	0,0005	0,0002	>1	0,005	0,02	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,7	0,15	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,0015	0,002	0,00015
Кузьминков-ское	шлак	1283	0,003	0,001	0,03	0,07	0,02	0,3	0,0005	0,0002	>1	nd	0,02	0,0015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	>3	0,3	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,0015	0,002	0,00015
Кузьминков-ское	шлак	1284	0,005	0,001	0,03	0,05	0,01	0,5	0,001	0,00015	0,7	0,007	0,003	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,2	0,05	<0,001	<0,0005	0,0002	0,03	0,0015	0,002	0,00015
Кузьминков-ское	шлак	1285	0,005	0,005	0,01	0,03	0,015	0,2	<0,0005	0,005	>1	nd	0,03	>3	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,005	1	0,1	<0,001	<0,0005	0,00015	0,02	0,0015	0,001	0,0001
Нижнепав-ловское	шлак	1286	0,007	0,001	0,007	0,1	0,015	0,15	0,0005	0,001	>1	0,02	0,07	>3	0,01	<0,003	<0,001	0,001	0,007	1,5	0,07	<0,001	<0,0005	0,0002	0,01	0,001	0,002	0,00015
Нижнепав-ловское	шлак	1287	0,005	0,001	0,02	0,05	0,007	0,5	0,0005	<0,0003	0,1	0,005	0,0007	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,1	0,05	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,001	0,0001
Нижнепав-ловское	шлак	1288	0,003	0,0007	0,01	0,07	0,005	0,5	0,0005	<0,0003	0,15	nd	0,001	0,0001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,05	0,015	<0,001	<0,0005	0,00007	0,015	0,001	0,0015	0,0001
Нижнепав-ловское	шлак	1289	0,005	0,001	0,015	0,07	0,005	0,5	0,0005	<0,0003	0,05	nd	0,0007	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,1	0,05	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,0015	0,0001

Продолжение Таб. 9-13

Паятник	Материал	Номер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Ижиглав-ловское	шлак	1290	0,007	0,0015	0,015	0,05	0,005	0,5	0,0005	<0,0003	0,03	0,005	0,0005	0,0005	0,00003	0,005	<0,001	<0,001	0,001	0,07	0,05	<0,001	<0,0005	0,0001	0,015	0,0015	0,002	0,0001
Токское	шлак	1291	0,003	0,003	0,01	0,03	0,015	0,2	<0,0005	0,01	>1	nd	0,1	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	>3	>3	<0,001	0,0003	0,0001	0,015	0,0015	0,002	0,00015
Токское	шлак	1292	0,005	0,0015	0,02	0,01	0,02	0,2	0,0005	0,001	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	>3	0,7	<0,001	0,0003	0,0002	0,02	0,0015	0,002	0,00015
Токское	шлак	1293	0,003	0,001	0,01	0,07	0,02	0,3	0,001	0,003	>1	nd	0,02	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	1	1,15	0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,001	0,002	0,00015
Токское	шлак	1294	0,003	0,0015	0,015	0,07	0,015	0,2	0,0005	0,002	>1	nd	0,03	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	>3	0,5	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,002	0,001	0,00015
Токское	шлак	1295	0,003	0,001	0,02	0,05	0,02	0,2	0,001	0,003	>1	nd	0,02	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	>3	0,5	<0,001	<0,0005	0,0002	0,03	0,0015	0,002	0,00015
Ивановское	руда	1296	0,001	0,0003	0,007	0,1	0,02	0,1	0,0005	0,007	>1	nd	0,07	>3	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	0,2	0,15	<0,0005	0,0003	0,015	0,001	<0,001	0,0001	0,0001
Ивановское	руда	1297	0,001	0,0005	0,007	0,05	0,03	0,07	0,0005	0,002	>1	nd	0,05	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,7	0,05	0,001	<0,0005	0,0002	nd	0,001	0,001	0,0001
Ивановское	руда	1298	0,005	0,0005	0,015	0,05	0,01	0,3	0,001	0,002	>1	nd	0,015	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,3	0,05	0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,001	0,002	0,0001
Ивановское	руда	1299	0,003	0,0005	0,01	0,05	0,1	0,15	0,0005	0,003	>1	nd	0,05	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	0,05	0,05	0,001	<0,0005	0,0001	0,01	0,001	0,001	<0,0001
Ивановское	руда	1300	0,005	0,0005	0,02	0,03	0,02	0,2	0,0005	0,007	>1	nd	0,03	0,002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,005	0,05	0,05	<0,001	<0,0005	0,0002	0,03	0,0015	0,001	<0,0001
Ивановское	руда	1301	0,003	0,001	0,05	0,07	0,015	0,7	0,001	0,005	>1	nd	0,02	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	0,3	0,15	<0,001	<0,0005	0,0002	0,05	0,001	0,001	<0,0001
Ивановское	руда	1302	0,003	0,0007	0,007	0,05	0,01	0,2	0,0005	0,0015	>1	nd	0,015	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,1	0,15	0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,001	0,001	<0,0001
Ивановское	шлак	1303	0,002	0,0015	0,007	0,05	0,01	0,15	0,0005	0,003	>1	nd	0,015	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	>3	0,3	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,001	0,0001
Ивановское	шлак	1304	0,005	0,003	0,01	0,03	0,015	0,15	0,0005	0,005	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	>3	0,5	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,002	0,001	0,00015
Ивановское	шлак	1305	0,005	0,003	0,01	0,05	0,02	0,15	<0,0005	0,007	>1	nd	0,07	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	1	0,3	<0,001	<0,0003	0,0001	0,015	0,002	0,001	0,0001
Ивановское	шлак	1306	0,005	0,002	0,02	0,03	0,03	0,3	0,001	>0,01	>1	nd	0,15	>3	0,02	0,005	<0,001	<0,001	0,015	0,5	0,1	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,003	0,005	0,0002
Покровское	шлак	1311	0,005	0,002	0,02	0,15	0,03	0,2	0,001	>0,01	>1	nd	0,15	>3	0,02	0,005	<0,001	<0,001	0,015	0,5	0,1	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,003	0,005	0,0002
Покровское	шлак	1312	0,007	0,0015	0,03	0,05	0,015	0,2	0,0005	0,005	>1	nd	0,05	>3	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	>3	0,3	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,002	0,0015	0,00015
Покровское	шлак	1313	0,007	0,0015	0,02	0,05	0,02	0,2	0,0005	0,01	>1	nd	0,07	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	>3	0,3	<0,001	<0,0005	0,0002	0,03	0,002	0,0015	0,00015
Покровское	шлак	1314	0,005	0,0015	0,02	0,03	0,05	0,15	0,2	0,001	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	>3	0,3	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,002	0,002	0,00015
Покровское	шлак	1316	0,007	0,0015	0,03	0,05	0,015	0,2	0,001	0,007	>1	nd	0,03	0,003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	1,5	1,15	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,002	0,002	0,00015
Покровское	шлак	1317	0,005	0,003	0,01	0,1	0,02	0,2	<0,0005	0,01	>1	nd	0,1	>3	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	1,5	0,5	<0,001	<0,0005	0,0001	0,01	0,002	<0,001	0,00015
Покровское	шлак	1318	0,007	0,0015	0,015	0,03	0,02	0,2	0,001	0,003	>1	nd	0,02	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	2	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,002	0,0015	0,00015
Покровское	шлак	1319	0,007	0,002	0,03	0,1	0,02	0,2	0,001	>0,01	>1	nd	0,07	>3	0,01	0,003	<0,001	<0,001	0,01	>3	0,2	<0,001	<0,0003	0,0002	0,02	0,003	0,003	0,0002
Покровское	шлак	1320	0,005	0,002	0,015	0,05	0,01	0,2	0,0005	0,007	>1	nd	0,02	0,002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,0015	0,00015
Покровское	шлак	1321	0,005	0,001	0,015	0,05	0,03	0,2	0,001	0,002	>1	nd	0,015	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	>3	0,3	<0,001	<0,0005	0,0003	0,02	0,0015	0,002	0,0001
Покровское	шлак	1322	0,007	0,001	0,02	0,07	0,01	0,2	0,0005	0,0003	>1	nd	0,01	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,2	0,03	<0,001	0,0007	0,0001	0,01	0,001	0,001	<0,0001
Покровское	шлак	1323	0,005	0,0015	0,015	0,05	0,015	0,2	0,0005	0,007	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,002	0,0015	0,0001
Покровское	шлак	1324	0,007	0,0015	0,02	0,05	0,02	0,2	0,0005	0,007	>1	nd	0,05	0,003	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,0015	0,002	0,0001
Покровское	шлак	1325	0,005	0,0015	0,02	0,05	0,02	0,2	0,001	0,005	>1	nd	0,02	0,002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0003	0,02	0,0015	0,002	0,0001
Покровское	шлак	1326	0,003	0,0015	0,015	0,1	0,02	0,2	0,0005	0,001	>1	nd	0,02	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	>3	0,2	0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,001	0,0015	0,0001
Покровское	шлак	1327	0,02	0,002	0,02	0,1	0,007	0,05	<0,0005	0,0003	1	0,03	0,015	0,002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,015	0,015	<0,001	0,0003	0,00003	0,003	0,001	<0,001	<0,0001
Покровское	шлак	1328	0,005	0,0015	0,03	0,07	0,007	0,5	0,0005	<0,0003	0,5	0,007	0,003	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,01	0,03	0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,0015	0,0001
Покровское	шлак	1329	0,007	0,001	0,02	0,05	0,007	0,3	0,0005	0,00015	0,3	0,007	0,003	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,1	0,03	0,001	<0,0005	0,0001	0,01	0,0015	0,0015	0,0001
Покровское	шлак	1330	0,01	0,002	0,05	0,05	0,01	0,5	0,001	0,00015	0,3	0,005	0,0015	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,1	0,03	<0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,001	0,002	0,00015
Родниковое	шлак	1331	0,005	0,001	0,03	0,1	0,02	0,3	0,0005	0,0015	>1	nd	0,007	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,002	0,00015
Родниковое	шлак	1332	0,003	0,001	0,02	0,07	0,01	0,2	0,0005	0,001	>1	nd	0,01	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	2	0,2	<0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,0015	0,0015	0,0001
Родниковое	шлак	1333	0,003	0,0007	0,015	0,1	0,01	0,2	0,0005	0,0005	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	1,5	0,2	<0,001	<0,0005	0,0001	0,01	0,0015	0,001	0,0001
Родниковое	шлак	1334	0,007	0,0005	0,03	0,07	0,015	0,2	0,0005	<0,0003	>1	0,007	0,002	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,05	0,01	<0,001	<0,0005	0,00005	0,005	0,0005	0,001	0,0001
Родниковое	облазка	1335	0,002	0,0007	0,015	0,05	0,01	0,2	0,0005	0,0015	>1	nd	0,02	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	1	0,1	0,001	<0,0005	0,0002	0,01	0,0015	0,001	0,0001
Родниковое	руда	1336	0,007	0,0007	0,02	0,03	0,02	0,5	0,001	0,005	>1	0,005	0,015	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,7	0,15	0,001	<0					

Окончание Таб. 9-13

Памятник	Материал	Но-мер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Родниковое	медь	1343	0,003	0,0005	0,01	0,1	0,007	0,2	0,001	0,0003	>1	0,007	0,002	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0001	0,007	0,001	<0,001	<0,0001	
Родниковое	шлак	1344	0,005	0,001	0,015	0,05	0,01	0,3	0,001	0,002	>1	nd	0,02	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,001	0,0001	
Родниковое	шлак	1345	0,003	0,0007	0,03	0,07	0,015	0,3	0,001	0,0003	>1	0,005	0,007	0,002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	2	0,15	<0,001	<0,0005	0,0003	0,02	0,001	0,002	0,00015	
Родниковое	шлак	1346	0,007	0,0015	0,07	0,05	0,03	0,7	0,001	0,005	>1	nd	0,02	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	2	0,15	<0,001	<0,0005	0,0003	0,03	0,0015	0,002	0,00015	
Родниковое	шлак	1347	0,01	0,001	0,01	0,05	0,015	0,07	<0,0005	<0,0003	0,5	0,015	0,002	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	0,00015	0,007	0	0,001	0,00015	
Родниковое	шлак	1348	0,003	0,0005	0,02	0,05	0,015	0,3	0,0005	0,0003	>1	0,007	0,003	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,2	0,02	<0,001	0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,001	<0,0001	
Родниковое	шлак	1349	0,005	0,001	0,015	0,1	0,015	0,3	0,0005	0,0015	>1	nd	0,015	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	1	0,1	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,001	<0,0001	
Родниковое	шлак	1350	0,005	0,001	0,02	0,07	0,02	0,5	0,001	0,002	>1	nd	0,05	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,02	>3	0,2	<0,001	<0,0005	0,0002	0,03	0,0015	0,002	0,0001	
Родниковое	шлак	1351	0,007	0,001	0,05	0,05	0,02	0,5	0,001	0,0007	>1	nd	0,003	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,005	0,5	0,1	0,001	<0,0005	0,0002	0,02	0,001	0,002	0,0001	
Родниковое	шлак	1352	0,007	0,0015	0,03	0,03	0,015	0,3	0,001	0,0015	>1	nd	0,03	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	2	0,15	0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,002	0,0001	
Родниковое	шлак	1353	0,005	0,001	0,02	0,1	0,015	0,3	0,0005	0,001	>1	nd	0,01	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	0,3	0,05	0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,001	0,0001	
Родниковое	шлак	1354	0,007	0,0015	0,03	0,05	0,015	0,3	0,0005	0,0007	>1	nd	0,01	>3	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,007	0,3	0,05	0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,002	0,0001	
Родниковое	шлак	1355	0,005	0,0015	0,02	0,07	0,01	0,3	0,001	<0,0003	0,15	0,007	0,0015	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,07	0,03	0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0015	0,002	0,0001	
Родниковое	шлак	1356	0,01	0,0015	0,02	0,07	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,5	0,005	0,0015	0,00015	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	0,0003	0,07	0,05	0,001	<0,0005	0,00015	0,02	0,001	0,0015	0,00015	
Чувствительность анализа			Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
			0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,000003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,00003	0,001	0,0005	0,001	0,0001

концентраций бария со шлаком поселений, где преобладает II или IV минералогические группы, отсутствует. К тому же, на одном поселении может быть шлак с высоким и низким содержанием бария. Повышенное содержание бария встречено также в руде Родникового и Ивановского поселений, а также в обмазке и меди Родникового поселения. Но в руде Ивановского есть и образцы с невысокими концентрациями бария. То есть, чаще это связано с особенностями руды. Поэтому, казалось бы, более логично допускать, что этот элемент связан, все же, с рудой, и о специальных добавках его в шихту говорить не приходится¹.

Но, исследуя шлаки Башкирского Приуралья, мы отмечали в ряде случаев высокое присутствие бария. И там, судя по всему, более правомерно говорить именно об искусственных его добавках в шихту.

К тому же, не вся оренбургская руда содержит барий. Поэтому металлурги могли понимать, что присутствие барита помогает успешному ведению плавки окисленной руды. В каких-то случаях он поступал вместе с рудой, а в каких-то (как и считает Е. Н. Черных) его могли добавлять целенаправленно. Отсюда эта традиция могла распространиться на сопредельные территории Поволжья и Башкирского Приуралья. Не исключены и поставки самого барита. При этом, как это осуждалось для Башкирского Приуралья, не исключено, что барий не только способствовал снижению окислительной атмосферы, но и связывал силикаты, избыток которых наблюдался в шихте этого района.

Необходимо отметить и присутствие на поселении Родниковое чограйского песчаника (№ 1339—1341), находки которого типичны у металлургических комплексов синташтинской культуры, а также на раннеалакульских памятниках (пос. Мочище), что является уже продолжением синташтинской традиции. Ранее он рассматривался в качестве флюса, но предпринятый нами анализ показал его кислый состав и невозможность использования в таком качестве. Поэтому очевидно, что эти находки здесь как то связаны с синташтинской традицией металлургии, но с какой целью это использовалось остается неясным.

Объемы плавок

Очень проблематично судить об объемах плавок. В отличие от синташтинского шлака, подавляющее большинство шлака этого района представлено бесформенными комками, не позволяющими говорить об объеме шихты или полученного металла. Поэтому какие-то предположения можно делать лишь на единичных фактах. Так, на поселении Михайло-Овсянка в сооружении 1 найден слиток меди весом 88 г, что близко слитку весом 80 г, обнаруженному в срубном комплексе в Пилипчатино в Донецком бассейне (Kolev, 2010, S. 9) или на срубном поселении Тавлыкаево в Зауральской Башкирии (Морозов, 1981, с. 61, 62). То есть объемы получаемой меди в этих случаях были близки тому, что фиксируется в синташтинское время. Это, пожалуй, единственные прямые данные. Прочие являются уже более сомнительными.

Выше уже высказывались сомнения в том, что на поселении Горный плавка велась в тиглях. Однако, если эти сомнения не правомерны, попробуем рассмотреть подобную возможность. Объемы плавильных чаш поселения Горный колебались в пределах 680 до 1750 см³, ошлаковка идет не с самого верха, и, судя по ошлаковке, они были заполнены на 80% объема (Луньков, 2004, с. 70—75). Соответственно, объем заполнения тиглей составляет 544—1400 см³. Если мы допустим присутствие в этом объеме какого-то минимального количества угля, то будем вправе говорить о возможных объемах шихты

¹ Следует отметить, что того же мнения придерживается и Сальвадор Ровира, хотя он и не обращает внимания на данную проблему в своей статье по той причине, что ему не было известно мнение Е. Н. Черных, опубликованное в книге на русском языке. Однако при личной коммуникации он отверг возможные добавки барита в шихту.

400—1000 см³. Содержание оксида меди в руде Горного колебалось в пределах 20—80% (Ровира, 2004, с. 108). Если мы возьмем за основу 50%, то при удельном весе малахита около 4 г/см³, а песчаника около 2,65 г/см³, в этом объеме можно поместить шихту, содержащую 800—2000 г малахита и 530—1325 г песчаника. Соответственно, общий вес шихты мог колебаться в пределах 1330—3325 г. К сожалению, мы не знаем, какая доля меди при этом извлекалась, поскольку слитки явно не формировались, шлак дробился, и из него извлекались мелкие медные капли. В малахите содержится около 57% меди, следовательно, в вышеназванных объемах ее могло содержаться в пределах 450—1140 г.

Как уже говорилось, в шлаке Горного в среднем сохранялось около 11% меди в виде металла, куприта и рудных включений. Поэтому, вероятно, оставшая часть меди формировала несколько более крупные включения, которые можно было извлечь. Следовательно, невозвратные потери меди в шлаке составляли 145—365 г., а возможное извлечение, с учетом потерь, максимум 250—700 г.

Существует еще один примечательный факт. На поселении Горный в жилище № 46 ранней фазы обнаружено выброшенное скопление шлака, предположительно результат неудачной плавки, поскольку медь от шлака не отделилась. В общей сложности это скопление содержит 250 кусков общим весом 4,5 кг (Кузьминых, 2004, с. 101). Соответственно, в этом случае это вес всей шихты, если в эту кучу не попали шлаки иных плавок. Если это действительно результат одной плавки, то объем шихты значительно превышает тот, который можно загрузить в один тигель, и плавки безусловно велись в печах, конструкции которых для этого поселения пока не установлены. Но тогда и вес извлекаемой меди мог достигать 1 кг. Но уверенно сказать, что этот отвал является результатом одной плавки невозможно.

К сожалению, прояснить этот вопрос трудно. Обнаруженные в районе Каргалов слитки черновой меди составляли 1,5—4 кг (Черных, 1997, с. 63). Безусловно, подобные слитки не могли быть получены в результате плавки руды, так как были результатом многих плавок. Вероятно, они предназначались для экспорта за пределы Каргалинских рудников, где производство явно носило товарный характер.

Технология плавки в Поволжье и Оренбургском Приуралье в ПБВ

При сопоставлении минералогических групп шлака (таб. 9-10) становится достаточно очевидно, что их состав для Поволжья и Оренбуржья резко различается. В первую очередь, это связано с разными рудными источниками. В Поволжье с медистыми песчаниками связано только четыре образца с поселения Сьезжее, которое расположено ближе всего к Оренбуржью. Остальные образцы связаны либо с ультраосновными породами, либо с кварцевыми. В Оренбуржье ситуация принципиально иная: здесь используются исключительно песчаниковые руды. В целом в исследованной выборке доля этих руд (II и IV минералогические группы) составляет 70%. А с учетом производства на Каргалинских рудниках, эта доля представляется еще более высокой. На поселении Шигонское II предпочтение руд из ультраосновных пород, и соответствующая технология плавки, вероятно, обусловлены тем, что это раннесрубный памятник, и его металлургия непосредственно наследует синташтинско-абашевские традиции. Поэтому и технология плавки руды на этом поселении идентична синташтинской. Но уже наблюдается и важное отличие от этой традиции: в шлаке Шигонского II отсутствует примесь мышьяка. Следовательно, легирование на стадии плавки руды уже не производилось.

Более поздние шлаки, срубного времени, отражают ориентацию на какие-то местные источники в кварцевых породах (Липовый Овраг) или известняках (Михайло-Овсянка). Несмотря на переход к этим рудам, сохраняется прежняя технологическая схема, но металлургам удается сохранять восстановительную атмосферу в печи. Вероятно, этого

удавалось добиться благодаря удлиненным печам, в которых легче было формировать монооксид углерода.

Резко отличается от предшествующих технологий металлургическое производство на поселении Попово Озеро, где осуществляется переход на плавку халькопирита из кварцевых пород. Это приводит к резкому росту температуры плавки. Вместе со срубными на поселении содержатся сусканско-лебяжинские материалы, что является маркером восточных федоровско-межовских влияний. Однако, эта технология появляется в этот период и у срубной культуры Башкирского Приуралья, хотя доля ее в общей массе плавки незначительна. Но, в любом случае, это результат влияния с востока.

Совершенно иначе выглядит ситуация в Оренбуржье. Здесь используются исключительно песчаниковые руды. Единичные образцы шлаков I и VI минералогических групп могут объясняться неоднородностью руд в песчаниках. В результате почти весь шлак (за исключением этих единичных образцов и фрагментов обмазки) относится к группам II и IV. Между собой эти группы соотносятся следующим образом: 35% (18 образцов) и 65% (34 образца) соответственно. Причем, если учитывать публикации шлаков Горного, относящихся тоже к IV минералогической группе, то доля этих низкотехнологичных, плохо сбалансированных плавки в оренбургской выборке будет еще выше. Доминирование этих плавки в этой зоне объясняется характером окисленных руд в песчаниках, при плавке которых было необходимо поддерживать высокую температуру из-за кислого состава расплава; в результате формировалась окислительная атмосфера. Попытки изменить этот состав не наблюдаются: у нас нет никаких данных об использовании железосодержащих флюсов. В тех случаях, когда в шихте содержалось большее количество оксидов железа, они поступали вместе с рудой, и это отражает лишь особенность местных месторождений. В среднем, более кислого состава руды плавки на Горном и Родниковом, менее кислого — на других оренбургских поселениях. Косвенным образом, это говорит и о разнице в рудной базе. В менее кислых шлаках присутствует и иной состав руды: в них, наряду с окисленными рудами, очень велика доля вторичных сульфидов. В наибольшей степени это касается более западных поселений — Кузьминковского и Ивановского, в меньшей — Токского и Родникового. Абсолютно сопоставима ситуация с Каргалами фиксируется лишь на наиболее близком к ним Покровском поселении, отчасти, на Родниковом и Нижнепавловском, расположенным от Каргалинских рудников всего в 60—75 км.

В отличие от территориальной, разница хронологическая не столь ощутима. Возможно, это связано с тем, что мы не всегда в состоянии сказать к какому этапу срубной культуры относится шлак. Но, вероятно, хронологических различий не существовало. Например, минералогическая группа II доминирует на Ивановском и Кузьминковском поселениях. Первое рассматривается как сравнительно раннее в изученной серии, а второе как наиболее позднее. Поэтому на оренбургском материале мы не прослеживаем каких-то технологических сдвигов, вся разница обусловлена именно характером месторождений, которые разрабатывались населением тех или иных поселений.

Довольно затруднительно сказать и откуда возникает металлургическая традиция на этой территории, поскольку она оформляется на той рудной основе, которая прежде, практически, не эксплуатировалась. Исключением является тип архаичных абашевских плавки чистой руды песчаникового происхождения, и тоже в условиях окислительной атмосферы. Но реальное сходство не столь велико, поскольку абашевцы выбирали именно чистую руду и плавки незначительные ее объемы. То есть в данном случае общим является только источник руды из медистых песчаников, все остальное иное.

Плавки руды из кварцевых пород практиковались в синташтинской металлургии, и потом доля этих плавки нарастает в петровское время, и это распространяется в абашевской и срубной культурах Башкирского Приуралья. Поэтому, в конечном счете, круг

источников этой приуральской металлургии таков: синташтинско-абашевское или петровское производство. Синташтинское представляется более предпочтительным, поскольку на Токском поселении отмечены печи, пристроенные к колодцу, характерные для синташты, и отсутствующие в абашево. Не исключено, что на поселении Горный были печи с дымоходами, тоже характерные для синташты, хотя это не является доказанным фактом.

Однако в целом ситуация с металлургическими сооружениями в регионе, на фоне обилия шлака, представляется удручающей. Если для поселений Михайло-Овсянка и Липовый Овраг мы можем обсуждать вытянутые печные конструкции, приспособленные для плавки окисленных руд, можем говорить о печах на Токском поселении, то использование сравнительно небольших очагов в Оренбуржье является недоказанным, хотя и вероятным. Они, как правило, слишком малы для того, чтобы создавать восстановительную атмосферу при плавке окисленной руды. Впрочем, возможно это и было причиной такого обилия купритизированного шлака. Но и эти печи находят параллели в синташтинско-абашевских памятниках. При этом необходимо подчеркнуть, что плавка в печах (в силу всех приведенных при описании печей и минералогии шлака аргументов) представляется предпочтительной. Плавка в тиглях, на сегодняшний день, не обоснована ни фактическим материалом, ни анализами.

Не исключено, что часть этих печей (особенно небольшие очаги) использовались для металлообработки, так как для переплавки металла в тигле достаточно небольших печей диаметром 30—40 см с высотой стенок 15—20 см (Tylecote, 1980a, p. 197).

Спектральный анализ шлака

В общей сложности было сделано 100 спектральных анализов металла, обмазки, шлака и руды (таб. 9-13). Нам уже приходилось отмечать, что определение источника руды с помощью спектрального анализа является практически неразрешимой задачей. В данном случае это тем более проблематично, поскольку в исследуемом ареале большинство рудных источников относится к одному типу — месторождениям в медистых песчаниках. В силу схожести геохимии многих песчаниковых руд, отнести образцы к какому-либо конкретному месторождению нереально. Тем не менее, для территории Башкирии нам удалось сделать вывод, что эксплуатация руд из песчаников там не доминировала, но даже те руды, которые химически и минералогически могут быть отнесены к песчаникам, могут происходить с территории Башкирии. Минералогический анализ шлаков с поселений в районе Самарской Луки позволил сделать сходные выводы и для этого региона. Поэтому предпринятое исследование преследует цель сопоставления химизма шлаков Оренбуржья и Поволжья, чтобы сопоставить эти материалы друг с другом и оценить возможность выделения на этой основе каких-либо отличающихся групп.

В первую очередь, достаточно беглого взгляда на таблицу анализов для того, чтобы убедиться, что в данной серии нет образцов с повышенными концентрациями мышьяка. Следовательно, в этот период и в этом регионе полностью отсутствовала традиция легирования мышьяком на стадии плавки руды. Это вполне объяснимо, так как при переходе на плавку руд из кислых пород это происходит повсеместно — растет продолжительность плавок, и несколько возрастает их температура. Но даже там, где мы фиксируем определенную связь с предшествующей синташтинско-абашевской традицией в виде плавки руды из основных пород (Шигонское II), подобные добавки не фиксируются. Вероятно, этот случай показывает, что далеко не всегда выбор рудного источника обуславливает и соответствующие ему все прочие технологические традиции. В регионе уже стали доминировать новые традиции плавок и легирования, и этот фактор является более определяющим.

Полностью отсутствуют и включения сурьмы. Следовательно, в этом районе As + Sb бронзы химико-металлургической группы ВК, в принципе, не производились. Как мы видели на примере башкирских памятников, в межовской культуре металл этой группы производился путем целенаправленных добавок сурьяно-мышьяковых минералов. В соответствующих шлаках срубной культуры содержание сурьмы и мышьяка не высоко, и источником этого металла были естественные примеси из сульфидных руд, а также легирование мышьяковыми минералами, содержащими повышенные концентрации сурьмы. В Оренбуржье и Поволжье эта традиция легирования не присутствует, а подавляющее число руд происходит из песчаников и является окисленными, более свободными от этих примесей, хотя определенная доля вторичных сульфидов в плавку и поступала. Соответственно, картина вполне логичная, обусловленная, с одной стороны, технологической традицией, с другой — местной рудной базой.

Была произведена и попытка выделения химических групп. В эту обработку, помимо шлаков обсуждаемых поселений, были включены материалы поселения Сергеевское из прилегающего района Башкирского Приуралья, поскольку там тоже отмечена плавка руды из песчаников. Обработка результатов анализа осуществлялась с помощью Brookhaven Date Handling Programs, с помощью которых было выделено восемь химических кластеров. Необходимо, впрочем, иметь в виду, что данная программа сбрасывает в последний кластер те образцы, которые трудно объединить с другими кластерами. Поэтому корректней говорить о семи кластерах. Кроме того, следует учитывать, что поскольку руда и шлак являются негетерогенным материалом, то при обработке данных спектрального анализа может возникать существенный разброс результатов анализа. Большинство поселений, откуда происходит шлак, расположено вблизи различных выходов руд в медистых песчаниках со сходным химическим составом. Вместе с тем, необходимо отметить, что сами эти месторождения образовывались в результате разрушения различных коренных месторождений и, будучи обломочным материалом, тоже негетерогенны. Поэтому даже в рамках одного месторождения мы вправе ожидать несколько отличную химическую картину. На нее оказывала свое воздействие и технология плавки. Для кластерирования были использованы следующие элементы: Ti, Mn, As, Ba, Sr, Ni, Co, V, Sc, Pb, Sn, Zr, Ga, Ge, Ag, Mo, Be, Cr. Результаты его сведены в таблицу 9-14.

Таб. 9-14

Химические кластеры шлака с поселений Поволжья и Оренбуржья

Кластеры	1	2	3	4	5	6	7	8
Ивановское			2		2		2	
Кузьминковское	1		2	1	1	1		
Липовый Овраг		1						
Нижнепавловское	4					1		
Покровское	9	1	8	1		1	1	
Попово Озеро	4	4						
Родниковое	4		2	3		8		
Сергеевское	2		3	13		1		
Съезжее	1		1					2
Токское	1		1			1	2	
Шигонское	1	8						

Из этой таблицы мы можем заключить следующее. Все образцы оренбургской части исследуемого ареала довольно произвольно разбросаны по различным кластерам. То же можно сказать о поселениях Съезжее и Сергеевское, расположенных вблизи Оренбуржья. Следовательно, речь должна идти все же об эксплуатации месторождений в медистых песчаниках, однако в силу негетерогенности материала, он относится к различным кластерам. В противоположность этому, почти все образцы из Поволжья объединились

в кластер 2 (Липовый Овраг, Попово Озеро, Шигонское). Четыре образца из Попово Озеро и один из Шигонского оказались включены в соседний кластер 1. Кроме поволжских образцов в кластер 2 попал лишь один образец из Покровского. Из этого можно сделать однозначный вывод о том, что в Поволжье эксплуатировались собственные рудные источники.

Все образцы характеризуются низким содержанием мышьяка и хрома, что резко отличает эту выборку не только от синташтинско-абашевских, но и от срубной выборки Башкирского Приуралья (рис. 9-15). При этом ощущается разница в содержании хрома в шлаках Поволжья и Оренбуржья. В последнем регионе это содержание несколько выше, что указывает на определенную разницу в рудной базе.

Наблюдается также зависимость между содержанием свинца и серебра, причем многие образцы характеризуются повышенными концентрациями серебра, что тоже типично для месторождений в песчаниках. Как мы видели на примере Башкирского Приуралья, там повышенные концентрации серебра не являются признаком, позволяющим связывать руду с месторождениями в медистых песчаниках. Однако в данном случае мы наблюдаем более высокие концентрации серебра в тех образцах, которые связаны с этими месторождениями. Кстати, проанализированные образцы песчаниковой руды с Ивановского поселения отличаются тоже высоким содержанием серебра. В противоположность этому, образцы шлака из Поволжья демонстрируют низкие концентрации этих элементов (рис. 9-16). Исключением здесь снова являются выплавленные из песчаниковой руды шлаки поселения Съезжее.

То же самое проявляется и на график Ва—Ag (рис. 9-17). На нем практически все образцы из Поволжья (кроме Съезжего) демонстрируют низкие концентрации этих эле-

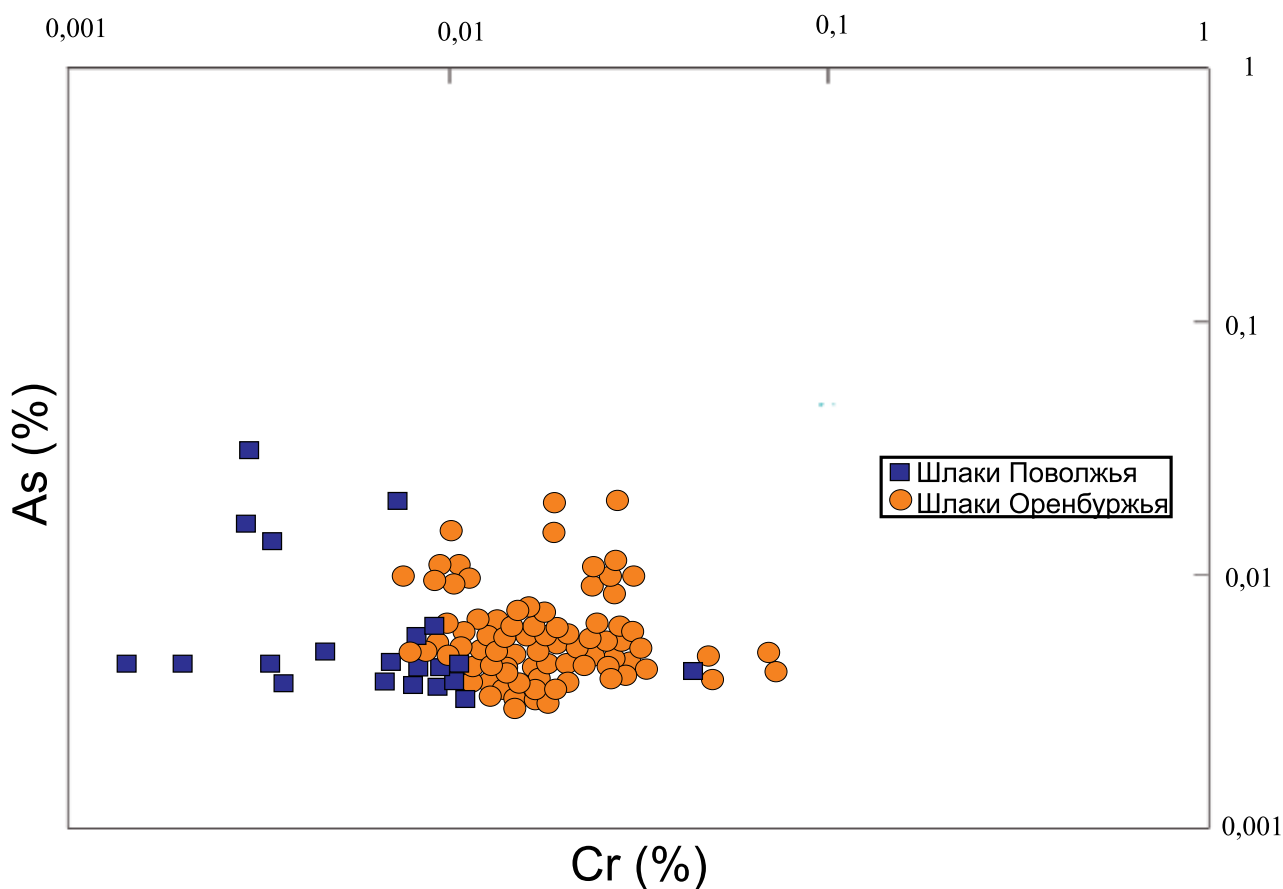


Рис. 9-15. Корреляция концентраций примесей мышьяка и хрома (%) в шлаке Поволжья и Оренбуржья.

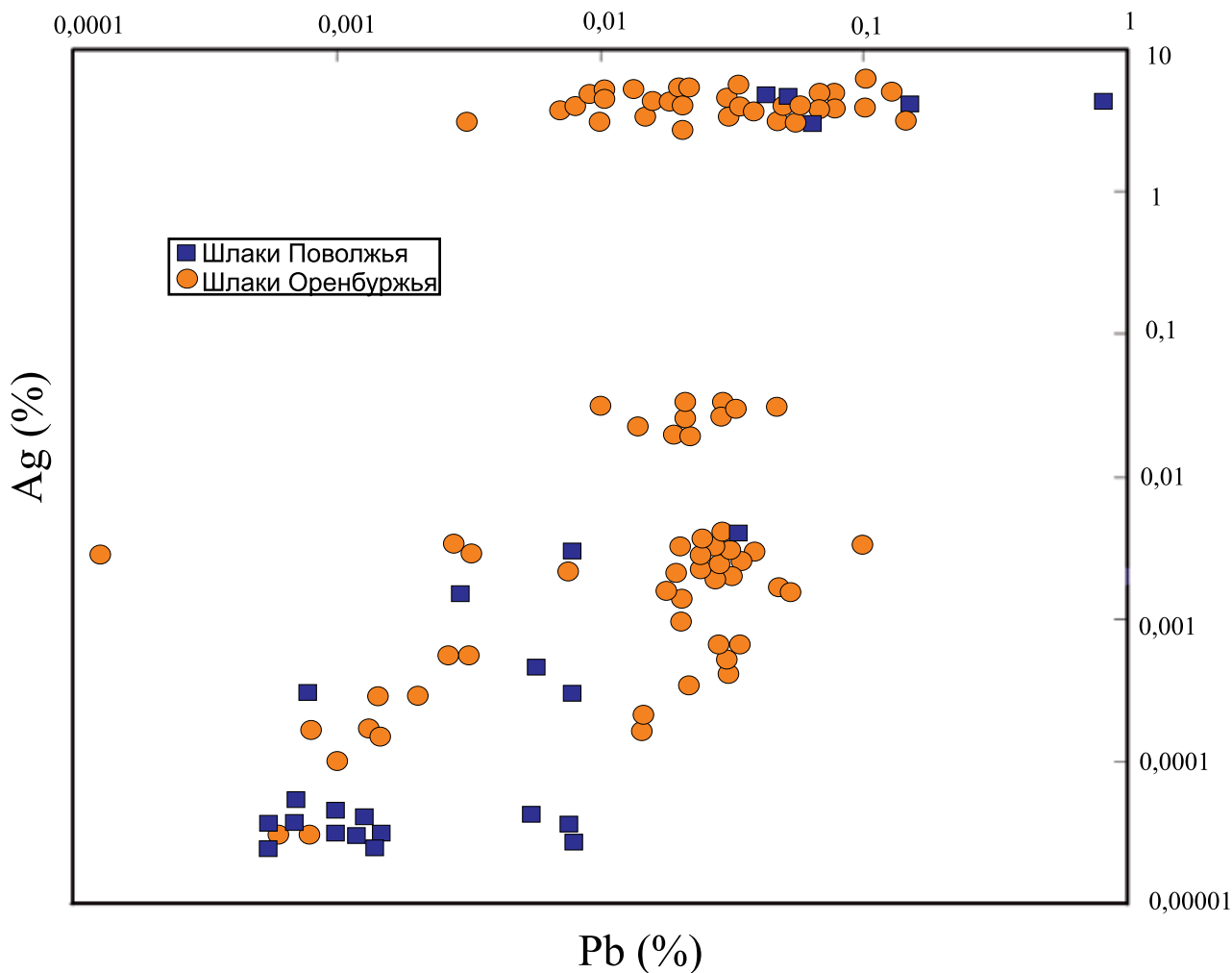


Рис.9-16. Корреляция концентраций примесей серебра и свинца (%) в шлаке Поволжья и Оренбуржья

ментов, а образцы из Оренбуржья, как правило, средние и высокие значения. Это лишь один раз подчеркивает рудную специфику первого региона.

Из всего сказанного можно сделать следующий вывод: выделяемая Е. Н. Черных при исследовании металла группа МП в большей своей части действительно связана с мелистыми песчаниками оренбургской зоны и прилегающих районов Поволжья, но ее, вероятно, нельзя распространять на медистые песчаники вообще.

Химическая близость оренбургских образцов подтверждается графиком Ni—Со (рис. 9-18), на котором большинство образцов сконцентрировано вместе. Разброс демонстрируют лишь образцы из Поволжья. Впрочем, в ареал повышенных концентраций этих элементов попали все те же образцы поселения Съезжее, что совершенно укладывается в данную закономерность, и единичные образцы поселений Шигонское II и Попово Озеро.

Таким образом, для образцов шлака, связанных с плавкой руды в медистых песчаниках Оренбуржья, характерны повышенные концентрации Ag, до 3% и более, а также более высокие концентрации Ni, Со и Pb по сравнению с поволжскими образцами. Это обстоятельство ставит некоторые вопросы. Согласно Е. Н. Черных (1970, таб. 2) концентрации серебра в металле значительно возрастают, по сравнению с исходной рудой. Для шлака нами определены для этого элемента еще большие понижающие коэффициенты (Введение, таб. 0-6). Но в этом случае в металле содержание серебра должно быть гораздо более высоким, чем это есть в действительности. Остальные из перечисленных

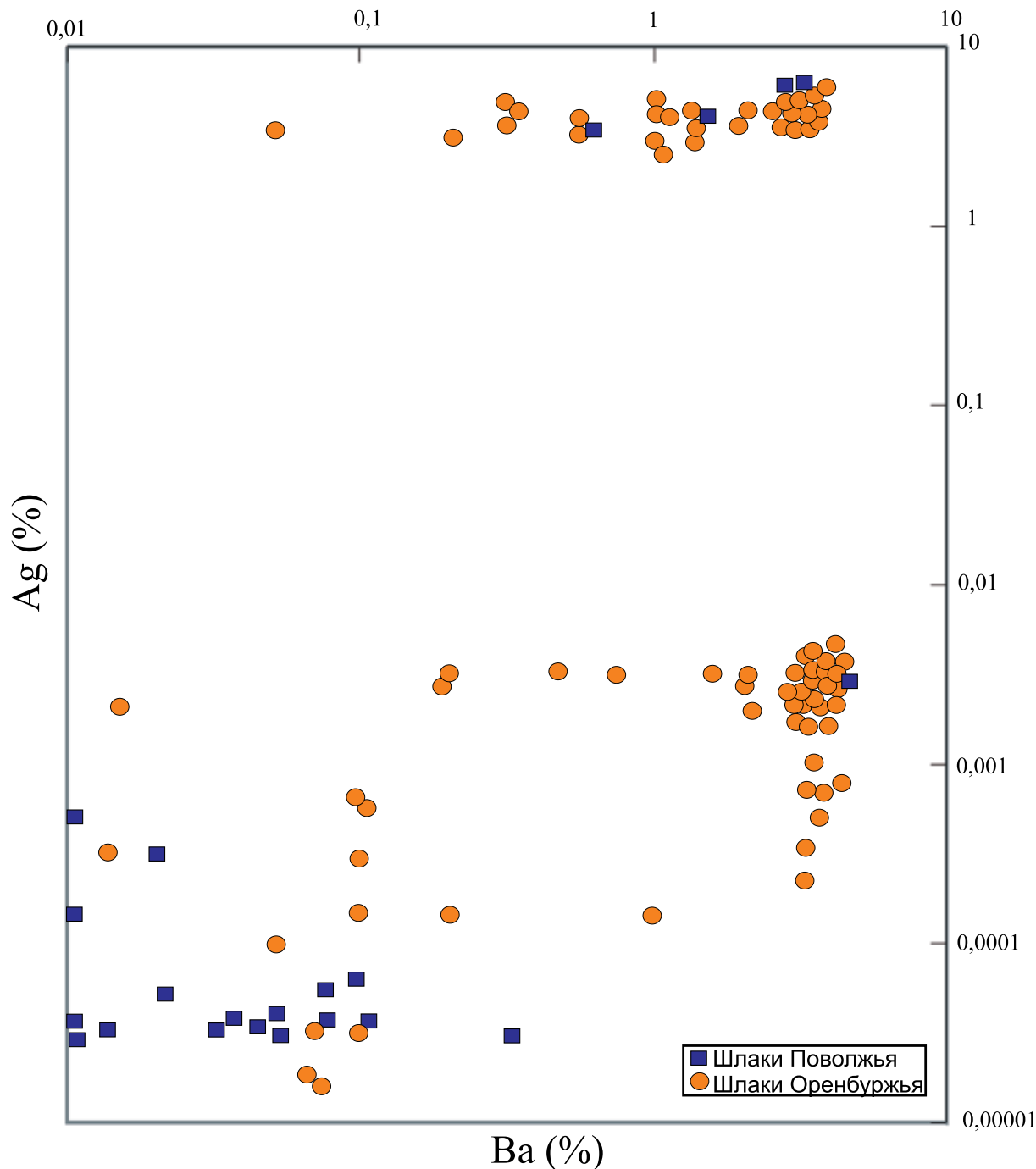


Рис. 9-17. Корреляция концентраций примесей серебра и бария (%) в шлаке Поволжья и Оренбуржья

элементов в шлаке, согласно этим данным, должны понижаться, хотя и не столь значительно, но для металла предполагается либо их нейтральное поведение, либо тоже небольшое понижение. Поэтому непонятно что является причиной такого очищения меди МП от большинства примесей, за исключением серебра: какие-то особые условия плавки (например, ее продолжительность и несколько более высокие температуры) или последующее рафинирование.

Но общий вывод, несмотря на это, остается неизменным: месторождения оренбургской зоны и прилегающих районов Поволжья являются наиболее приемлемым кандидатом на роль источника меди МП. И этим источником являлось не одно какое-то месторождение, а целая серия месторождений этого региона.

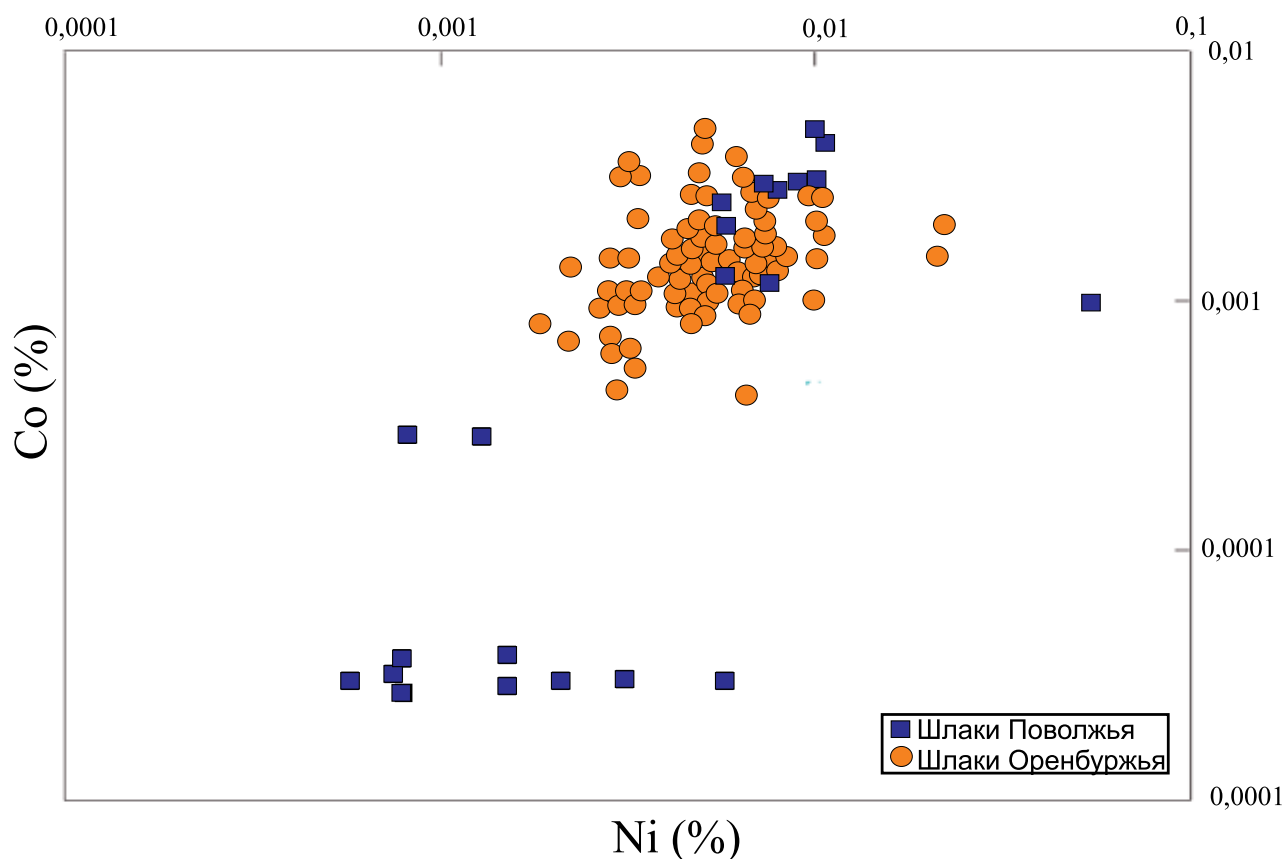


Рис.9-18. Корреляция концентраций примесей никеля и кобальта (%) в шлаке Поволжья и Оренбуржья

Проблема рудной базы Восточной Европы в позднем бронзовом веке

Сформулированный выше вывод находится вполне в русле прежних работ Е. Н. Черных. Однако последнее время ведущая роль в формировании этой химико-металлургической группы и массы иного металла Восточной Европы стала постепенно переходить к обширным Каргалинским рудникам, расположенным к северу от Оренбурга.

При этом, аналитических оснований под этим выводом нет. Под каргалинской предлагается понимать «чистую медь». Наряду с ней выделяются оловянные бронзы, бронзы с примесью мышьяка и сурьмы, а также медь, загрязненная примесями, которая рассматривается как медь каргалинского происхождения, к которой добавлена медь иного происхождения. При этом в срубной выборке эта последняя и «чистая медь» составляют почти половину (Черных, 2007, с. 92—95).

Задумаемся, о чем идет речь. Без каких-либо аналитических доводов, предлагающих химические способы различения меди разных месторождений, любая нелегированная медь объявляется каргалинской. В данной книге уже неоднократно говорилось, что с помощью спектрального анализа установить связь не то что металла, а даже руды с каким-то конкретным месторождением представляется нереальной задачей. Пока это невозможно и практически всеми иными более современными методами. Если с помощью спектрального анализа шлака еще как-то можно обсуждать тип рудовмещающих пород, и намечать подобные связи (и то далеко не всегда), то с металлом нельзя и этого. Единственная возможность — установить тип лигатуры и степень легированности. Поэтому доказательства присутствия каргалинского металла на широких пространствах Восточной Европы не существует, и на современном уровне развития археометаллургии трудно сказать — появятся ли подобные возможности в обозримой перспективе.

С учетом переплавок металла эта перспектива сомнительна, даже если мы допустим какое-то фантастическое развитие аналитической техники.

С началом археологических работ на Каргалах стало складываться впечатление, что объемы горных работ в древности были там настолько велики, что местных лесных ресурсов было недостаточно для обеспечения плавки. Предполагается, что в бронзовом веке, как и впоследствии русскими промышленниками, на Каргалах было добыто около 5 млн тонн руды, из которой было выплавлено по разным оценкам 125—130 тыс. или 55—60 тыс. тонн меди, которая затем распространялась по всей Восточной Европе, по территории площадью 1 млн км² (Черных, 1997, с. 75; 2002, с. 88). Однако оценка реальных объемов добычи и выплавки — задача невероятно трудная. Мы уже критиковали, на наш взгляд преувеличенные оценки объемов работ на руднике Воровская Яма, где предполагается получение 10 тонн меди (Зайков и др., 1995; Григорьев, 2000, с. 500). Исследователи анатолийского энеолитического рудника Мургул предполагают добычу 20 тонн меди, поскольку шлаковые отвалы этого времени весят около 200 тонн (Lutz и а., 1991, S. 65). В любом случае это всегда слишком субъективные оценки, неподдающиеся верификации. В случае с Каргалами нет никакой возможности определить истинные объемы добычи в древности, поскольку по древним разработкам впоследствии работали русские промышленники.

Более реально оценить ареал, в котором могли плавиться каргалинские руды, поскольку предполагается, что из-за нехватки леса руду вывозили в Башкирию и Поволжье. Причем делается этот вывод практически исключительно по аналогии с методами русских промышленников XVIII—XIX веков (Черных, 1997, с. 68; 2002, с. 104; Каргалы, 2002, с. 49). В тех районах, где идет массовое производство металла, ориентированное на поставки за пределы этого района, действительно часто наблюдается уничтожение лесов. Это случилось на Кипре, где еще Страбон описывает могучие леса, которые были потом уничтожены (Forbes, 1958, p. 18; Constantinou, 1982, p. 22). На Юго-западе Танзании, в развитом районе традиционной металлургии, леса сократились, вероятно, по той же причине (Varndon, 1996, p. 62).

В степном Оренбуржье лесные массивы были несопоставимо меньше, чем в этих двух районах. Толчком к гипотезе о вывозе руды за пределы рудного ареала послужили работы на Каргалах испанских специалистов, пришедших к следующим выводам. В отличие от идеи о том, что металлургическое производство способствовало уничтожению лесов, палинологические исследования показали, что ситуация с лесными ресурсами не изменялась, и в эпоху бронзы их было столько же, сколько сейчас (Каргалы, 2002а, с. 165). Предполагается, что в срубное время было добыто около 10 000 тонн меди (прочая медь добыта раньше). По расчетам С. Ровиры, подобное производство потребовало бы каждый год 37 500 кубометров леса. Это соответствует 150 га леса ежегодно. В районах Каргалов лес занимает 2,6% площади. Причем не весь лес мог быть использован для металлургических операций. Если допускать объемы производства, предполагаемые Е. Н. Черных, требовалось 9000 га леса при шестилетнем цикле восстановления. Исходя из процента леса в этом районе, была необходима эксплуатация территории площадью 3500 км² (350 000 га), в то время как площадь Каргалов в 7 раз меньше (Rovira, 1999, p. 110; García et al., 2000, p. 34, 35). Необходимо учитывать, что это предельные цифры, и возможно, этот лимит и не выбирался полностью.

Возможны и иные оценки. По весьма приблизительным оценкам П. Ф. Кузнецова, в эпоху средней бронзы население Волго-Уралья составляло 50 тысяч человек (Кузнецов, 1991, с. 14). Для Зауралья в этот период я допускал цифру 20—30 тыс. человек (Григорьев, 1999, с. 125). Для долины Тобола площадью 650 км² допускается проживание в эпоху поздней бронзы 600—1400 человек. Причем речь идет о долине, а не о водоразделах (Евдокимов, Поваляев, 1989). Если допустить, что население территории

(1 млн км²), которую обеспечивали металлом Каргалинские рудники, составляло 1 млн. человек (а эта цифра, наверняка, безумно преувеличена), то в ходе 300-летней эксплуатации в срубное время каждый из них, включая женщин и детей, получал ежегодно 333 г меди. На семью из восьми человек приходилось, таким образом, около 2,7 кг этого металла. А ведь эксплуатировалось и много иных месторождений. К тому же основным сырьем при изготовлении орудий наверняка был металлический лом. Поэтому представляется, что, несмотря на очевидную значимость Каргалинских рудников для обеспечения металлом Восточной Европы, оценка их производительности сильно завышена.

Напомним, что отличить древние разработки от разработок XVIII—XIX веков нет никакой возможности, и одинаковые масштабы добычи в эти эпохи только постулируются. Геологические исследования позволяют полагать, что самые богатые руды Каргалов содержали 4—5% меди. При этом руды верхнего горизонта, эксплуатировавшиеся в древности, были беднее. Они содержали лишь 1,5% меди. Е. Н. Черных тут делает сноску, что в древности они были, вероятно, намного богаче и ссылается на свидетельства об этом из XVIII века (Каргалы, 2002, с. 23, 28, 39). Но ведь мнение о более бедных рудах верхнего горизонта базируется на геологических исследованиях, которые нельзя так просто игнорировать, а не просто на осмотре имеющихся карьеров. Есть данные, что первоначально русские промышленники отрабатывали древние отвалы, и в древности бедные руды не добывались. По П. Рычкову, древние брали только руду с содержанием более 10% (Каргалы, 2002, с. 45, 46). Можно предполагать, что руды в верхнем горизонте были все же не столь богаты, хотя и были наверняка более богатые гнезда, которые и выбирались. Поэтому объемы древней добычи были намного меньше того, что представляется. Тем более что ни единого доказательства в пользу огромных объемов древних работ не приводится. Это делается лишь по косвенным признакам.

Одним из них является сопоставление количества находок на поселениях Горный и Аркаим. На Горном на площади 880 м² обнаружено 4,5 тысячи кусков шлака, огромное количество керамики, костей и иных находок. На Аркаиме площадь раскопа на порядок больше, а находок на один — два порядка меньше (Черных, 2002, с. 97, 98). Возможно, из этого должно следовать превосходство Горного и его уникальная роль в обеспечении металлом Восточной Европы. Однако подобные сопоставления не вполне правомерны, поскольку речь идет о памятниках разного типа. Аркаим как раз и поражал исследователей, привыкших работать на насыщенных находками стандартных поселенческих памятниках степной Евразии, бедностью своего культурного слоя. Это объясняется тем, что на поселениях синташтинской культуры практически отсутствуют межжилищные пространства, и исследователи имеют дело, главным образом, с теми находками, которые лежат на полах жилищ, и которые не были забраны, когда поселение было оставлено. Имела место традиция постоянной уборки жилищ и прилегающей территории. При сопоставлении количества находок на Горном с некоторыми другими памятниками, например, с Ботаем, разница будет не столь ощутимой.

Есть этому и еще одно объяснение. Следует иметь в виду, что тщательность исследований с просеиванием и промывкой слоя, которую осуществил Е.Н. Черных со своими сотрудниками, была чрезвычайной, и методический уровень этих работ очень высок. Указанная выше площадь была вскрыта за восемь полевых сезонов. При этом фиксировались и учитывались мельчайшие фрагменты костей и шлака, часто крошки, мелкие капли меди, что не производится обычно на иных памятниках¹. Сказывается и

¹ В последнее время, работая на энеолитических поселениях острова Веры, мы применяем столь же тщательные методики. На одном из поселений на западном берегу острова (Остров Веры 7) в раскопе площадью 16 м² было получено около 30 тысяч находок, но не думаю, что это какое-то выдающееся поселение в системе уральского энеолита.

то, что на Горном почти нет целых кусков шлака, так как шлак измельчался для извлечения металла. При общем количестве шлака 4539 образцов, вес его составляет всего 20 кг (Кузьминых, 2004, с. 101), а это уже не является цифрой, поражающей воображение. Историки металлургии знают много примеров, когда вес шлака различается с этим последним числом на один или несколько порядков (напр. см. выше о шлаковых отвалах Мургула) и не торопятся называть эти объекты единственным источником металла огромного региона. Даже на менее известных объектах количество шлака намного выше. На поселении Новошувльбинское на Алтае на площади 108 м² обнаружено 115 кг шлака (Ситников, 2006, с. 150). То есть, если измерять не количеством фрагментов, а в весовом отношении (а только это определяет объемы производства), насыщенность слоя шлаком на поселении Новошувльбинское превышает таковую на Горном более чем в 47 раз! Кстати, и на поселении Синташта общий вес шлака был больше, но там и вскрыты значительно большие площади.

Еще одним аргументом против массовых поставок металла с Каргалинских рудников является низкая технологичность местных плавков. При всей сложности плавки окисленных руд в силикатных породах изумляет то, что за весь длительный период эксплуатации этих рудников металлурги не сумели решить эту проблему. Процент извлечения меди из руды был не слишком высок. Это серьезно влияло на трудозатраты, делало эти плавки малоэффективными, а для массового производства вопрос рентабельности стоял и в древности.

Еще более сомнительным представляется транспортировка каргалинской руды, так как в других районах Поволжья и Приуралья можно было найти более близкие рудные источники, причем с более удобной для плавки рудой. Зачем транспортировать столь проблемную руду на значительные расстояния? Наконец, мы видели, что шлак в Поволжье и Башкирском Приуралье имеет иной минеральный и химический состав, он выплавлен из иных руд. Однако налицо и минералогическая разница каргалинского шлака со шлаками западных районов Оренбуржья. Следовательно, даже там эксплуатировались местные источники.

Поэтому, отмечая тот факт, что Каргалинские рудники являлись важным центром горного дела, и поселение Горный есть памятник, безусловно, интересный и прекрасно исследованный, хочется подчеркнуть, что тенденция к их абсолютизации, наметившаяся в последнее время, не подкрепляется фактами.

Исходя из результатов анализов шлака, обсужденных выше, мы можем сделать вывод о том, что на территории Оренбургского Приуралья эксплуатировались месторождения в медистых песчаниках, расположенные в этом регионе. Представляется наиболее вероятным, что плавка руды из Каргалов осуществлялась на поселениях, примыкающих к этому рудному полю. Радиус вывоза каргалинской руды составлял, таким образом, максимум 50—90 км. Вообще, в древности дальняя перевозка сырья, по-видимому, не практиковалась. Обратные примеры встречаются не часто, хотя известны. В римское время лучшая железная руда Италии находилась на Эльбе. Но из-за отсутствия леса ее везли в Лигурию морем (Forbes, 1958, p. 18). Для мощного римского торгового флота это была не такая невозможная операция. К тому же, после получения криц из печи их было удобнее сразу начинать проковывать. Но обычно даже с железодельным производством возили не руду, а уголь, что было гораздо легче. Судя по этнографическим данным, в Африке в период, когда там было большое производство, уголь иногда импортировали караванами из отдаленных районов, на расстояние 20 км и более (Goucher, Herbert, 1996, p. 49). Но это несколько десятков километров, а не сотни километров с транспортировкой руды!

В особенности это касается медной руды. Даже если допустить, что в эпоху бронзы отбирались более богатые руды с содержанием меди до 10%, которые тщательно со-

ртировались и обогащались на руднике, это все равно будут совершенно неразумные затраты, тем более что при плавке окисленных песчаниковых руд довольно велики потери металла в виде как меди, так и куприта. Поэтому несопоставимо проще и дешевле везти готовый металл. Видимо, в тех ситуациях, когда истощались лесные ресурсы региона, производство на древних рудниках замирало.

В археометаллургии существует аксиома: для древних металлургов общие запасы месторождения были абсолютно непринципиальны. Это важно для промышленного производства, когда необходимо нести существенные затраты на разведку запасов месторождения, строительство заводов, рудников, обогатительных фабрик и всей прочей инфраструктуры. В древности же наиболее важным был выход руды на поверхность, удобство руды для плавки, близость рудника к поселению. И два последних фактора полностью исключают возможность экспорта каргалинской руды в другие регионы. Поэтому абсолютно прав Ю.И. Колев, который отмечал, что в обеспечении металлом Восточной Европы неизмеримо большую роль играли небольшие месторождения недалеко от поселений, такие как Михайло-Овсянка (Kolev, 2010, S. 16, 17). Примером может служить обнаружение на северо-востоке Самарской области следов добычи руды из медистых песчаников и поселения Кибит I (рис. 9-1), где эта руда плавилась (Кузнецов и др. 2005). Поэтому проблема наличия или отсутствия местных поволжских плавок медистых песчаников есть лишь проблема степени исследованности той или иной территории. Это подтверждается и ситуацией на западе, в районе Дона и Северского Донца.

Глава 10. Горно-металлургическое производство Подонья и Донбасса

Из предыдущих глав мы увидели, что в срубное время металлургическое производство было достаточно хорошо представлено не только в Оренбуржье, но также в Башкирском Приуралье и, в меньшей степени, в Поволжье. Поэтому иногда складывалось впечатление, что с востока металл распространялся в западные ареалы срубной общности. Однако, как показывают последние работы в Подонье и Донбассе, это впечатление обманчиво.

Рудная база региона

В Донецко-Воронежском регионе имеется значительное количество выходов медистых песчаников на поверхность. Территориально они делятся на две части — воронежскую и донецкую (рис. 10-1).

В воронежской зоне месторождения представлены песчаниками, состоящими из кварца, реже полевого шпата, сцементированными карбонатными и сульфидными медными минералами. Основной рудный минерал — халькопирит. Встречаются налеты и корочки малахита по плоскостям сероцветных песчаников. Месторождения приурочены к восточному склону Павловского выступа Воронежского кристаллического массива

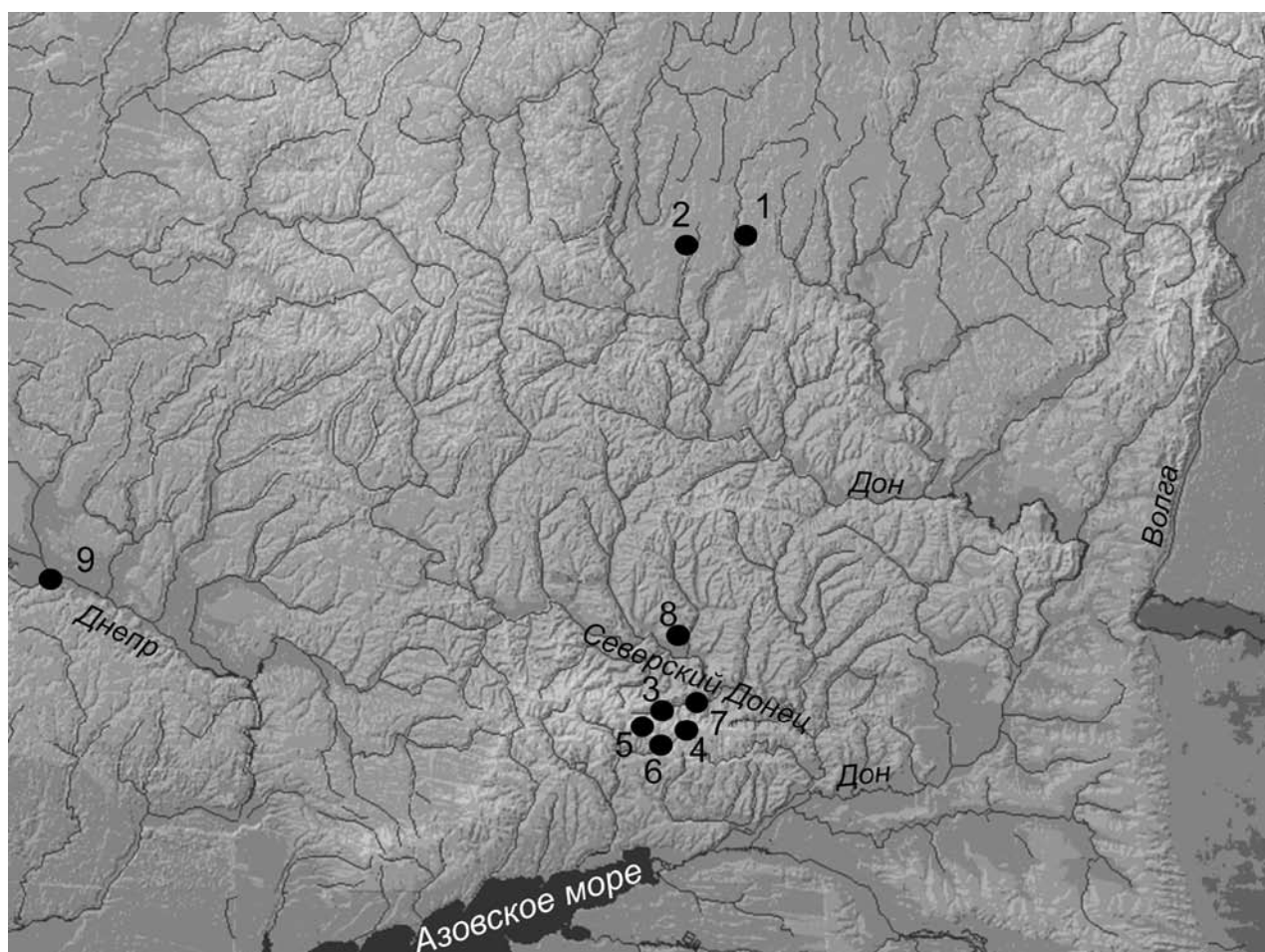


Рис. 10-1. Карта памятников Донецко-воронежского района, памятники воронежской зоны — 1, 2, донецкой — 3-8: 1 — Мосоловское; 2 — У Вогрэсовской дамбы; 3 — Пилипчино; 4 — Выскровка; 5 — Клиновое; 6 — У Медной Руды; 7 — Червонэ Озеро; 8 — Усово Озеро; 9 — Суботовское городище

(Наркелюн и др., 1983, с. 29, 30). Древние выработки этой зоны нам не известны. На территории Павловского выступа есть выходы руды на поверхность. Поэтому исследователи полагают, что для расположенного в этом районе Мосоловского поселения следует искать местные рудные источники, так как транспортировка руды на значительные расстояния нереальна (Молотков, Альбеков, 2004, с. 116, 127, 129). И мнение о том, что в Воронежской области выходы медных минералов на поверхность не известны, поэтому на Мосоловское поселение руду возили из Донецкого бассейна (Шубин, 2010, с. 199), вероятно, неправомерно.

В Донецкой области зафиксировано 34 рудопроявления в Бахмутинской и Кальмиус-Торецкой котловинах, и по бортам этих котловин оруденение выходит на поверхность (Наркелюн и др., 1983, с. 31; Татаринов, 1978, с. 251). Руда представляет собой зеленовато-серый песчаник, пропитанный медью и состоящий, прежде всего, из кварца. Ведущим минералом оруденения является халькозин, реже встречаются борнит и халькопирит. В зоне окисления наблюдается минерализация малахита, азурита, куприта, реже ковеллина. Часто они замещают обуглившиеся растительные остатки. Лимонит в окисленной зоне распространен относительно редко (Сатпаева, 1958, с. 147—150). Руда залегает линзами. В среднем она содержит 1—2% меди, но отдельные куски до 10%. Глубина окисленной зоны достигает 30 м (Яговкин, 1932, с. 51, 52; Лурье, Краснопевцева, 1969, с. 72). Почти на всех рудопроявлениях, где зона окисления выходит на поверхность, имеются древние выработки (Татаринов, 1978, с. 251—255; Федоровский, 1921, с. 5, 6; Лурье, Краснопевцева, 1969, с. 61—66). На выходящем на поверхность месторождении Суходольское, минерализация на котором представлена халькозином и борнитом, выработок нет, хотя содержание меди в руде составляет 13,84% (Лурье, Краснопевцева, 1969, с. с. 71). Поэтому может сложиться впечатление, что сульфидная руда древних горняков не интересовала. Однако последние исследования показывают, что это не так, и добывалась именно сульфидная руда или сульфидная руда с окисленной.

Исследования С.И. Татарина привели к выделению в Донбассе, в районе Бахмутинской котловины важного горно-металлургического центра площадью около 1000 кв. км, с обилием выработок и следами плавки руды. Добыча этих руд производилась как открытыми карьерами, так и шахтами. Интересно и то, что в этом районе зафиксированы древние выработки по добыче ртутного минерала киновари, и там же есть минерализация арсенопирита, содержащего высокие концентрации сурьмы, что могло использоваться для изготовления мышьяково-сурьмяных бронз (Татаринов, 1989, 2001, 2003).

Памятники металлургии

Некоторые исследователи не исключают начало разработки местных руд квитянским (постмариупольским) населением в энеолите и кемиобинским в РБВ (Черных, Николова, 2003).

Упомянутые выше места добычи арсенопирита, который мог использоваться для производства катакомбных мышьяковых бронз, как будто указывают на возможность разработок в СБВ, хотя это лишь предположение. На Выскривке зафиксировано стратиграфически раннее положение рудника относительно срубного поселения ПБВ (Кравец, Татаринов, 1996). Но этот рудник может датироваться более ранним временем в рамках срубного периода. С. И. Татаринов также полагает, что на основании присутствия катакомбных курганов в районе рудников (где зафиксирован арсенопирит с высокими концентрациями сурьмы) требует пересмотра утверждение Е. Н. Черных о северокавказской принадлежности мышьяково-сурьмяных бронз катакомбных культур (Татаринов, 2003, с. 200). Но в катакомбной культуре в мышьяковых бронзах концентрации сурьмы невелики (Черных, 1966, рис. 20). Более вероятны разработки арсенопирита с высоким

содержанием сурьмы в срубное время, тем более, что такую технологию мы обсуждали выше применительно к ПБВ Башкирского Приуралья.

Все это относится и к культуре многоваликовой керамики (бабинской), где можно говорить о специфической металлообработке, но данных о плавке руды нет (Литвиненко, 2003). Следовательно, у нас нет документальных оснований для утверждений, что металлургическое производство в регионе могло базироваться на местной традиции. Несмотря на наличие предположений на эту тему, надежные следы эксплуатации рудников в период средней бронзы населением катакомбной общности или культуры многоваликовой керамики отсутствуют (Татаринов, 2003, с. 197).

Таковые связаны лишь со срубным и позднесрубным временем, которым в Донбассе датируется целая серия рудников и поселений со следами металлургического производства (рис. 10-1). Самыми древними из них являются Пилипчатино и Выскровка, которые могут датироваться в пределах 17—15 вв. до н. э. Несколько более поздним является Клиновое-1, и наиболее поздними, с датами в пределах 13—11 вв. до н. э., являются поселение Клиновое-2 и комплекс у Медной Руды (Татаринов, 2001). То есть, последние памятники относятся уже к периоду финальной бронзы. Наконец, важным комплексом являются поселения и рудники Червонэ Озеро. Поселение Червонэ Озеро 3 относится к первому этапу бережновско-маевской срубной культуры (Бровендер, 2008, 2009—2010).

В Воронежской зоне располагается одно из наиболее значительных памятников металлургического производства на территории Северной Евразии — поселение Мосоловское. Особенно впечатляют факты, указывающие на металлообработку — колоссальное количество фрагментов литейных форм (около 700 экземпляров) (Пряхин, 1996, с. 18), что не имеет аналогов на других объектах эпохи бронзы. Это создавало впечатление мощного центра, ориентированного, прежде всего, на металлообрабатывающее производство. Однако на поселении были сделаны также находки, недвусмысленно свидетельствующие о местном получении меди — шлаки и реже кусочки руды. Ранее три образца шлака с поселения подвергались анализу, что позволило заключить, что проанализированный материал является шлаками, полученными при плавке руды (Пряхин, 1996, с. 55). Плавка руды предполагалась и на основании более ранних раскопок поселения у Вогрэсовской дамбы (Подгаецкий, 1941). Вместе с тем, А.Д. Пряхин отмечает, что на сегодняшний день четкие критерии для определения объемов этого производства на поселении отсутствуют (Пряхин, 1996, с. 77).

Форма шлака

К сожалению, из всех шлаков, обнаруженных в регионе, мне удалось познакомиться только с мосоловской коллекцией, из которой часть образцов попала на анализ. Большая часть проанализированных шлаков (12 ед., обр. № 105, 767—772, 775) представлена тяжелым бесформенным шлаком серого цвета. Поверхности неровные, бугристые. Одна из них более уплощена. Часть шлака (3 ед., обр. 106, 776, 777) отличалась большей жидкотекучестью; в результате сформировались плоские шлаковые лепешки, одна поверхность которых была гладкая и бугристая, а вторая гладкая и очень ровная с металлическим блеском. Видимо, эта поверхность соприкасалась со слитком металла. Один из образцов имел диаметр около 20 см. Таким образом, разница в форме шлака была обусловлена исключительно степенью его вязкости, и в коллекции резко преобладают более вязкие образцы (таб. 10-2).

Наконец, два образца оказались подверженной термическому воздействию рудой (№ 773, 774), и один — слитком меди (№ 778).

Форма шлака Мосоловского поселения

Бесформенный шлак	Уплотненный шлак
12	3
80%	20%

Минералогия шлака

Небольшое количество образцов Мосоловского поселения было подвергнуто минералогическим анализам (12 образцов шлака и 2 руды) с помощью рудного микроскопа в отраженном свете. Помимо этого, один из образцов был исследован с помощью сканирующего электронного микроскопа (6 анализов) в Горной Академии Фрайберга (Германия). Было сделано также 10 спектральных анализов шлака этого поселения, а также один анализ шлака и один обмазки с Пилипчатино. Учитывались и анализы материалов донбасских памятников, но количество анализов там тоже невелико (Шубин, 2010).

Среди шлака выявлено два образца руды, в разной степени подвергнутые термической обработке. Первый из них (№ 773) представлен ковеллином, частично замещенным изотропным сульфидом, купритом и медью. Иногда по краям в стекле прорастают скелеты магнетита.

Во втором образце рудовмещающая порода представлена лучше. Это мелкие кусочки кварца на магнетитовом цементе. Руда, таким образом, не требовала железистых флюсов. В породе присутствуют малахит и хризоколла, но в большей степени это крупные зерна, корольки и расплав медного сульфида. Его замещают куприт и медь. В стекле фиксируются зародыши и иголки фаялитовой кристаллизации. Кроме того, в плавке использовался халькопирит, тоже привнесший оксиды железа в расплав. Поскольку проанализированная руда сильно обожжена, не исключено, что часть медных сульфидов сформировалась из халькопирита.

Такой оптимальный состав руды отразился на микроструктуре шлака. В большинстве образцов хорошо прошла кристаллизация фаялита, представленного удлиненно-призматическими, таблитчатыми или вытянутыми скелетными кристаллами, между которыми прорастают более мелкие игольчатые структуры. При этом размер кристаллов зависит не от состава шлака, а от величины образца. В крупных шлаках расплав остывал медленнее, что вело к формированию кристаллов фаялита большего размера. Анализ с помощью СЭМ показал, что это достаточно чистый фаялит, наиболее железистый минерал в оливиновом ряду, поэтому он мог формироваться при достаточно низких температурах (таб. 10-3, ан. 1, рис. 10-4). Относительно лучше фаялит представлен в более уплотненных шлаках, что вполне естественно — именно характер фаялитового расплава и оказывал влияние на вязкость шлака.

Довольно много магнетита, представленного скоплениями мелких октаэдров, между которыми часто присутствуют корольки меди и сульфида. Иногда магнетит кристаллизуется из расплава в виде мелких дендритов. В некоторых образцах содержание магнетита невелико. Он переработан в фаялит.

Встречаются зерна и довольно крупные оплавленные дендриты вюстита (дополнительная диагностика этого минерала была подтверждена анализами на СЭМ (таб. 10-3, ан. 4, 5, рис. 10-4, 10-5), но между ними присутствует много очень мелких зерен халькопирита. Вероятно, подобные структуры формировались при выплавлении медного сульфида из халькопирита и последующем выгорании серы из сульфида.

Выявлены зерна кварца. Фаялит образуется из кварца и вюстита. В кварце фиксируются включения меди, сульфида и куприта. Из рудных минералов в шлаке выявлены малахит, хризоколла, иногда корольки ковеллина, но чаще корольки и расплав медного сульфида, вероятно, халькозина. Последние бывают довольно крупными. Внутри них может восстанавливаться медь, а по внешней поверхности образовываться куприт. Куприт

Анализ образца 775 с помощью сканирующего электронного микроскопа

	Анализ	Материал	O	Si	Cu	Fe	Mg	Al	K	Ca
Весовой процент	1	оливин	30,94	22		43,93	1,83	0,69		0,61
	2	стекло	34,18	28,78		24,13		1,99	0,6	12,34
	3	медь			100					
	a	кайма вокруг меди	X		X					
	4	вюстит	22,21			77,79				
	5	вюстит	21,95			78,05				
Атомарный процент	1	оливин	53,42	21,64		21,73	2,06	0,71		0,42
	2	стекло	54,52	24,32		11,03		1,88	0,39	7,86
	3	медь			100					
	4	вюстит	49,92			50,08				
	5	вюстит	49,44			50,46				

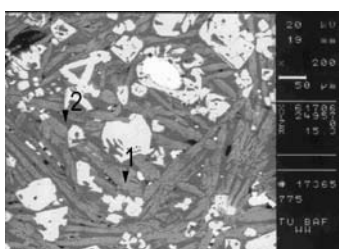


Рис. 10-4. Поселение Мосоловское, микроструктура шлака (обр. 775, ан. 1, 2). Удлиненно-призматические кристаллы фаялита (серые) в стекле (темно-серое), включения магнетита и вюstitа (светло-серое), деформированный королек сульфида (белый), окруженный вюститом

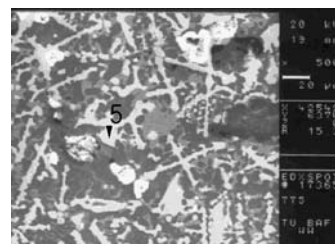


Рис. 10-5. Поселение Мосоловское, микроструктура шлака (обр. 775, ан. 5). Решетчатые и дендритные структуры вюstitа (светло-серые) и корольки сульфида (белые) в стекле

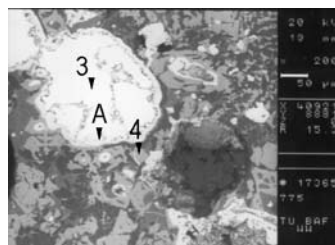


Рис. 10-6. Поселение Мосоловское, микроструктура шлака (обр. 775, ан. 3, 4, A). Корольки меди (белые) в купритовой кайме. Кристаллы вюstitа (серые) в стекляннй матрице

замещает по краям и кусочки малахита, иногда медные корольки, заместив, вероятно, сульфидную кайму. Последняя иногда окружает корольки меди. Но в этом случае куприт может быть вторичным. Иногда медь покрыта тонкой каймой, состоящей из тенорита (таб. 10-3, ан. a, рис. 10-6). Это явно не металлургическое образование, формирование его произошло уже в результате окисления в слое поселения, так как при высоких температурах он неустойчив.

Присутствуют и корольки куприта, но это не значит, что была достигнута температура его плавления. Они формируются, замещая корольки меди и сульфида. Иногда вокруг королек меди или куприта может образовываться кайма магнетита. Видимо, в этих случаях халькопирит сразу перешел в медь или куприт. Медь встречается обычно в виде королек, но иногда в виде восстановленных зерен.

Есть зерна борнита, но чаще халькопирита. Вероятно, основной рудой были все же ковеллин и халькозин, но при потере части серы образуется иной сульфид, с меньшим ее содержанием, чем в ковеллине. Этот сульфид может образовываться и из халькопирита. Поэтому долю различных сульфидов определить сложно.

В одном из образцов зафиксированы частицы восстановленного железа.

Но в целом, частиц руды, меди и куприта в шлаке осталось совсем немного. Расплав хорошо переработан. При этом, температура держалась, видимо, в пределах 1200—1350 °С, поскольку температура плавления куприта достигнута была не всегда, фаялит выкристаллизовался очень хорошо, а вюстит образует оплавленные дендриты, но протекание его и образование крупных корольков не наблюдается.

Проверка этого была сделана с помощью построения фазовой диаграммы системы $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2-\text{CaO}$ для фаялита, стекла и вюstitа в шлаке обр. 775 (таб. 10-3, рис. 10-7). На ней хорошо видно, что данные образцы вюstitа должны плавиться около 1350—1370 °С, а фаялита около 1250 °С. После кристаллизации фаялита расплав терял железистый компонент, и застывал в температурном промежутке 1100—1200 °С). С учетом этих данных можно заключить, что предлагаемый температурный интервал вполне корректен.

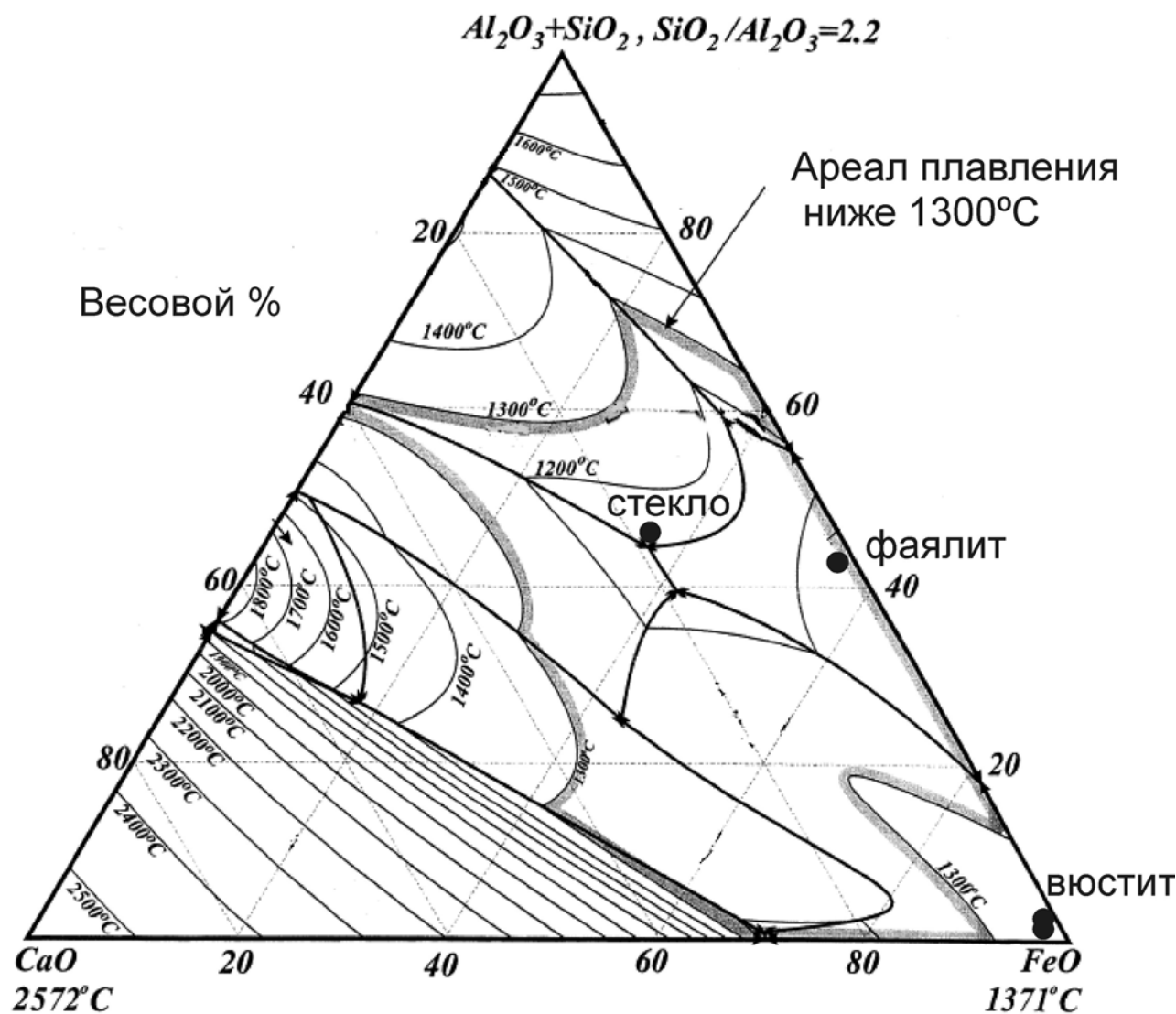


Рис. 10-7. Фазовая диаграмма системы $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2-\text{CaO}$ для фаялита, стекла и вюstitа в шлаке обр. 775

Плавка продолжалась, вероятно, продолжительное время. Все материалы хорошо переработаны. Атмосфера восстановительная или умеренно окисленная, что способствовало формированию фаялита, вюстита и иногда даже восстановлению из вюстита железа. Температура снижалась постепенно. Из последнего можно сделать вывод, что слива шлака не происходило, и этот шлак формировался непосредственно в печи или тигле. Это подтверждается также тем, что дендриты вюстита и кристаллы фаялита довольно крупные, и шлак явно не испытывал резких перемещений.

Несколько выбивается из этой серии два образца. В обр. 772 резко преобладает силикатный компонент, что помешало формированию хорошего фаялитового расплава, но не повлияло на увеличение потерь меди. В обр. 770 фаялитовая кристаллизация прошла, напротив, хуже из-за резкого преобладания железистого компонента, вызванного плавкой в этом случае халькопирита. В результате значительное количество магнетита способствовало сохранению в шлаке меди.

Однако, в целом, плавку этого типа можно назвать очень экономичной и почти совершенной. Потери меди в виде металла и руды совершенно незначительные: лишь в двух образцах обожженной руды и в упоминаемом выше образце шлака № 770 содержание медных компонентов в шлаке превысило 1%. Во всех прочих оно колеблется в пределах 0,1—1% (таб. 10-8), что не выше, чем в синташтинской металлургии.

В результате плавки получали черновую медь, требующую рафинирования. Исследование одного слитка (обр. 778) выявило в меди включения корольков куприта и сульфида меди. Не исключено и то, что в результате многих плавок получали смесь, состоящую из сульфида меди и меди, которая тоже требовала повторной переплавки. Но часто получаемая медь была достаточно чистой (таб. 10-3, ан. 3, рис. 10-7). В отличие от синташтинской технологии легирования мышьяком на стадии плавки руды, здесь оно не производилось (таб. 10-8), что подтверждается и анализами металла (Рындина, Дегтярева, 1989). Нет оснований допускать и использование флюсов, хотя мелко дробленные кости животных в качестве флюса не исключены, так как в составе стекла в шлаке содержание кальция составляет 7,86 вес.%. (таб. 10-3, ан. 2, рис. 10-4). Единственная химическая аномалия отмечена для образца 773, который является обожженной рудой. В нем спектральным анализом выявлено высокое содержание серебра и бария, что напоминает оренбургскую ситуацию, где в шлаках отмечены повышенные концентрации этих элементов. Но в данном случае речь совершенно определенно идет о медной руде с этими примесями, а не о флюсующем компоненте. Причем, в выплавленных шлаках эта примесь не отмечена.

Работы по изучению шлаков срубных памятников Донбасса тоже проводились. Было показано, что в плавке активно использовались сульфидные руды, преимущественно, халькозин, зафиксирован и ковеллин, но главным минералом Картамышского рудного поля был джарлеит. Между собой эти минералы различаются соотношением меди и серы. В руде представлены также малахит и азурит, изредка халькопирит. Сульфиды в шлаке расплавлены, отмечены также магнетит и α -кварц. Флюсы не использовались, так как кальций и кварц присутствуют в руде. В шлаках и штейнах нет олова или мышьяка, и бронзы получали уже добавлением легирующего компонента в черновую медь. Это предпочтение вторичных сульфидов типа халькозина подтверждается и обнаружением следов его дробления на поселении Червонэ Озеро 3, а также анализом шлака. Окисленные руды тоже поступали в плавку, но их использование было распространено в меньшей степени (Шубин, 2010; Бровендер, 2009—2010, с. 217).

Таким образом, мы видим параметры плавки, близкие тем, что установлены для Мосоловского поселения.

Спектральный анализ (%) шлака, руды и обмазки с поселений Мосоловское и Пилипчатино

Памятник	Материал	Образец	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
Пилипчатино	шлак	758	0,003	0,0015	0,015	0,3	0,01	0,3	0,001	0,0003	1	0,7	0,007	0,001	0,005	0,0015	0,2	0,05	<0,001	0,0003	0,0002	0,015	0,001	0,002	0,00015
Пилипчатино	обмазка	759	0,02	0,002	0,03	0,1	0,015	0,7	0,002	<0,0003	0,5	0,015	0,003	0,002	0,005	0,0002	0,07	0,015	0,001	0,0003	0,0003	0,015	0,0015	0,002	0,00015
Мосоловское	шлак	767	0,001	0,0015	0,007	0,15	0,003	0,2	0,0005	0,00015	0,1	0,015	0,002	0,0005	0,005	0,0002	0,05	0,01	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0005	0,002	0,00015
Мосоловское	шлак	768	0,003	0,002	0,007	0,15	0,0015	0,3	0,0005	0,0003	0,7	0,01	0,002	0,001	0,005	0,0003	0,07	0,01	<0,001	0,0015	0,0002	0,015	0,001	0,002	0,00015
Мосоловское	шлак	770	0,015	0,005	0,007	0,15	0,0015	0,2	<0,0005	0,005	>>1	0,015	0,03	0,003	0,005	0,00015	0,07	0,01	<0,001	0,05	0,0001	0,015	0,001	0,0015	0,00015
Мосоловское	шлак	771	0,005	0,007	0,005	0,3	0,0015	0,2	0,0005	0,0003	0,7	0,5	0,02	0,0007	0,005	0,0003	0,2	0,03	<0,001	0,01	0,00015	0,015	0,001	0,002	0,00015
Мосоловское	шлак	772	0,005	0,002	0,01	0,3	0,0015	0,3	0,0005	0,00015	0,3	0,01	0,002	0,0005	0,005	0,0007	0,15	0,015	<0,001	0,005	0,0002	0,015	0,001	0,0015	0,00015
Мосоловское	руда	773	0,002	0,001	0,005	0,1	0,007	0,1	0,0005	0,003	>>1	nd	0,02	>10	0,005	0,003	1	0,03	<0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,001	0,001	<0,0001
Мосоловское	руда	774	0,03	0,01	0,007	0,1	0,005	0,2	0,0005	0,0003	>>1	0,01	0,03	0,002	0,005	0,0005	0,07	0,02	<0,001	0,03	0,00015	0,01	0,001	0,002	0,00015
Мосоловское	шлак	775	0,007	0,01	0,0015	0,1	0,0015	0,07	0,0005	0,0002	1	0,07	0,005	0,0005	0,005	0,01	0,03	0,01	<0,001	0,0015	0,00007	0,0015	0,001	<0,001	0,0001
Мосоловское	шлак	776	0,001	0,0003	0,005	0,3	0,003	0,2	0,0005	<0,0003	0,03	0,007	0,001	0,00005	0,005	0,0003	0,15	0,02	<0,001	0,0003	0,00015	0,01	0,0005	0,0015	0,0001
Мосоловское	шлак	777	0,005	0,015	0,001	0,15	0,003	0,07	0,0005	0,0005	>>1	0,15	0,015	0,002	0,005	0,01	0,02	0,01	0,0015	0,007	0,00007	0,001	0,001	<0,001	0,0001
Чувствительность анализа			0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,00003	0,01	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,00003	0,001	0,0005	0,001	0,0001

Металлургические печи

Как и повсеместно, наиболее сложным вопросом является реконструкция использовавшихся для плавки руды теплотехнических сооружений. В Донбассе решение этой проблемы можно наметить. На поселении Червонэ Озеро I выявлено скопление кусков медистого песчаника округлой формы, с пустым пространством в центре, вероятно, печь диаметром около 1 м (рис. 10-9). На это указывает то, что рядом обнаружены шлак и каменные орудия. Выявлено еще одно скопление шлака и камней, но конструкцию проследить не удалось. Здесь же найдены наземные или углубленные каменные ящики из вертикальных плит, служившие для хранения руды (Бровендер, 2008, с. 189—193).

На поселении Червонэ Озеро 3 в постройке 2 у колодца выявлены остатки очагов, хотя данных о том, что какой-то из них был соединен с колодцем, как в синташтинской культуре, нет (рис. 10-10). Это слегка углубленные очажные конструкции небольшого диаметра (около 30 см). В одной из ям обнаружен сосуд, в котором находилось небольшое количество руды и шлака, но предполагается, что он использовался для хранения и промывки руды. Найдена и округлая металлургическая печь размером 0,6×0,45 м, с размером пода около 0,3 м и сохранившимися остатками ошлакованных стенок из песчаника, к которым в некоторых местах пристали комки шлака (Бровендер, 2009—2010, с. 207—211). Последнее, как будто, позволяет уверенно утверждать, что плавка велась непосредственно в печи. Однако обсуждавшийся выше сосуд содержал не только приставшую к дну рудную крошку, но и шлак. Купри-

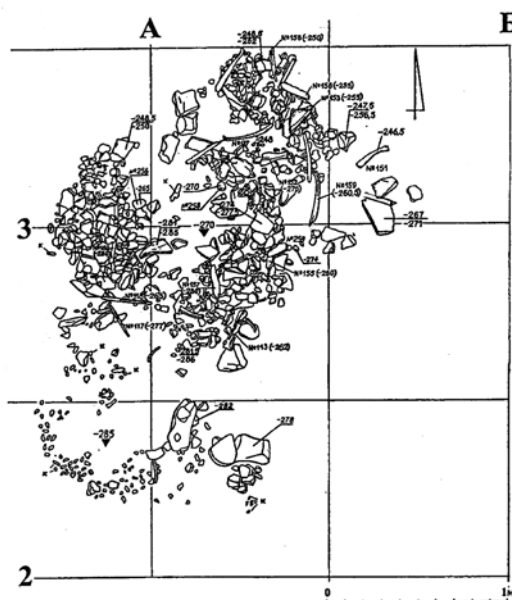


Рис. 10-9. Металлургический комплекс поселения Червонэ Озеро 1 (Бровендер, 2008)

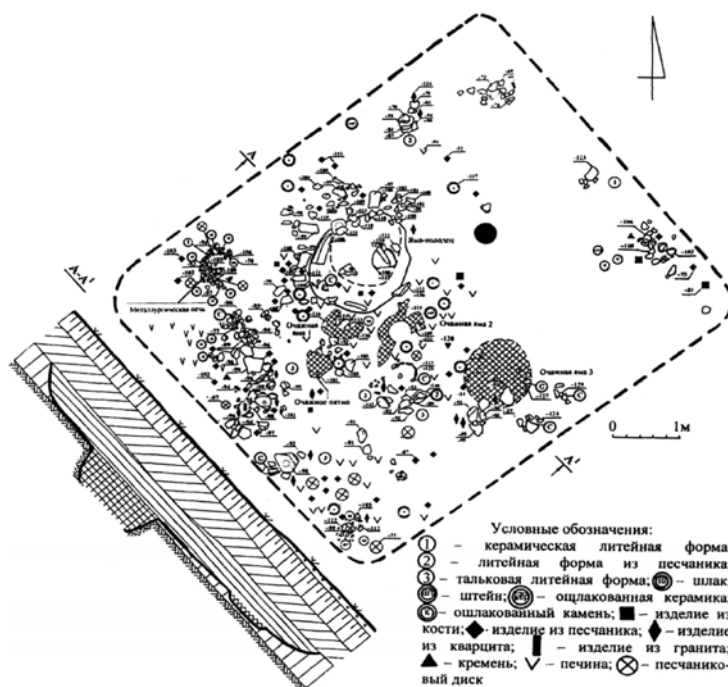


Рис. 10-10. Металлургический комплекс поселения Червонэ Озеро 3 (Бровендер, 2010)

тизированный шлак тоже могли приготовить для дополнительной переплавки, но мы можем для каких-то случаев допускать и плавку в тигле, хотя это для данного памятника, все же, не так типично. Помимо ошлакованных стенок в пользу плавки в печи говорит и обнаружение кусков сильно ошлакованной глины, видимо, обмазки (Бровендер, 2009—2010, с. 214).

В проанализированном фрагменте печной обмазки с поселения Пилипчатино содержится 0,5% меди (таб. 10-8), что тоже указывает на то, что плавка производилась непосредственно в печи.

Металлургические печи были исследованы и на поселении Пилипчатино (Татаринов, 1977). Плавка велась непосредственно в печи, хотя автор раскопок предполагает, что вместе с рудой и углем, послойно загружаемыми в печь, туда помещался еще и тигель с рудой. Однако обнаружение в печных ошлаковках капель меди, шлака и обожженных конгломератов непосредственно в печи подтверждает плавку именно в ней. Обнаруженные не до конца переработанные заполнения печей (уголь, шлак, окислы меди, куски пережженной руды) весили 10 и 15 кг. Печи состояли из вкопанной в грунт плавильной полости и углубленного предпечья (рис. 10-11). Предполагается, что загрузка печи производилась через предпечье и верхнее отверстие в глиняном своде, перекрывавшем печь. Воздух в печь подавался через сопло, которое монтировалось в верхней части углубления для печной полости. Но загрузка руды через предпечье сомнительна, тем более, что оно, судя по всему, как и печь, было перекрыто глиняным куполом. Размеры этой части у обеих исследованных печей тоже различаются. Размеры плавильной полости невелики 35×40 см и 50×50 см (с еще более углубленной небольшой частью). В первой конструкции, поэтому, была возможность генерации монооксида углерода только благодаря тому,

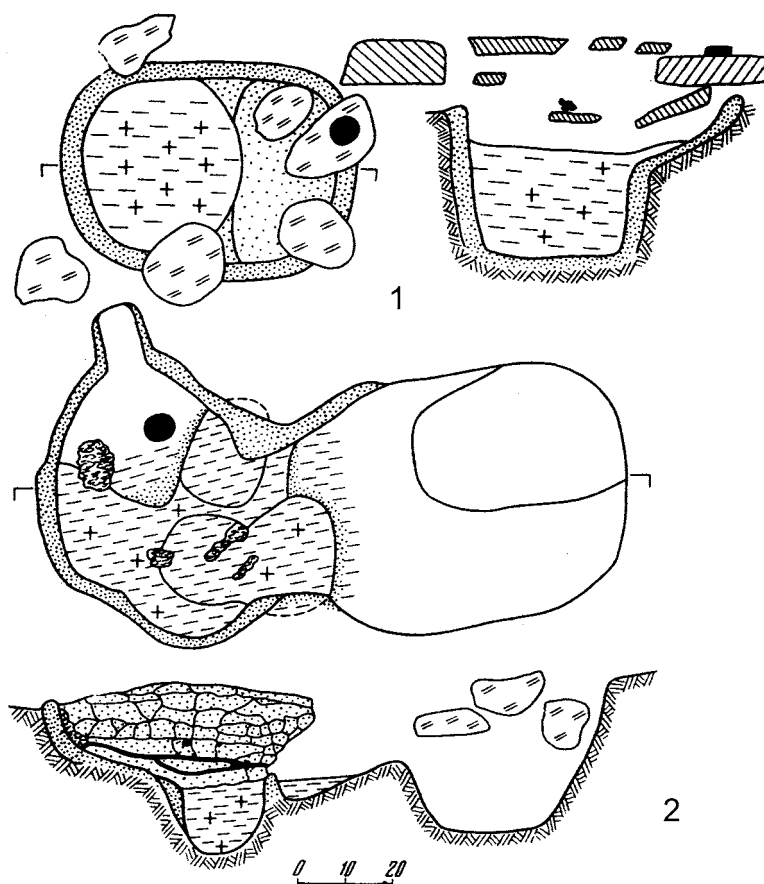


Рис. 10-11. Metallургические печи поселения Пилипчатино (Татаринов, 1977)

что печь углублена, и воздух сверху проходил через значительный слой угля. К тому же, плавил, по большей части, сульфидные руды. Во второй печи предпечь значительно больше, и окончательно смысл этой конструкции не ясен. Не исключено, что эта конструкция близка той, что выявлена на поселении Михайло-Овсянка в Поволжье.

Таким образом, в донецкой зоне существовали печи двух типов — наземные купольные округлые диаметром менее 1 м, и углубленные конструкции. В целом, оба эти типа могут вполне восходить к стандартам синташтинско-петровской металлургии. Преимущественно небольшие размеры печных сооружений затрудняли генерацию монооксида углерода, но это компенсировалось обилием сульфидов в руде, и позволяло без труда добиваться высоких температур.

Раскопки Мосоловского поселения металлургических печей, практически, не выявили. Исключением является печь ямного типа, поврежденная более поздним углублением и относящаяся лишь к позднему этапу существования поселка, и скопление обожженной глиняной обмазки на другом участке, не позволившее реконструировать само сооружение (Пряхин, 1996, с. 123). Поэтому не исключено наличие тех же типов конструкций, что и в донецкой зоне.

Наряду с этим, на поселении обнаружено огромное количество тиглей, многие из которых имеют достаточно крупные размеры (рис. 10-12; 10-13). Тщательное исследование этих тиглей позволило сделать вывод о том, что их использование в металлообработывающем производстве отличалось от стандартной переплавки меди в тигле, когда металл помещался внутрь тигля, а уголь горел за его пределами, и подача воздуха осуществлялась извне в стенку (Пряхин, Саврасов, 1993; Саврасов, 1996, с. 147). В данном случае воздух подавался непосредственно в тигель, куда наряду с медью помещался и уголь. Поэтому А.Д. Пряхин и А.С. Саврасов предположили, что таким образом могла плавиться и руда (Пряхин, Саврасов, 1993, с. 70). На фоне отсутствия металлургических печей на поселении, многочисленных находок металлургического шлака и явно масштабного производства подобное предположение может быть вполне оправданным. Косвенным подтверждением этому является обнаружение на поселении спекшихся шлакорудных конгломератов, повторяющих форму тиглей и кусков обожженного песчаника. Предполагается, что это результат преднамеренного обжига руды перед плавкой (Килейников, 1984, Пряхин, 1996, с. 123).

Проведенный анализ шлаковых остатков позволяет утверждать, что плавка не была двухступенчатой, и в результате плавки сульфидных руд металлурги могли сразу получать медь, или в иных случаях медь, смешанную с медными сульфидами. Поэтому более вероятно, что данные конгломераты являются результатом бракованных плавков. В этом случае не исключено наличие в регионе двух типов плавков — в печи и тигле, но последнее предположение надо дополнительно проверять, в то время как плавки в печи можно считать доказанными. Впрочем, форма тиглей достаточно полая, они, скорее всего, служили для предотвращения разрушения пода печи и его постоянного ремонта. Поэтому принципиально этот тип плавки не отличается от плавки в печи. Скорее всего, эти тигли указывают на стремление увеличивать частоту плавков, на то, что производство было нацелено на большие объемы, и металлурги не хотели ждать — когда печь остынет, потом отделять шлак от обмазки, ремонтировать обмазку, ждать когда она высохнет, и вновь разогревать печь.

Объемы плавки

Если рассматривать высказанную выше гипотетическую возможность о плавке в тиглях, то можно рассчитать масштабы производства. Большие объемы тиглей и способ дутья в них позволяют рассматривать их в качестве переносных металлургических печей

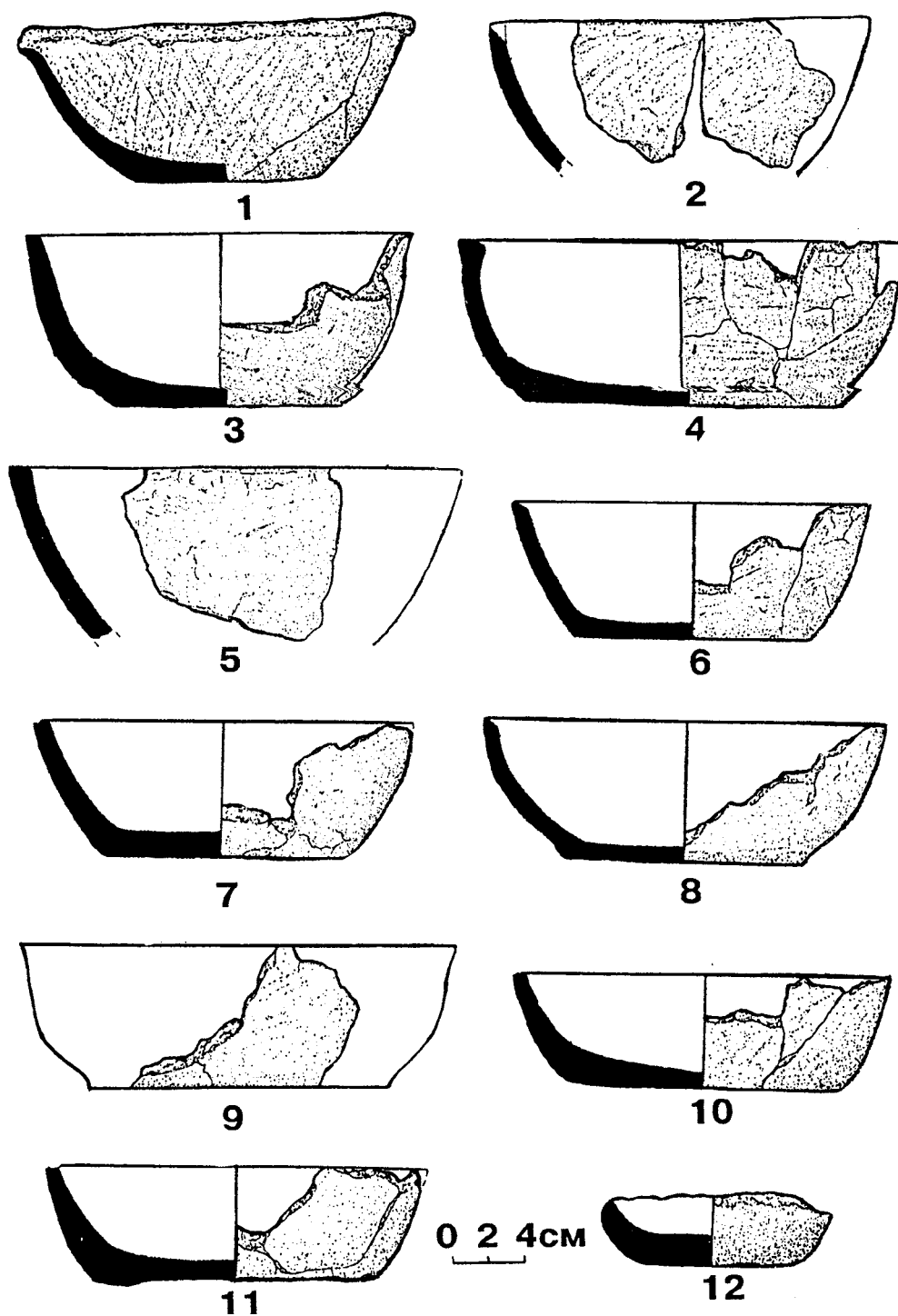


Рис. 10-12. Тигли поселения Мосоловское (Пряхин, Саврасов, 1993)

небольшого объема. Полезный объем этих тиглей колебался в пределах 600—1350 см³ (Пряхин, 1996, с. 60). Вероятно, для плавки руды использовались тигли большего диаметра — около 1000 см³. Поскольку удельный вес карбонатных руд может колебаться в пределах 2,8—3,5 г/см³, а халькопирита 4,1—4,3 г/см³, мы возьмем среднее 3 г/см³. Поэтому в подобный тигель, в принципе, можно загрузить до 3кг руды. Однако для осуществления плавки в тигель должен был быть помещен и уголь. Экспериментальные исследования показали, что соотношение объема руды к объему древесного угля должно составлять 2:1 (Bamberger, 1992, p. 157; Bamberger, Wincierz, 1990, p. 123).

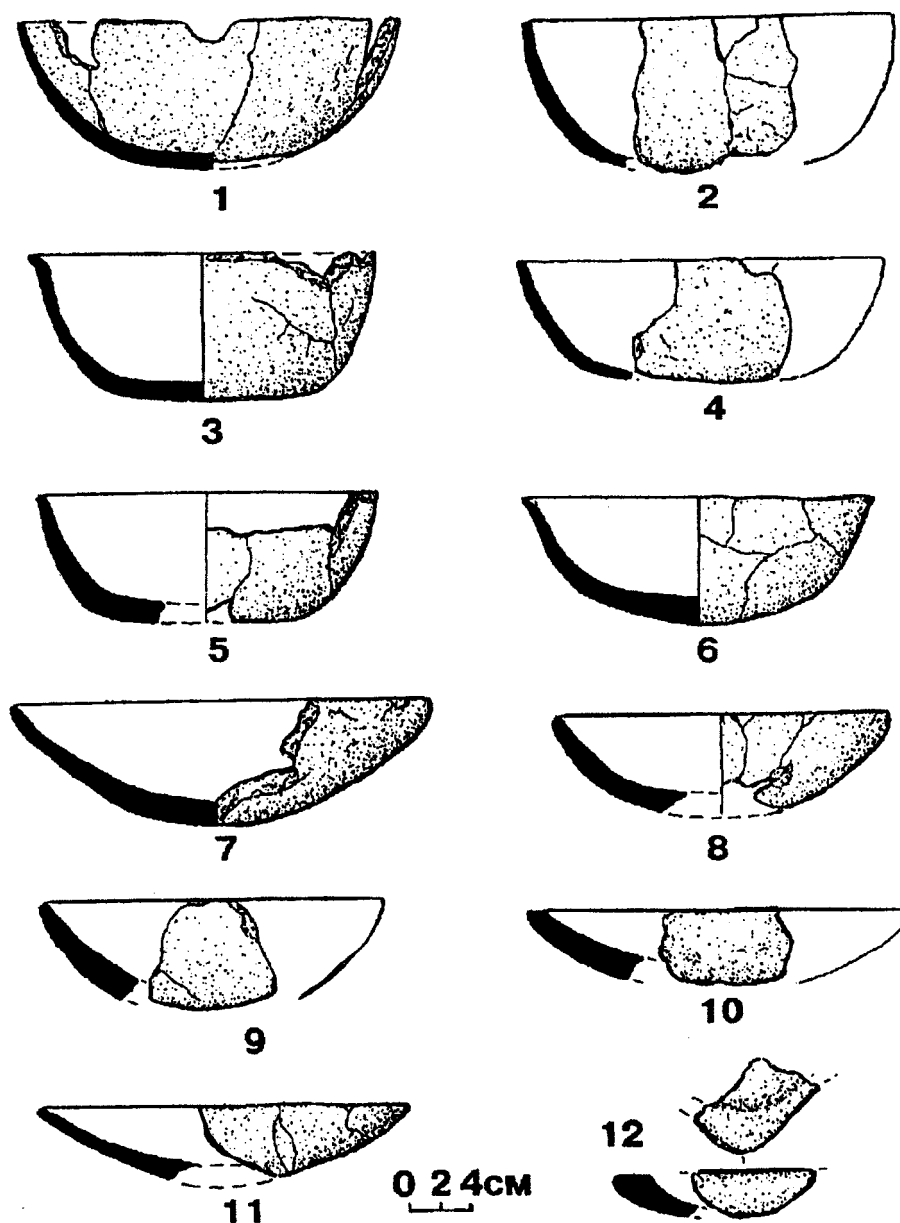


Рис. 10-13. Тигли поселения Мосоловское (Пряхин, Саврасов, 1993)

Правда, эти данные получены в экспериментах с печами и не исключено, что в случае плавки в тигле требуется меньшее количество угля. Кроме того, в случае использования сульфидов, происходит экзотермальная реакция сгорания серы, которая параллельно действует как восстановитель. Поэтому, исходя из экспериментальных данных с печами и окисленными рудами, плавка подобного количества руды потребовала бы 1,5 кг угля, а поскольку плотность березового угля составляет 380 кг/м^3 , это потребовало бы дополнительного объема около 4000 см^3 . Таким образом, количество руды в тигле должно быть уменьшено в 5 раз, что составит 600 г. Поскольку в руде присутствовала и пустая порода, выход меди мог колебаться от 60 до 200 г. В принципе, это близко тому, что мы наблюдали на синташтинских памятниках и Михайло-Овсянке.

Безусловно, мы не знаем очень многого о параметрах плавки на Мосоловском поселении, характере руды, и того, насколько полно заполнялся тигель. Поэтому приводимые цифры носят первичный оценочный характер. Поскольку для отливки одного топора

требовалось около 2—3 кг меди, что подтверждается и наличием на поселении соответствующего размера литейных форм-изложниц (Пряхин, 1996, с. 49), для получения этого металла требовалось провести до 15—25 плавов, если предполагаемый способ плавки руды в тиглях действительно имел место. Поэтому требуется дополнительное исследование тиглей для выяснения вопроса — могли ли они быть использованы не только в металлообработке, но и при плавке руды. А. Д. Пряхин отнесся скептически к возможности подобного исследования, точнее выразил сожаление по поводу ее отсутствия (Пряхин, 1996, с. 77), однако известны примеры, когда тигельная плавка была реконструирована благодаря анализам стенок тигля и выявлению в их ошлаковке такого минерала как делафоссит, который не мог сформироваться при металлообработке (Hauptmann et al., 1993, p. 566). Правда, в случае восстановительной атмосферы в тигле, этот минерал сформироваться не мог, и необходимы поиски иных критериев.

В случае плавки в печи, рассчитать объемы плавов сложнее. Но они могли быть более значительными. Например, выше уже упоминалось, что загрузка печей в Пилипчатино могла составлять 10—15 кг. Выход меди при такой загрузке был значительный — до 3 кг. Но насколько это соответствует действительности? Была ли это стандартная загрузка печи или в окончившую функционирование печь сбросили лежавшие рядом отходы? Поэтому пока эти сведения нельзя рассматривать как полностью достоверные.

Проблема рудной базы

Особой проблемой является определение источников сырья для металлургического производства. Предполагается, что для Мосоловского поселения эти источники могут быть достаточно отдаленными, поскольку в регионе не известны древние выработки. Поэтому при обсуждении предполагаемых источников предпочтение отдается Донецкому бассейну, где известны рудники эпохи бронзы, или даже очень отдаленным восточным центрам, типа медистых песчаников Приуралья, например, Каргалинским рудникам (Пряхин, 1996, с. 124), что представляется сомнительным. Напомним, что и С. И. Татаринов возражал против поставок меди в Донбасс с Каргалов (Татаринов, 2003, с. 197).

Существование группы меди МП не может быть связано с каким-либо конкретным рудным полем, например Каргалинским, а отражает, в лучшем случае, эксплуатацию месторождений в медистых песчаниках в целом.

В данной главе мы почти не использовали химических методов, ввиду незначительности выборки, что не позволяло бы делать корректную статистику результатов анализа. Спектральному анализу было подвергнуто 10 образцов шлака с Мосоловского поселения, а также один образец шлака и один обмазки с Пилипчатино Донецкой области (таб. 10-8). Возможно, исследование более значительной выборки и позволило бы наметить какие-либо различия в составе элементов-примесей, но в настоящее время это не удалось. Поэтому опорой послужил минеральный состав шлака. Это, как и сама незначительность исследованной серии, не позволяет относиться к выводам приводимым ниже как к окончательным.

Кроме того, как мы можем судить из анализа шлака, в плавку в регионе поступала, преимущественно, сульфидная руда. Полагают, что предпочтение сульфидным рудам отдавалось по той причине, что они гораздо богаче окисленных (Бровендер, Шубин, 2008, с. 3). Это, возможно так, но была и иная причина — эту руду легче плавить, как мы видели по несовершенным плавкам окисленной руды из песчаников на Каргалинских рудниках. Кроме того, как следует из вышеприведенного описания рудной базы региона, здесь широко распространены именно сульфидные руды, часто, впрочем, смешанные с окисленными. А Каргалинским медным песчаникам, наиболее свойственны окисленные минералы, такие как малахит и куприт, хотя встречается и халькозин. Единственное сходство, которое следует отметить, это присутствие примесей серебра и бария в одном

образце обожженной медной руды с Мосоловского поселения. Но и это не позволяет предполагать экспорт руды из оренбургской зоны, хотя химического решения вопроса не существует. Основания для этого утверждения следующие. Руда, которую плавил на Мосоловском поселении, оптимальна, и по соотношению кислотных и основных окислов, и по наличию сульфидов. Поэтому она плавилась легко, позволяя создавать жидкотекучий шлак и хорошо отделяться металлу. В оренбургской зоне мы наблюдаем совершенно иную ситуацию. Поэтому везти сюда менее качественное сырье издали было бессмысленно. Это вполне применимо и к донецкому региону, где имелись собственные рудники.

Но для Мосоловского поселения сделать выбор между рудой из месторождений Воронежского кристаллического щита и донецких рудников уже сложнее. В принципе, в обоих районах в руде преобладали сульфидные минералы, но в плавках на Мосоловском поселении более заметно использование халькопирита, чем это отмечено для донецких поселений и рудников. А для Павловского выступа Воронежского кристаллического щита этот минерал очень характерен. Поэтому не исключено, что источник руды поселения Мосоловское должен располагаться где-то в этом районе. Везти руду за 350 км из донецких рудников было все же достаточно далеко.

Эти выводы подтверждают мнение С. И. Татарина и А. Д. Пряхина о существовании в эпоху поздней бронзы особого донодонецкого очага металлургии и металлообработки (Татарин, 1989, 2003; Пряхин, 1996, с. 132, 133). Следует, конечно, помнить и о том, что на базе спектрального анализа мосоловского металла Е. Н. Черных и С. В. Кузьминых сделали вывод о приуральских и донбасских источниках для меди группы МП и о более восточных зауральских источниках для металла групп ВУ, ВК и ЕУ (Черных, Кузьминых, 1989а).

Ранее мы неоднократно обсуждали невозможность решения данной проблемы, базируясь на спектральном анализе. Но выделенные группы имеют, в любом случае, объективный характер, и потому требуют разбора применительно к данной ситуации. Мы говорили, что признаком меди, связанной с медистыми песчаниками действительно может служить повышенное содержание серебра. Но это единственный признак, и потому он не может считаться надежным. Присутствие серебра в оплавленной руде Мосоловского поселения указывает на местный источник этой меди, хотя и связанный, возможно, с какими-то песчаниками этой зоны. По группам ВУ (волго-уральской) и ЕУ (еленовско-ушкаттинской) ничего определенного сказать нельзя. Сомнительно лишь, что они восточного происхождения. Скорее с восточными объектами этих групп их объединяет тип месторождений и технология плавки. Можно лишь однозначно утверждать, что медь группы ЕУ не везли с андроновских рудников Еленовско-Ушкаттинского района. Перевозки металла из одного горно-металлургического центра в другой, к тому же выпускавший, видимо, избыточную массу продукции (об этом ниже) является операцией абсолютно бессмысленной, если этот металл не обладал какими-то особыми свойствами, например, был легирован оловом. Последнее могло бы вполне объяснить поставки металла из андроновского ареала. Но мы видим, что на Мосоловском поселении только 23% металла ЕУ относится к оловянным бронзам (Черных, Кузьминых, 1989а, с. 11). Но и для этой небольшой доли правомерно предположить — а не везли ли олово?

Что касается группы ВК, то она является, как мы это обсуждали для срубной культуры Башкирского Приуралья отчасти результатом плавки сульфидных руд с повышенным содержанием мышьяка и сурьмы, а отчасти — результатом легирования на стадии плавки руды мышьяково-сурьмяными минералами. В нашей небольшой коллекции шлака такое легирование не отмечено, но и в составе Мосоловского поселения доля этой меди невысока — 12,7%, в то время, как для Подонья ее доля составляет 25,7% (Черных, Кузьминых, 1989а, с. 11). Поэтому, с учетом приводимых С. И. Татариничевым данных о

добыче арсенопирита с высоким содержанием мышьяка, можно допускать производство этого металла именно в Донецкой зоне. Причем, там эта медь связана была именно с легированием на стадии плавки руды, а не с изначальным присутствием в руде, насколько об этом можно судить по анализам сырья этого района, где мышьяк в медных рудах не выявлен (Шубин, 2010, таб. 1, 2).

Но почему в этом случае не могли привезти легирующий компонент на воронежские поселения, если такая технология в регионе существовала? Поставки лигатуры не являются столь же обременительной операцией, как поставки руды. Ответ кроется все в той же рудной базе и особенности технологии, установленной для Мосоловского поселения. Здесь, вероятно, действительно использовались местные руды, в которых в большей степени присутствовал халькопирит, чем в донецкой зоне. Это требовало более длительных плавов в высокотемпературной области, что вело к удалению мышьяка. То есть, для данной руды эта лигатура была неприменима. Но какое-то количество металла этого типа сюда поступало из донецкой зоны. Не исключено и местное легирование при плавке руды, не содержащей халькопирита. Таковая наверняка была и здесь, но анализами, в силу незначительности выборки, такие плавки не выявлены.

Социальная организация и функционирование Донецко-Воронежского горно-металлургического центра

Определение объемов производства меди в том или ином районе является чрезвычайно трудной задачей. По объему отвалов были проведены расчеты возможных объемов добытой руды и возможные объемы получаемой меди только на Картамышском рудопроявлении Донбасса. В результате был сделан вывод о том, что здесь было извлечено и выплавлено 160 тонн меди, и для одной тонны требовалось переработать 506 тонн породы и 16,9 тонн руды (Бровендер и др., 2009, с. 217). Как всегда при подобных оценках эта цифра весьма приближительна, но описываемая методика расчетов вполне корректна, поэтому цифра достаточно реалистична. На ее реалистичность указывает и то, что она почти на три порядка ниже цифр, предлагаемых для Каргалинских рудников. Но с учетом того, что это было не единственное рудопроявление Донбасса и Подонья, мы можем предполагать, что в данном регионе было получено 300—800 тонн меди. То есть, регион был достаточно важен для снабжения металлом Восточной Европы, и наверняка обслуживал не только ближайшую округу, но и соседние безрудные районы. Судя по плавкам на Мосоловском поселении, какие-то рудные источники Воронежской области тоже эксплуатировались, но объемы производства здесь, кажется, были несопоставимо более низкие.

Предполагается, что из Картамышского района обогащенная руда транспортировалась на территории, богатые лесом (Северский Донец), где функционировали поселения металлургов типа Усово озеро (Бровендер, 2008а, с. 13). Изучение остатков металлургического производства Суботовского городища XII—IX вв. до н. э. в Черкасской области на Днепре позволило предположить, что руду туда доставляли с Донбасса, так как по химизму она ближе руды Предкарпатья или Поднестровья (Демченко и др., 2001). Исключить подобную возможность, конечно, нельзя, но и приводимые аналитические данные совершенно не убедительны. Поэтому транспортировка руды из региона ее добычи остается под вопросом.

Не менее проблематично и выделение двух горно-металлургических центров срубной культуры, покровско-мосоловского, снабжавшего металлом население приказанской и поздняяковской культур, и бережновско-маевского, откуда металл поступал в районы распространения тшинецкой и сосницкой культур (Отрощенко, 2003). Действительных данных о таких поставках металла нет, хотя они и гораздо более вероятны, чем поставки руды, и наверняка имели место, насколько можно судить об объемах добычи.

Вопрос лишь в надежном документировании направлений этих поставок, что является нерешаемой задачей, на сегодняшний день.

Предполагается также, что производство велось клановыми общинами горняков-металлургов. Одна такая община могла состоять из 80—100 человек: 30—40 горняков, 10—20 обогащавших добытую руду, 20—30 транспортировщиков руды (Татаринов, 1989, с. 43). Излишне говорить, что популярный вариант клановых производственных общин вполне мог иметь место, но пока не имеет строгих доказательств. Что же касается численности одной общины, то эти цифры вряд ли стоит обсуждать. Вероятно, в это время действительно существовали поселки, расположенные в районах рудников и специализировавшиеся на горно-металлургическом производстве. Это не означает, конечно, что это производство было единственным, чем занималось население этих поселков. В их хозяйственном комплексе наверняка было и скотоводство. Но объемы производства однозначно указывают на производство металла для обменных операций.

Однако вопросом является собственность рудников. И этот вопрос разрешить почти невозможно. В районах рудников Донбасса известны как сезонные, так и долговременные поселения (Татаринов, 1987). Совершенно очевидно, что население долговременных поселений разрабатывало эти рудники. Но не являются ли сезонные поселения свидетельством того, что сюда приходили за рудой из какой-то округи (радиусом, например, 100 км) и заготавливали руду для своих нужд?

Более определенно можно говорить о том, что внутри таких поселков занимались всем, начиная от добычи руды и заканчивая металлообработкой. На поселении Червонэ Озеро 3 обнаружены орудия всех циклов металлургического производства, служившие для добычи, дробления руды и для металлообработки. Множество этих орудий обнаружено и на других памятниках этого горно-металлургического центра (Бровендер, 2008, с. 193—199; 2009—2010, с. 207, 214; Бровендер, Загородняя, 2009; Загородняя, 2011). На Мосоловском поселении тоже обнаружено много орудий, связанных не только с металлообработкой, но и с добычей и обработкой руды (Килейников, 1984). Это указывает на отсутствие четкой специализации у населения одного поселка.

Происхождение срубной металлургии Донецко-Воронежского региона

Как мы видели из вышеприведенного текста, срубное производство региона базировалось на собственных рудных источниках. При этом у нас нет никаких данных о том, что эти источники эксплуатировались прежде. Поэтому автохтонное развитие здесь срубного производства на базе катакомбных или многоваликовых традиций пока сомнительно, при несомненном наличии металлообработки. С другой стороны, в производстве отчетливо видны те черты, которые присутствуют на восточных памятниках, в том числе срубных. В первую очередь, конечно, это эксплуатация сульфидных руд, что отмечено для Западного Оренбуржья, Поволжья и Башкирского Приуралья. Этот признак, конечно, нельзя абсолютизировать, поскольку это могло быть обусловлено спецификой местной рудной базы. Но учитывать его, все же, необходимо, так как плавка какого-то типа руды подразумевает комплексность: не только выбор руды, но и конструкцию печей, режимы плавки, типы лигатур. Это все должно было увязываться в единую систему.

Ранее мы видели аналогичные типы печей, типы плавки и способы легирования мышьяково-сурьмяными минералами на востоке. Сюда можно отнести и легирование оловом, что является безусловно восточной технологией, связанной с андроновским миром. Причем, в Подонье доля этого металла составляет 25,7% (Черных, Кузьминых, 1989а, с. 11). А металлографическое изучение бронзовых изделий показало, что металлурги недостаточно хорошо знали как работать с этим видом бронз, что указывает на заимствование данной традиции (Рындина, Дегтярева, 1989, с. 38). В данном случае, имело место опосредованное заимствование через массив срубных племен Поволжья и Приуралья.

Глава 11. Metallургическое производство в азиатской части ЕАМП в эпоху бронзы

Алтай и Саяны в системе металлургических провинций

Крайний восток Евразийской металлургической провинции ограничивается Алтайскими горами, образующими вместе с Саянами обширную горнорудную систему. В течение большей части эпохи бронзы Алтай входил в эту металлургическую провинцию, однако в самом финале этой эпохи, с формированием Центральноазиатской металлургической провинции, здесь проявляется множество новых черт, что сказалось не только на типологии изделий, но и на характеристиках плавильного процесса. Саяны в меньшей степени интересны для нашего исследования в силу того, что какие-то надежные данные о металлургическом производстве здесь появляются лишь для того времени, когда этот регион не входил в систему Евразийской провинции. Значение же Алтая для понимания истории производства в рамках ЕАМП чрезвычайно велико. Оно не ограничивалось лишь тем, что это богатый рудами район на периферии провинции. Это был единственный источник олова, главного легирующего компонента всей системы ЕАМП. Кроме того, именно из этого района распространялось большинство инноваций, приводивших к изменениям в системе ЕАМП, начиная со второй ее фазы.

Рудная база Горного Алтая

В настоящее время на Алтае известно 730 полиметаллических месторождений. Генетически они связаны с интрузиями кварцевых порфиров, являющихся отщеплениями гранитной магмы (Григорьев, Глебов, 1934, с. 53, 58, 59; Григорьев И., 1934, с. 41). Медь в месторождениях Алтая обычно связана со свинцом и цинком, хотя имеются и чисто медные месторождения (Хисамутдинов, 1961, с. 5; Григорьев, Глебов, 1934, с. 62). Однако на медно-цинковых и медно-свинцовых месторождениях медно-порфировые залежи приурочены к зонам активного интрузива, а свинцовые и цинковые располагаются на некотором отдалении.

Алтай отличается хорошо развитой окисленной зоной, уходящей на глубину 30—60 м, а иногда до 80 м (Григорьев И., 1934, с. 50; Росляков, 1970, с. 59—66), зона же цементации выражена незначительно (Григорьев, Глебов, 1934, с. 98). На многих месторождениях имеются «железные шляпы» (Росляков, 1970, с. 6; Григорьев, Глебов, 1934, с. 98). Все алтайские руды мелкозернисты и требуют сложного обогащения.

Месторождения рудного Алтая распадаются на несколько групп.

Змеиногорская группа

Большинство месторождений здесь полиметаллические, с преобладанием серебра и свинца. Жильным минералом является кварц. В зоне окисления господствующими минералами являются малахит, азурит, железные и свинцовые охры. На месторождении Лазурское содержание меди в окисленной зоне достигает 7%, свинца — 5% (Григорьев, Глебов, 1934, с. 63—77).

Колывановская группа

Месторождения относятся к мезотермальному типу и представлены кварцевыми жилками. Содержание меди достигает 5,5% (Григорьев, Глебов, 1934, с. 77; Григорьев И., 1934, с. 46).

Чарышско-Ануйская группа

На большинстве месторождений оруденение бедное. Руда приурочена к кварцевым породам. В окисленной зоне высокое содержание железа, свинца и цинка, что иногда заставляло в XIX веке прекращать плавку этих руд (Григорьев, Глебов, 1934, с. 78—80).

Прииртышская группа

Группа представлена значительным количеством медных и медно-цинковых месторождений. Первые преобладают в северной части группы, вторые — в южной. В рудах медных месторождений содержание цинка и свинца достаточно велико. Руды залегают в кварцевых породах. В окисленной зоне имеется значительное количество железных и отчасти свинцовых охр. Некоторые месторождения перекрыты «железными шляпами». Содержание меди в руде высокое. Медная минерализация представлена малахитом, азуритом, купритом (Григорьев, Глебов, 1934, с. 81—101).

Зыряновская группа

Большая часть месторождений полиметаллические, с преобладанием свинца и цинка. Жильными минералами являются кварц и барит. В окисленной зоне высоко содержание железа.

К медным месторождениям группы относится Бухтарминское. Здесь сохранились следы древних работ. Рудой являются медные и железные гидроокислы в кварце. Мощность кварцевых жил составляет 17—35 см, достигая иногда 1,5 м. Содержание меди в руде 11% (Григорьев, Глебов, 1934, с. 102—118).

Риддерская группа

Представлена полиметаллическим оруденением с незначительным содержанием меди. Видимо, не эксплуатировалась.

Южноарышская группа

Месторождения обнаружены по значительным древним карьерам. Оруденение приурочено к амфиболовым сланцам, пропитанным малахитом. Рудовмещающей породой является бурый железняк, в котором есть включения кварца. Жилки малахита достигают иногда 1 см. Имеются признаки свинца и цинка (Желубовский, 1937, с. 6—10).

Таким образом, месторождения Алтая являлись важным сырьевым источником в древности. При этом, все они имеют ряд сходных признаков: наличие обильной окисленной медной минерализации, выходящей на поверхность и распространяющейся на значительную глубину; оруденение приурочено, преимущественно, к кварцевым породам; руда часто содержит примеси иных металлов (свинца и цинка), причем, руды этих металлов часто имеются на тех же месторождениях.

Очень многие из этих месторождений, вероятно, эксплуатировались в древности, но впоследствии следы древних работ были стерты позднейшей добычей (Черников, 1949; Розен, 1983). Почти все значительные рудники здесь открыты по остаткам древних выработок. При этом во время русских работ на этих рудниках было получено много данных о древней горной добыче. Добыча производилась карьерами и штольнями, достигавшими в глубину 10—20 м. То есть штольни ограничивались окисленной зоной рудных месторождений. По мнению исследователей, на Алтае использовалась в древности, преимущественно, окисленная руда (Черников, 1949, с. 51; Розен, 1983, с. 26). Важнейшим результатом прежних работ стал вывод о том, что ввиду отсутствия месторождений касситерита в огромном ареале от Богемии до Алтая, месторождения хребтов Калба и Нарым на Алтае были главным источником олова для крупнейшего региона Северной Евразии (Черников, 1949, с. 73).

Ранняя и средняя бронза Южной Сибири

В эпоху ранней бронзы рассматриваемая в данной главе территория была занята афанасьевскими племенами (рис. 11-1). В рамках калиброванной радиоуглеродной шкалы эта культура датируется первой половиной III тыс. до н. э. (Görsdorf et al., 1998). Наиболее оправданной, на мой взгляд, является традиционная концепция происхождения афанасьевской культуры в результате миграции ямных племен (Алексеев, 1961, с. 380; Семенов, 1987, с. 18). К сожалению, данные о технике плавки руды для этого перио-



Рис. 11-1. Карта распространения памятников сейминско-турбинского типа (а — могильники; б — отдельные находки), афанасьевской (с) и окуневской (д) культур

да, практически, отсутствуют, что идентично ситуации в Восточной Европе. При этом данные по химическому составу металла происходят, преимущественно, из восточной (саянской) части ареала. В афанасьевское время в составе металла доминирует чистая медь, хотя известны уже и сплавы меди с мышьяком (Сунчугашев, 1975, с. 146; Бобров и др., 1997, с. 68).

Существует, впрочем, мнение о том, что афанасьевская металлообработка не знала искусственных сплавов, а оценка, базирующаяся на старых анализах, не совсем правомерна, так как в то время окуневская культура еще не была выделена, и в выборку попадали окуневские изделия. На этом основании делается вывод о том, что по своим параметрам афанасьевскую культуру корректней относить не к ранней бронзе, а к энеолиту. Однако в таблицах, приводимых теми же авторами, мышьяк присутствует во многих изделиях в количестве 1—3%, что, возможно, является результатом легирования, а в иных изделиях его концентрации составляют 0,2—0,5%, что может рассматриваться как рудная примесь. Дополнительные анализы отдельных афанасьевских изделий дали тот же результат, и в одном памятнике Минусинской котловины, в котором присутствуют уже окуневские черты, выявлена примесь олова (Грушин и др., 2006, с. 24, 30; Хаврин, 2008, с. 210—212).

Появляются редкие изделия из метеоритного железа, например, браслет в виде кожаного ремешка с нашитыми железными пластинами из могильника Афанасьева Гора. В могильнике Покровка IV обнаружено золотое колечко (Грушин и др., 2006, с. 19). Использование этих металлов было, скорее, исключением, и все это вместе взятое соответствует основным параметрам ямной металлургии. Причем, эта ситуация сопровождается и морфологическим сходством ямных и афанасьевских изделий (см. Гришин, 1971, таб. 1.2-4, 6-10; 12.3). Поэтому вывод о том, что импульс к возникновению афанасьевского металлургического очага поступил с запада, с территории Циркумпонтийской

металлургической провинции представляется бесспорным (Грушин и др., 2006, с. 21).

Более дискуссионным является вопрос о возможности отнесения афанасьевской культуры к эпохе энеолита. Наличие или отсутствие той или иной лигатуры не может служить основанием для отнесения культуры к той или иной археологической эпохе, так как это может объясняться локальными явлениями, проявлением местных традиций, отсутствием или наличием определенной лигатуры. Так, руководствуясь подобным аргументом, мы должны и ямную культуру Приуралья отнести к энеолиту, а также некоторые более поздние культурные образования. Сопоставимость параметров афанасьевской металлургии с параметрами ямной позволяет безоговорочно относить афанасьевскую культуру к эпохе ранней бронзы, с учетом всех условностей подобных процедур, которые мы оговаривали во введении. Однако в данном случае нет убежденности и в правомерности вывода об отсутствии лигатур. Примеси мышьяка в подобных концентрациях вряд ли могут являться результатом плавки окисленной руды, а оснований для предположений о плавке сульфидов в эту эпоху у нас нет. Поэтому подобный разброс в содержании примеси мышьяка может объясняться легированием мышьякосодержащими минералами на стадии плавки руды, что не позволяло обеспечить точные желаемые концентрации мышьяка. Независимо от решения данного вопроса, металлурги региона, откуда поступил импульс к формированию афанасьевской металлургии, должны знать подобные способы легирования, видимо, достаточно типичные для этой эпохи, во всяком случае, нужно было знать, или разработать самостоятельно способы обработки такого металла. И ямную культуру Приуралья с ее ориентацией на производство чистой меди мы можем исключить.

Любопытной особенностью является присутствие в афанасьевских комплексах Минусинской котловины редких серебряных украшений, а также одной серьги из свинца (Грушин и др., 2006, с. 23). Дело в том, что проблема серебра является актуальной и для более поздних эпох Южной Сибири. Плавку серебра на Алтае в древности допускал еще де Генин, который описал у реки Шульбы пять медеплавильных печей, шлак и руду, по признакам серебряную. Однако М. Ф. Розен сомневался в возможностях выплавки серебра в древности, полагая, что собирали самородное серебро, как это имело место впоследствии на Змеиногорском руднике (Розен, 1983, с. 26, 28). Обращает на себя внимание тот факт, что в различные эпохи серебру в Южной Сибири сопутствует свинец. Выше упоминалась серьга из свинца афанасьевского времени. Выплавка свинца в древности не имела никакого смысла. С другой стороны, серебро получали именно из свинцовой руды, и попутным продуктом в этом случае мог быть свинец. Причем, процесс этот сложный и должен был быть привнесен из региона с развитой металлургической традицией (Григорьев, 2003).

На Алтае существуют полиметаллические месторождения с повышенным содержанием серебра. Однако извлечение серебра из медной руды было в тот период невозможно. Поэтому для всей эпохи бронзы Алтая применима, вероятно, именно та технология получения серебра, которую мы описывали для синташтинской культуры.

К сожалению, пониманию характера металлургического производства афанасьевской культуры мешает малое количество работ, анализов, отсутствие медеплавильных шлаков и печей. Публикуемые анализы не разделены на ранне— и позднеафанасьевские. Поэтому остается неясным с чем связано внедрение использования метеоритного железа, серебра и свинца, а также мышьяка как лигатуры. Все это, бесспорно, западные или южные явления, но остается вопросом, на какой стадии они произошли — в самом начале афанасьевской культуры, или в конце ее, когда происходит формирование окуневской, а на Алтае появляются поздние комплексы афанасьевской культуры. Эти данные могут отражать различные процессы. Во второй половине III тыс. до н. э. на Алтае происходит переоформление афанасьевской культуры, и появляется посуда с раз-

дутым туловом и расчесами, имеющая параллели в позднеямных памятниках Приуралья и в Предкавказье (см. Соенов, 1995, рис. 5,2,3, рис. 9,1; Посредников, Цыб, 1992, рис. 3,1,2,6; Моргунова, 1992, рис. 5,2; Васильев и др., 1986, рис. 11; Кирюшин, Клюкин, 1985, рис. 5,18-2; Григорьев, 1999, с. 188).

Бесспорным, таким образом, является то, что импульс к формированию афанасьевского металлургического очага поступил с территории ЦМП, но мы не знаем — был ли он единственным.

Столь же скудны наши данные по более поздней окуневской металлургии Хакасско-Минусинской котловины (рис. 11-1). Эта культура датируется последней третью III тыс. до н. э. — началом II тыс. до н. э. (Görsdorf et al., 1998). Основными типами сплавов являются чистая медь и мышьяковые бронзы, но в окуневское время появляются единичные изделия (нож из Верхнего Аскиза I и серьга из Тас-Хазаа), легированные оловом. Известны и три серебряных височных кольца (Уйбат V, Батени, Моисеиха) (Бобров и др., 1997, с. 68; Хаврин, 1997, с. 162, 163). Прослежена определенная хронологическая разница: в металле раннего уйбатского периода окуневской культуры имеется лишь два изделия с низким содержанием олова, а в металле позднего черновского — уже половина, в то время как другая половина выполнена из чистой меди (Хаврин, 2008, с. 213).

Появляются и первые данные по плавке меди. На берегу ручья Узун-Жуль обнаружены фрагменты керамики окуневского¹ времени и шлак. На одном фрагменте дна толстостенного сосуда присутствует шлаковая корка. Это позволило предположить, что плавку вели в горшках-тиглях (Сунчугашев, 1975, с. 20). Анализ капли меди из этой шлаковой корки выявил в ней примесь 5% мышьяка (Хаврин, 1997, с. 162). Подобные аномально высокие примеси не характерны для окуневского металла, в котором концентрации мышьяка колеблются в широком диапазоне от 0,02 до 2,8% (см. табл. Хаврин, 1997, с. 163). Низкомышьяковая часть окуневского металла отражает, вероятно, плавку руды без использования специальных лигатур, но в случаях, когда концентрации мышьяка превышают 0,5—1%, речь должна идти, вероятно, о каком-то способе легирования. Прояснить этот вопрос без хороших серий анализов шлака возможным не представляется, но способ легирования «металл в металл» можно исключить. Я. И. Сунчугашев допускал для Хакасско-Минусинской котловины легирование сернистыми мышьякосодержащими минералами в металл, приводя в пример опыты В.А. Пазухина, который экспериментировал, впрочем, с порошковой медью (Сунчугашев, 1975, с. 126). Кроме того, в мышьяковых минералах присутствуют и иные компоненты, а также включения рудонесущей породы, которые надо из металла удалить. В этих минералах металлы представлены не в чистом виде, а в соединениях, то есть надо производить металлургический передел, для которого нужны условия и время для осуществления реакции. Поэтому более вероятно легирование в руду.

Мышьяковые минералы в Хакасии хорошо представлены. Но часто медная руда содержит примеси мышьяка. В Хараджульском и Бутрахтинском месторождениях со смешанными медно-мышьяковыми рудами содержание мышьяка достигает 30% (Сунчугашев, 1975, с. 52, 128). Поэтому можно рассматривать три варианта легирования: 1) смесь обычной и смешанной медно-мышьяковой руды, 2) сплав металлов, полученных из руд этих типов, 3) добавление мышьякосодержащих минералов к обычной руде. Во всех случаях мы будем получать достаточно размытую картину концентраций мышьяка, что характерно для окуневского металла, и все они технологически вполне достоверны. Вопрос в том, что именно отражает анализ этой капли меди из шлаковой корки. Вряд ли это результат плавки высокомышьяковой медной руды. Узун-Жуль от-

¹ В другом месте той же работы керамика названа позднеафанасьевской, что хронологически отражает ту же стадию металлургии региона (Сунчугашев, 1975, с. 79), однако С. В. Хаврин все же рассматривает этот сосуд как окуневский (Хаврин, 1997, с. 161).

дален от Хараджульского и Бутрахтинского месторождений на расстояние около 100 км, и разумнее было плавить подобную руду на месте, а затем уже транспортировать легирующий медно-мышьяковый сплав. Поэтому более вероятным представляется третья технологическая схема, предполагающая добавление мышьякосодержащих минералов к обычной руде. Однако без хороших аналитических серий этот вывод так и останется возможным допущением. Новым фактом являются данные о плавке руды в тиглях, хотя не исключено (и даже наиболее вероятно), что аналогичным образом плавил и в афанасьевское время, но данных для этого нет.

Таким образом, в целом, окуневская металлургия может рассматриваться в качестве продолжения и развития афанасьевской традиции, но может быть рассмотрена и в качестве нового импульса из Циркумпонтийской зоны. Но на подобную возможность указывает только появление первых изделий, легированных оловом, факт явно недостаточный для подобного вывода.

Вопрос о связи окуневской металлургии с афанасьевской не может решаться в отрыве от вопроса о связи самих этих культур. Ответ на последний вопрос у авторов различается. В целом, окуневская материальная культура резко отлична от афанасьевской. Особенно наглядно это проявляется в различиях в технологии изготовления посуды (Иванова, 1968). Некоторые авторы предполагали происхождение окуневской культуры на основе развития лесных неолитических племен (Вадецкая и др., 1980). Другие придерживаются мнения о переднеазиатских истоках окуневского искусства (Савинов, 1997; Дэвлет, 1998, с. 154—159). И. П. Лазаретов привел серию параллелей со степными комплексами Восточной Европы (Лазаретов, 1997, с. 39—40). Автором этой работы предлагалась гипотеза миграции переднеазиатского населения через Восточную Европу (Григорьев, 1999, с. 188—191). В рамках задач настоящего исследования на этот вопрос ответить невозможно. Можно смело исключать вариант местных неолитических корней окуневской металлургии и утверждать, что ее корни миграционные циркумпонтийские. Однако было ли это результатом развития афанасьевской производственной традиции или результатом нового импульса из того же региона, сказать нельзя, хотя, учитывая резкий культурный разрыв между афанасьевской и окуневской культурами, а также появление оловянных бронз, речь может идти все же о новом импульсе.

Сейминско-турбинское время ***Сейминско-турбинские бронзы***

В начале эпохи поздней бронзы в Южной Сибири происходят существенные культурные трансформации, связанные с формированием сейминско-турбинских (рис. 11-1), кротовских и елунинских памятников в Прииртышье и Верхнем Приобье. В какой-то связи с этим процессом находятся также вишневецкие и ташковские комплексы Приишимья и Притоболья. Именно быстрое распространение этой культурной традиции на запад и привело к переоформлению Евразийской металлургической провинции в начале ее второй фазы (Черных, Кузьминых, 1989). Исходя из этого, представляется бесспорным отнесение этих комплексов к эпохе поздней бронзы, если опираться на общеевразийскую периодизационную схему. Однако, довольно надежная синхронизация сейминско-турбинских памятников с абашевскими и синташтинскими, пусть даже не с их ранней стадией (Черных, Кузьминых, 1989, с. 262, 263; Григорьев, 1999, с. 104), относимыми нами к эпохе средней бронзы, ставит существенную терминологическую проблему. В принципе, этой синхронизации не противоречит и накопленный комплекс калиброванных радиоуглеродных дат для сейминско-турбинских памятников, которые ложатся в интервал от конца III тыс. до н. э. до XVIII в. до н. э. (Соловьев, 2009, с. 94, 95). Но, поскольку обсуждаемые металлургические и металлообрабатывающие традиции по своим параметрам являются традициями позднебронзовыми, и они теснейшим образом

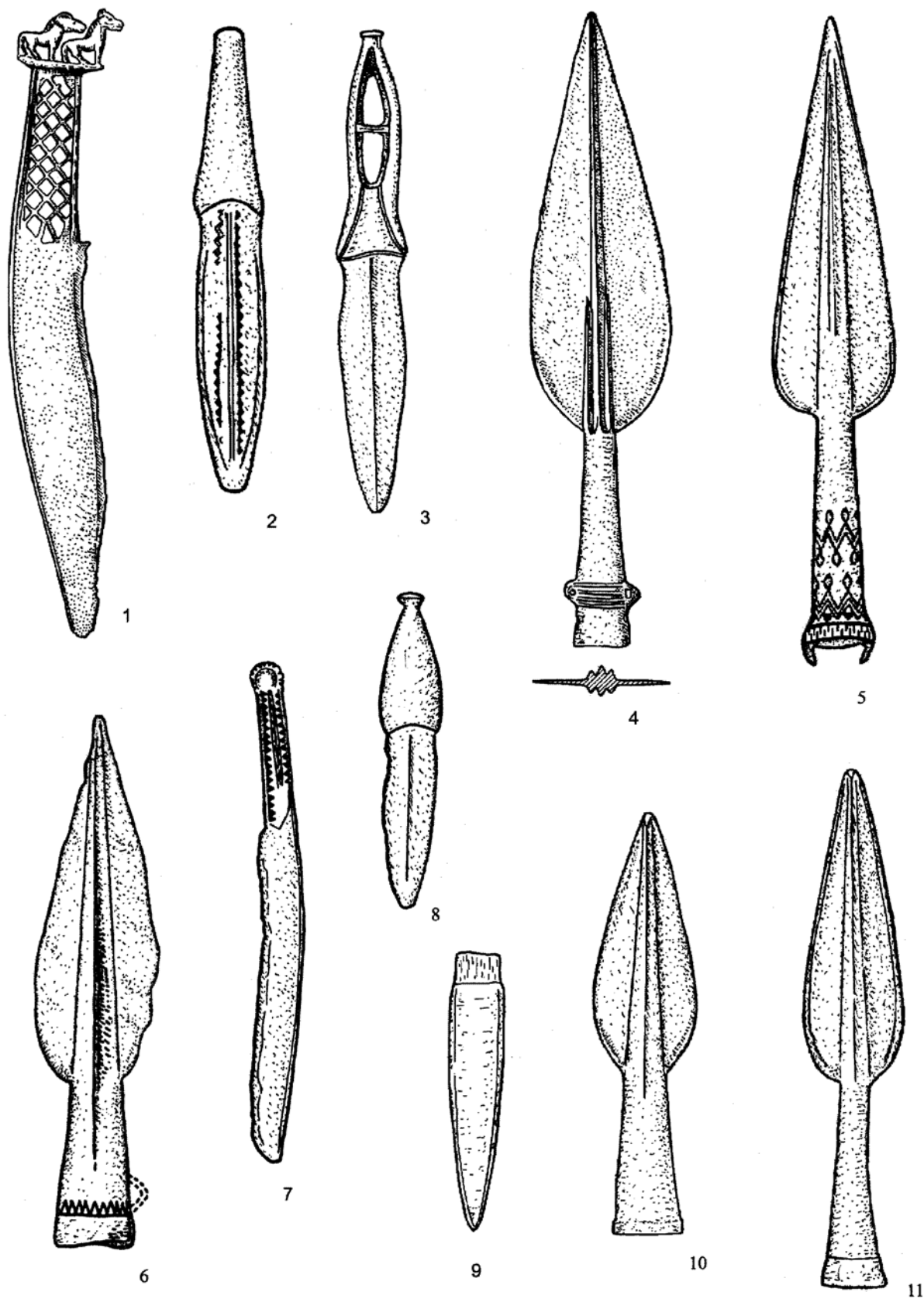


Рис. 11-2. Сейминско-турбинские бронзы: 1, 6, 9 — Сейма; 2 — Ирбитское; 3 — Ново-Павловка; 4 — Ростовка; 5 — Бородинский клад; 7 — Цыганкова Сопка; 8 — Новая Усмань; 10 — Кривое Озеро; 11 — Паново

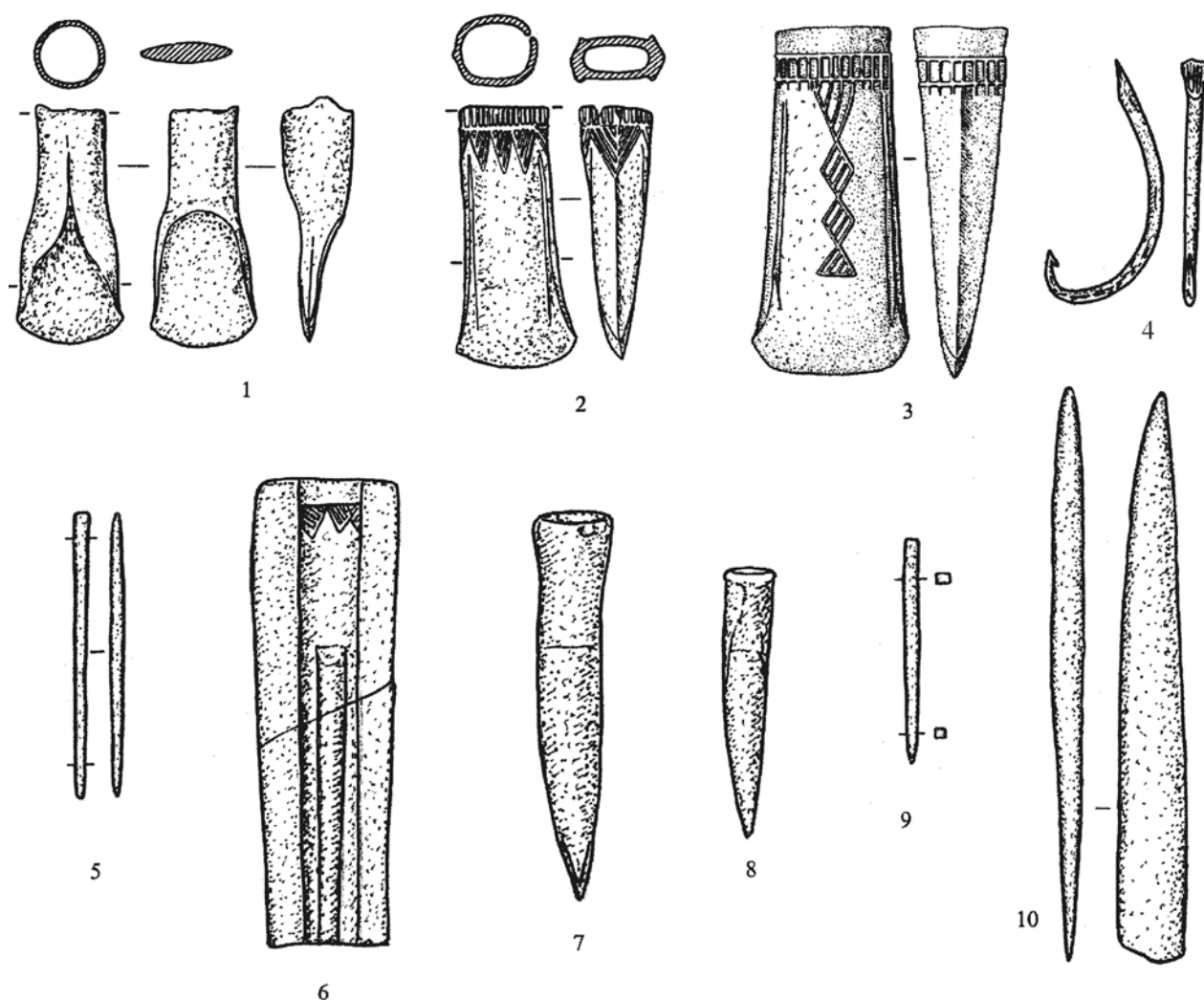


Рис. 11-3. Сейминско-турбинские бронзы. 1, 2 — Сейма; 3 Решное; 4, 6—8 — Ростовка; 5, 9 — Турбино I; 10 — Соколовка

связаны с последующими металлургическими традициями ЕАМП, более правомерным представляется их отнесение к ПБВ.

Самым ярким проявлением этих кардинальных перемен стало распространение новых принципов металлообработки: тонкостенного литья в закрытые формы и новых типов изделий: втульчатых копий, кельтов, однолезвийных ножей с изогнутой спинкой и металлической рукоятью, двулезвийных ножей с металлической рукоятью или коротким черешком. Многие изделия имеют рельефные орнаменты или литые фигурные украшения. В комплекс входят также чеканы и пробойники, изредка встречаются рыболовные крючки (рис. 11-2, 11-3). Появление новых типов изделий стало возможно в связи с переходом на новые технологии легирования оловом, то есть, в данном случае речь идет о комплексной трансформации. Как убедительно показано в работе Е. Н. Черных и С. В. Кузьминых (1989), этот комплекс формируется в Саяно-Алтайском регионе и распространяется по югу лесной зоны в Восточную Европу, что надежно маркируется находками этих металлических изделий (рис. 11-1). А на Алтае известна елунинская культура, которая предшествует по времени распространению сейминско-турбинских бронз, включая, при этом, ряд типов, характерных и для этих бронз.

Металлургия елунинской культуры

Наибольшая выборка шлака этого времени получена на елунинском поселении Березовая Лука (рис. 11-4). В целом, по серии радиоуглеродных анализов елунинская культура датируется XX—XVII вв. до н. э., хотя наиболее компактно радиоуглеродные даты укладываются в XVIII—XVII вв. до н. э. При этом ранним этапом культуры является березоволукский, выделенный по материалам этого поселения (Грушин, 2002, с. 18, 19, 23, 24; Кирюшин и др., 2004, с. 141). Уже материалы раскопок дают нам определенные основания для выводов о тех или иных особенностях металлургического производства этого времени. На поселении Березовая Лука найдены окисленные и сульфидные руды, причем, последние представлены халькопиритом. Произведенные анализы показали, что в руде присутствует примесь свинца, и в медь свинец попадал именно из руды. Это позволило предполагать, что руда происходит из Змеиногорской зоны (Кирюшин и др., 2004, с. 120—123, 128; Тишкин, 2002, с. 185). На том же поселении в пробах зафиксирован фосфор, и обнаружено много обгорелых костей с синевато-фиолетовым налетом. В результате, был сделан вывод о том, что кости использовались в качестве топлива в металлургическом производстве (Кирюшин и др., 2004, с. 126, 127). Этот вывод требует лишь небольшой поправки. Кости, безусловно, выделяют при сгорании тепло, но вряд ли они использовались с целью частичной замены древесного угля. Более вероятно их использование в качестве флюса. На елунинском поселении Колыванское I обнаружены тигли (Грушин, 2005, с. 147, 148). Это позволяет допускать тигельную плавку руды. Дополнительные результаты были получены при анализе значительной серии шлака.

Из материалов поселения Березовая Лука было изучено 67 различных образцов. В выборке оказались небольшие образцы рудной породы (№ 2097, 2100), малахита (№ 2079, 2083), кусочки кварцевой породы с медной зеленью (№ 2075) или с медной зеленью и оксидами железа (№ 2078, 2085), кусочки неопределенной породы (№ 2076, 2077, 2084, 2086, 2088), один с ошлаковкой. Встречены также кусочки гидроокислов железа (№ 2080), в том числе содержащие окисленную медную руду (№ 2087, 2092).

Кроме того, в выборку попали глиняный кирпичик размером 2×1,5 см (№ 2089), фрагмент обожженной трубчатой кости (№ 2090), мелкие капли окисленной меди (№ 2096) и фрагмент керамики (2082).

Семь образцов (№ 2036, 2039, 2043, 2045, 2054, 2061, 2064) представлено небольшими (2,6—5 см) обломками бесформенного сравнительно тяжелого уплощенного шлака. Толщина образцов колеблется от 1 до 1,8 см. Один образец (№ 2054) очень тонкий, до 6 мм по краям и еще тоньше в центральной части. Он отличается от иных шлаков более насыщенным черным цветом и плотностью. Шлаки этой группы мелкопористые. У многих из них одна поверхность неровная и иногда имеет керамзитовую корку или небольшие вмятины от древесного угля или сучьев. Поэтому не исключено, что этот шлак мог формироваться на поде металлургической печи. Вторая поверхность неровная, но обычно покрыта гладкой шлаковой коркой, имеющей иногда металлический блеск. Один из таких образцов имеет ярко выраженную зональную структуру. Одна поверхность (видимо, нижняя) плоская, с прилипшей керамической коркой толщиной около 0,5 мм. Вторая неровная, с отпечатками древесного угля. Изредка фиксируется окрашенность поверхности под керамической коркой медной зеленью и красным цветом (куприт?).

Вторая группа образцов схожа с первой, но отличается тем, что они значительно легче (№ 2034, 2038).

Самой крупной в выборке является третья группа, состоящая из 34 образцов (№ 2035, 2037, 2040—2042, 2044, 2046—2053, 2055—2059, 2062, 2063, 2065, 2066, 2069—2074, 2091, 2093—2095, 2098). Это бесформенные куски тяжелого шлака с оплавленными неровными поверхностями. Образец № 2050 отличается от остальных за счет большей рыхлости и отсутствия оплавленной шлаковой корки. Изредка на поверхности

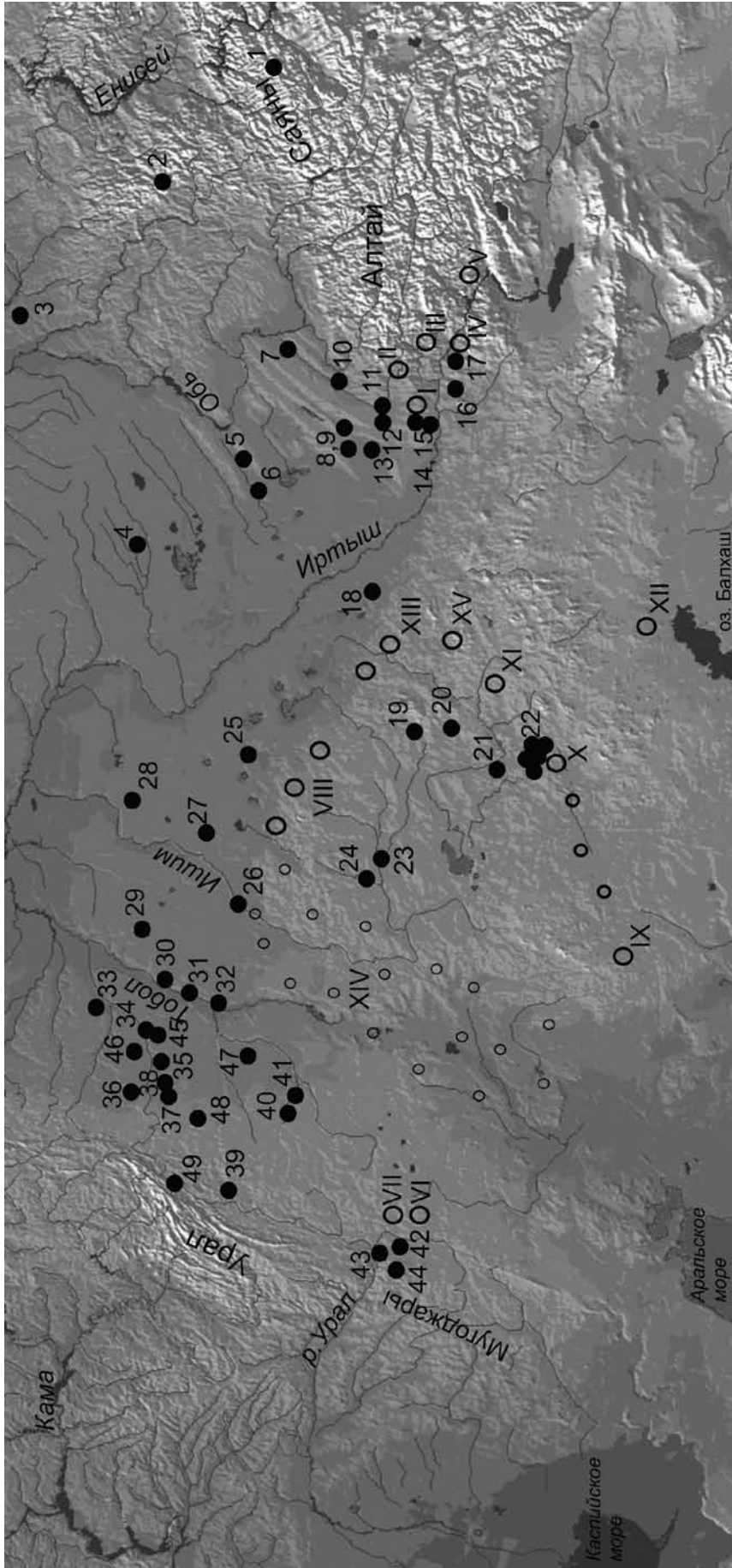


Рис. 11-4. Южносибирские и казахстанские памятники и месторождения, упомянутые в тексте: Поселения: 1 — река Карты; 2 — Посельщик; 3 — Новокусковская стоянка; 4 — Марково-2; 5 — Бурла-3; 6 — Кайгородка-3; 7 — Березовая Лука; 8 — Калиновка II; 9 — Черная Курья VI; 10 — Кольванское I; 11 — Новенькое-6; 12 — Советский Путь-1; 13 — Рублево VI; 14 — Чекановский Лог-I; 15 — Гилево-II; 16 — Новошубльинское; 17 — Чистый Яр (Семипалатинская обл.); 18 — Кафарка; 19 — Вишневка; 20 — Усть-Кенетай; 21 — Кент; 22 — поселения в районе Атасу (Атасу, Акимбек, Ак-Мая, Ак-Мустафа, Кара-Тюбе, Мыржик); 23 — Тельмана XVI; 24 — Саргары; 25 — Степняк; 26 — Петровка II; 27 — Павловка; 28 — Новоникольское; 29 — Камышное; 30 — Язеве; 31 — Верхняя Алабуга; 32 — Убаган; 33 — Коршуново; 34 — Ташково II; 35 — Кипель; 36 — Грауртлы; 37 — Мочище; 38 — Коркино; 39 — Ильяска; 40 — Берсуат XVIII; 41 — Атамановка; 42 — Кулухта; 43 — Байту; 44 — Шандаша; 45 — Малоокуновское; 46 — Новобуруно; 47 — Николаевка; 48 — Архангельский Прииск II; 49 — Ново-Байрамугуловское. Рудники и месторождения: I — Змеиногорские месторождения; II — Кольвановские месторождения; III — Чарышко-Ануйская группа; IV — Иртышская группа месторождений; V — Зырянские месторождения; VI — Ушкаты; VII — Еленовка; VIII — месторождения Кокчетавского района; IX — Джезказган; X — Кенказган; XI — месторождения Успенского района; XII — месторождения Прибалхашья; XIII — месторождения Экибастузско-Баянаульского района; XIV — зона медистых песчаников Атбасар-Терсакканского района; XV — Каркаралинские рудники

встречаются пятнышки медной зелени, реже бурые проявления гидроокислов железа или купритовая пленка коричневого или красноватого оттенка. Размеры образцов около 2—3 см. Лишь один образец достигает 6 см (№ 2035). Часть поверхностей может быть обколота в процессе извлечения меди, но большинство образцов имело такие небольшие размеры изначально. То есть, шлак обычно не дробился для извлечения меди.

Четыре образца отличаются от остальных. Это очень легкий шлак такого же небольшого размера, как и остальные образцы. Образец № 2060 похож на угольный шлак. Не исключено, что он сформировался в результате плавки чистого малахита, поскольку он близок группе аналогичного шлака, происходящих из Южного Приуралья.

Образец № 2067 является небольшим (2,5×2,1 см) фрагментом легкого шлака или ошлакованного тигля (последнее вероятней). К нему близок образец № 2068. Это небольшой (3,5×2×1,4 см) фрагмент относительно легкого шлака, возможно, керамики. Одна поверхность мелкозернистая, неровная. Вторая ровная.

Образец № 2099 в силу его очень маленького размера к какой-то группе отнести невозможно.

Таким образом, подавляющее число образцов (таб. 11-5) представлено тяжелым бесформенным шлаком.

В общей сложности из материалов поселения Березовая Лука было проанализировано 59 образцов с помощью спектрального анализа (1 — медь, 1 — ошлакованная кость, 1 — гетит, 2 — руда, 3 — ошлакованная керамика, 51 — шлак), 4 образца шлака с помощью химического анализа, 44 минералогических анализов шлака под микроскопом и 11 визуальных минералогических определений.

Таб. 11-5

Форма шлака поселения Березовая Лука

Уплотненный тяжелый	Уплотненный легкий	Бесформенный тяжелый	Прочее
7 14,9%	2 4,3%	34 72,3%	4 8,5%

Химический состав шлака

Количество химических анализов очень невелико, но они достаточно показательны. Четыре образца было проанализировано с помощью общего химического анализа в Комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка» (таб. 11-6). Потери меди в шлаке, выявленные этим анализом, не слишком высоки, хотя в одном образце они и достигают 3,34%. Но в целом отделение металла от шлака происходило достаточно полно. Серы тоже не много, хотя некоторое количество серы есть во всех шлаках, что позволяет говорить о том, что в плавке использовалось какое-то количество сульфидов. Бросается в глаза большое содержание кремнезема, говорящее о кислом составе рудовмещающей породы, что соответствует характеру месторождений Алтая.

Таб. 11-6

Химический анализ (%) шлака поселения Березовая Лука

№	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	Cu	SO ₃
2037	72,74	2,82	20,33	2,61	0,61	0,50	0,17	1,63	0,08
2044	69,68	11,54	6,78	4,05	1,43	3,20	0,15	0,46	0,11
2048-1	63,92	18,67	6,36	1,74	1,43	2,99	0,07	0,15	0,09
2063	61,78	2,81	27,84	3,48	0,82	0,60	0,25	3,34	0,12

Более наглядно это видно при расчетах коэффициента основности, сделанного на базе химического анализа по формуле

$$O = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{TiO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3)$$

(Перепелицын, 1987, с. 211—214).

Все шлаки Березовой Луки относятся к ультракислой и кислой группам (таб. 11-7). Подобный состав шлака не мог не отразиться и на его микроструктурах. Кристаллизация в нем должна была проходить слабо.

Таб. 11-7

Коэффициенты основности шлаков поселения Березовая Лука

Образец	Коэффициент основности	Группа
2063	0,51	Кислый
2037	0,32	Ультракислый
2044	0,19	Ультракислый
2048-1	0,15	Ультракислый

Были произведены и расчеты вязкости при температуре 1400 °С (таб. 11-8). Вязкость составила 8,23—31,09 Па·с. Для сравнения отметим, что для шлаков синташтинской культуры вязкость колеблется в диапазоне 1,46—6,2 Па·с. Соответственно, шлаки Березовой Луки являются очень вязкими, что обусловлено их ультракислым составом и отсутствием, по всей вероятности, традиции использования железистых флюсов. Во всех этих данных заключен определенный парадокс: при высокой вязкости шлака содержание меди в нем ничтожно. Плавить руду такого состава было крайне сложно. Для этого требовались достаточно высокие температуры и продолжительное время, позволявшее частицам металла осесть.

Таб. 11-8

Коэффициент вязкости шлака поселения Березовая Лука при температуре 1400 °С

№	Kz	η 1400 (Pa·s)
2048-1	0,16	31,09
2044	0,20	24,15
2037	0,34	13,83
2063	0,56	8,23

Минералогия шлака

Основная информация была получена при исследовании шлака под микроскопом. Двумя аншлифами исследованы образцы железистой породы (№ 2036, 2051). Один представлен куском гетита (№ 2051), второй, по-видимому, куском гетита, подвергнутым температурному воздействию, в результате чего, начинается образование магнетита. Некоторые куски магнетита начинают распадаться на более мелкие частицы.

Остальные образцы представлены шлаком, который можно объединить в различные минералогические группы. При этом сохранена номенклатура групп, выделенных на синташтинском материале.

Минералогическая группа II

Основная группа шлака (26 образцов) довольно пористая. Поры бывают мелкие и крупные. При этом, наряду с порами правильной округлой формы, очень много пор, не имеющих определенной формы, что указывает на вязкость расплава. Наряду с порами, во многих образцах встречается много трещин в стекле.

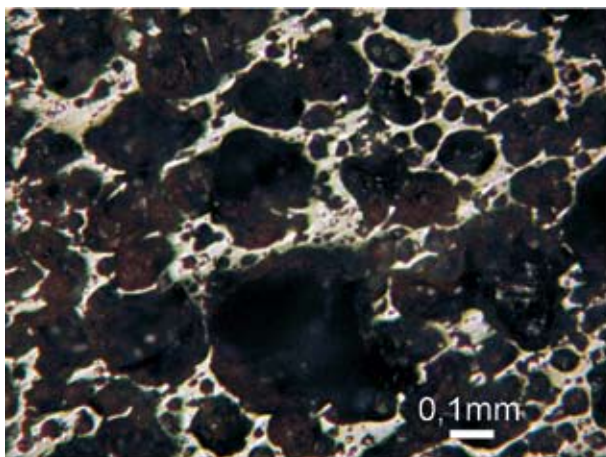
Кристаллизация в шлаках прошла слабо. В шлаках этой группы присутствуют кристаллы оливина, но кристаллизация оливина прошла не на всех участках шлака и представлена она мелкими зародышами кристаллизации, небольшими скелетными формами, длинными тонкими иголками, реже мелкими призматическими кристаллами (рис. 11-1.3—6). Все это указывает на высокую скорость кристаллизации расплава. Слабая кристаллизация может вызываться отсутствием соответствующих компонентов или окислительной атмосферой плавки. Последнее маловероятно, так как куприт в шлаках этой группы представлен слабо. Более правдоподобным объяснением является кислый и ультракислый состав шлака, установленный химическими анализами.

Вытянутые кристаллы оливина разноориентированы, следовательно, остывание было сравнительно равномерно в различных сторонах шлака. Лишь в одном образце (№ 2039) отмечено, что кристаллизация оливина приурочена к одной поверхности шлака, более обогащенной мелкими медными корольками. Последнее позволяет предполагать, что это нижняя часть шлака и остывание ее происходило медленнее, чем прочего образца. Встречены отдельные шлаки, в которых кристаллизация оливина не прошла вовсе. В одном образце (№ 2042) отмечены редкие более крупные призмы, что указывает на то, что этот шлак застывал несколько медленнее, чем остальные.

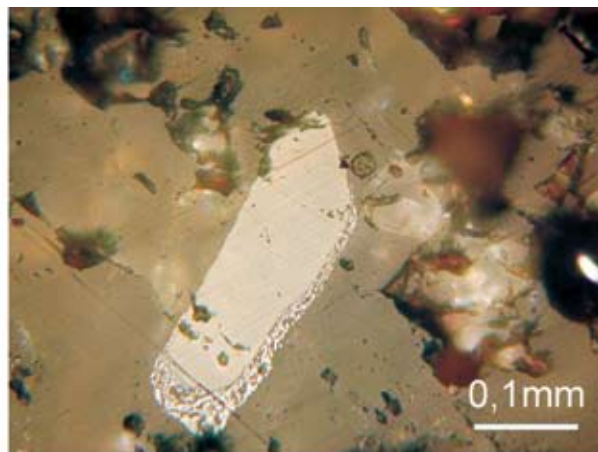
Вторым заметным компонентом в шлаке является магнетит. Он представлен мелкими октаэдрами, формирующимися за счет распада более крупных зерен железного оксида. Однако довольно часто встречаются и скелетные формы, кристаллизующиеся из расплава. В редких случаях (№ 2057) частицы магнетита оплавлены. Однако это не указывает, по-видимому, на температуры плавления, близкие точке плавления магнетита, поскольку оплавление кристаллов могло происходить за счет реакции с расплавом. В отдельных образцах (№ 2042, 2045, 2048, 2053, 2059, 2066) магнетит не встречен. Вызывает сомнение и определение магнетита в образце № 2071, где зафиксирован похожий по габитусу на магнетит ярко-белый минерал, кристаллизующийся в виде скелетов или образующий скопление частиц. Для магнетита он слишком ярок. Не исключено, что это какой-то иной оксид железа, например, вюстит.

Потери меди в шлаках этой группы весьма невелики. Это редкие мелкие корольки или небольшие скопления корольков. Изредка эти скопления значительны, но размеры корольков в этих случаях микроскопические. В одном случае (№ 2059) корольки меди обнаружены в оливине. Редкие крупные корольки могут быть окружены купритовой каймой. Зафиксированы также крупное зерно меди с купритом (№ 2052), сплав меди с купритом и крупный участок расплава меди, окруженного распространяющимся по трещинам расплавом куприта (№ 2042). Последнее указывает на то, что куприт формировался в процессе плавки, а не является продуктом вторичного окисления. Иногда корольки куприта встречаются и в иных образцах, однако его немного, к тому же часть этих корольков может быть результатом вторичного окисления корольков меди. Но часть корольков куприта, безусловно, формировалась в процессе плавки. Показателен в этом плане образец № 2070, в котором зафиксировано, что от скопления таких корольков куприт протекает в трещины, заполняя их. Следовательно, формировался он в расплаве, а не потом. Кроме того, застывание стекла происходило раньше куприта. Стекло было явно силикатного состава, и застыло при температурах не менее 1250—1300 °С. Малое количество куприта и присутствие оливина указывают также на восстановительную атмосферу плавки, хотя, судя по магнетиту, иногда атмосфера была умеренно окислительной.

В ряде образцов (№ 2039, 2041, 2044, 2045, 2046, 2049, 2053, 2056, 2071, 2073) все рудные компоненты были переработаны в процессе плавки, что не позволяет судить о характере исходной руды. Включений руды в шлаке обычно немного, весь материал в процессе плавки достаточно хорошо переработан. В ряде шлаков были выявлены небольшие зерна малахита (№ 2040, 2052, 2055, 2066, 2091). В одном из этих образцов



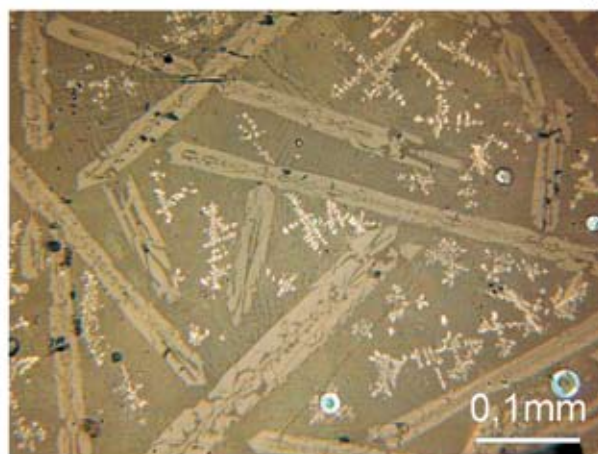
1



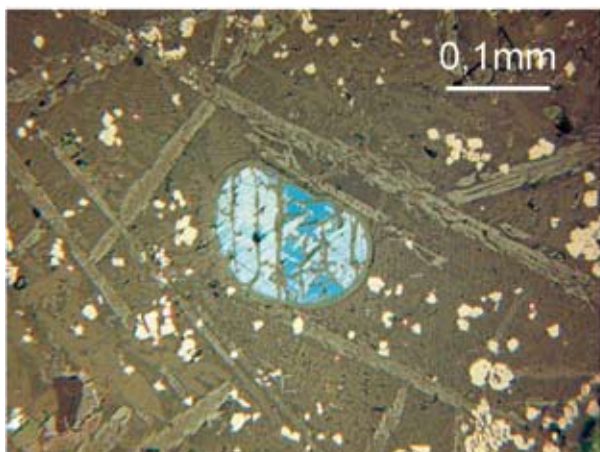
2



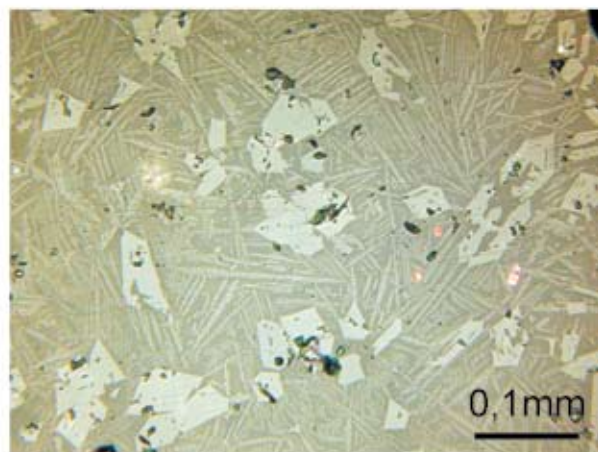
3



4



5



6

Рис. 11-1. Фотографии микроструктур шлака поселения Березовая Лука: 1 — образец 2043, обилие пор (темное) в керамзитовой массе. 2 — образец 2068, включение зерна хромшпинелида в керамзитовом стекле. 3 — образец 2059, оплавленное зерно кварца (светло-коричневое слева) в силикатном стекле (справа), в котором прорастают игольчатые структуры оливина (светлые включения). 4 — образец 2093, игольчатые и удлиненно-призматические скелетные кристаллы оливина и тонкие дендриты магнетита (светлые) в стекляннной матрице, мелкие окисленные медные корольки. 5 — образец 2094, игольчатые и удлиненно-призматические скелетные кристаллы оливина и мелкие октаэдры магнетита (светлые) в стекляннной матрице, крупный корольек ковеллина (хорошо виден эффект анизотропии — светло- и темно-голубая окраска зерен). 6 — образец 2070, игольчатые и призматические кристаллы оливина в стекляннной матрице, мелкие медные корольки

(№ 2052) малахит встречен в ассоциации с кварцем, что может указывать на происхождение руды из кварцевых жил. В том же образце выявлен малахит, отороченный расплавляющимся купритом и малахит в заполнении пор, но это явно вторичное образование, как и в образцах № 2070, 2093 и 2094. В одном из образцов (№ 2050) обнаружено довольно много малахита среди гидроокислов железа. В том же образце присутствуют мелкие включения халькопирита в кварце. Однако в данном случае в плавку поступал все же малахит, так как халькопирита содержится ничтожное количество, а вторичные сульфиды отсутствуют. В нескольких образцах малахит обнаружен вместе с вторичными сульфидами (№ 2037, 2042, 2070, 2093, 2094). В образце № 2042 обнаружены зерна медного сульфида с восстанавливающейся внутри медью и округлые зерна борнита, срощенного в одном случае с малахитом. В других образцах обнаружены медный сульфид (халькозин?) и ковеллин. Изредка сульфиды представлены зернами, но чаще расплавленными корольками. Встречены их ассоциации с малахитом. В образце № 2070 ковеллин встречен в заполнении трещины. Следовательно, стекло начало застывать при более высокой температуре, чем температура плавления ковеллина. Здесь же обнаружено круглое зерно малахита, окруженное ковеллиновой каймой, и крупный королек меди, окруженный тонкой сульфидной каймой.

Все это указывает на то, что в плавку поступала смесь из окисленных и сульфидных руд, причем сульфидные руды были представлены, преимущественно, вторичными сульфидами. Последние могли использоваться и самостоятельно, без малахита.

В образце № 2070 был выявлен также крупный королек меди с многочисленными включениями сульфида. Поэтому полученная медь, вероятно, требовала рафинирования.

Некоторые образцы позволяют предполагать использование в плавке первичного сульфида — халькопирита. Незначительные включения этого минерала обнаружены в образцах № 2048, 2048-1, 2057. При плавке из халькопирита образуется расплавленный вторичный сульфид (№ 2048). В образце № 2057 вместе с халькопиритом обнаружен мелкий королек ковеллина и зерно малахита, отороченное купритом. В этом же образце отмечено мелкое включение халькопирита в круглом зерне малахита средних размеров. Однако у нас нет оснований для утверждений об интенсивном использовании халькопирита. Он попадал туда вместе с окисленной рудой и в небольшом количестве. Присутствие сульфидов благотворно сказывалось на плавке и обуславливало, по-видимому, сохранение восстановительной атмосферы в печи.

В некоторых образцах не сохранилось надежных признаков, указывающих на рудовмещающую породу (№ 2045, 2046, 2048, 2048-1, 2055, 2057, 2059, 2071, 2073). В большинстве других образцов зафиксированы зерна кварца, зачастую растрескавшиеся в результате температурного воздействия (№ 2037, 2040—2042, 2050, 2052, 2053, 2056, 2066, 2069, 2070, 2091, 2093, 2094, 2095). В отдельных зернах кварца обнаружены мелкие частицы или корольки меди и куприта (№ 2066, 2094), включения малахита в кварце (№ 2052) или мелкие включения халькопирита (№ 2050). Все это указывает, как будто, на то, что оруденение связано с кварцем.

Вместе с тем, в тех же образцах (№ 2095) могут присутствовать единичные зерна хромита или ассоциации кварца и магнетита (№ 2094). Зерна хромита небольших размеров отмечены и в некоторых других образцах (№ 2039, 2044). В шлаках синташтинской культуры включения хромитов указывают на происхождение руды из месторождений в ультраосновных серпентинизированных породах. В данном случае оснований для таких выводов нет, так как зерна хромитов очень мелкие и встречаются в единичных случаях. Попадали они в плавку, вероятно, вместе с кусками каких-то гидроокислов железа, диссоциировавших в процессе плавки до магнетита. Этот железистый компонент мог быть привнесен вместе с рудой из кварцевых жил, происходить с иного месторождения и намеренно примешиваться к руде из кварцевых жил или быть флюсом при плавке руд из

кварцевых жил. Однако у нас нет оснований для определенных суждений на эту тему на базе исследований шлака под микроскопом. Спектральным анализом изучен лишь один образец гетита, в котором фиксируется примесь меди 0,4% (№ 2051). Это указывает на то, что железистые оксиды поступали вместе с рудой из силикатных пород, и не были флюсами. В качестве флюсующего компонента использовалась, по-видимому, кость, ошлакованные образцы которой неоднократно были обнаружены в раскопе. Анализ ошлаковки одного образца кости выявил 0,2% меди (№ 2090).

В данной группе встречено три образца шлака (№ 2037, 2049, 2094), в которых на некоторых участках присутствуют скопления иголок делафоссита. Этот минерал образуется только в условиях окислительной атмосферы. Его здесь немного, и, в целом, шлак относится к той же группе. Однако это указывает на то, что в каких-то плавках, или в каких-то зонах атмосфера была более окисленной. В одном из образцов (№ 2037) между иголками делафоссита прорастают дендриты куприта. Возможно, объясняется это тем, что в данном случае в меньшей степени использовались сульфидные руды.

Выводы:

Таким образом, особенности шлака этой группы обусловлены тем, что в плавке, наряду с окисленными рудами, использовались сульфидные. По-видимому, это были, преимущественно, вторичные сульфиды. В плавку попадало и какое-то количество халькопирита, но он не играл особой роли в данном процессе. Плавка велась в условиях восстановительной атмосферы, чему способствовало использование смеси сульфидных и окисленных руд. В результате, сера сульфидной руды забирала часть кислорода окисленной руды, что предотвращало излишнюю купритизацию шлака. Руда происходила, преимущественно, из кварцевой породы. Попадание в плавку железистого компонента, вероятно, было не преднамеренным, а связано с особенностями руды.

Оливин, скорее всего, является фаялитом. Поэтому его кристаллизация могла происходить при температуре не ниже 1205 °С. Судя по расплавлению куприта, температуры могли достигать 1250—1300 °С. Затвердевание шлака проходило очень быстро. При этом, у нас, практически, нет оснований для утверждений, что какая-то сторона шлака остывала медленнее, так как рост кристаллов происходил в разных направлениях. Поэтому не вполне понятны условия остывания этого шлака. Ранее я предполагал, что это могло происходить в тигле, но строгих данных в пользу этого нет. Равномерное остывание с разных сторон более характерно, все же, для печи, а высокая скорость затвердевания обусловлена кислым составом шлака. Выплеск или выпуск шлака в данном случае исключен, как его вязким составом, так и равномерным остыванием в разных направлениях.

Одним из аргументов тигельной плавки было наличие большого количества керамзитового шлака, чего мы коснемся ниже. В принципе, такой шлак мог быть получен и из обмазки печи. Но в иных крупных изученных коллекциях, таких, как синташтинская, керамзитовый шлак представлен единичными экземплярами, хотя обмазка печи должна была присутствовать и в синташтинском производстве.

Отделение металла от шлака произошло достаточно полно, количество медных включений в шлаке весьма незначительно. Чтобы достичь этого расплав должен быть не слишком вязким. Однако коэффициент вязкости при температуре 1400 °С для четырех шлаков поселения Березовая Лука колебался от 8,23 до 31,09 Па·с, что, в целом, превышает показатели иных шлаков эпохи бронзы. Поэтому не исключено, что полного отделения металла от шлака добивались продолжительной плавкой при высокой температуре. Металлурги синташтинской культуры, как мы видели, вели плавку в высокотемпературной области непродолжительное время. В данном случае, видимо было иначе,

хотя аналитических данных, подтверждающих это, нет. Не исключены на какое-то время и более высокие температуры, чем 1300 °С, что было возможно благодаря сульфидам, но подтверждения этому тоже нет. Флюсами снижения вязкости тоже почти не добивались, так как железистый компонент в должной мере не применялся, а археологически фиксируемые добавки кости были незначительны, судя по химическим анализам. Поэтому, в определенной степени, такое отделение металла от шлака является парадоксом. Единственным вариантом объяснения является то, что в руде первоначально было очень много вторичных сульфидов, и их расплав способствовал снижению вязкости.

Минералогическая группа IV

На фоне вышеописанных шлаков резко отличается четыре образца (№ 2054, 2060, 2064, 2069), содержащие куприт и делафоссит (рис. 11-II). В образцах № 2060 и 2069 иголок делафоссита сравнительно немного. В образце № 2054 их намного больше, но размеры иголок невелики. Иглы делафоссита разнонаправлены. В образце № 2064 их достаточно много и иголки более крупные. Вокруг них образуются дендриты куприта, отдельные его корольки, мелкие включения и корольки меди. Последние застывали после делафоссита, так как принимают иногда произвольную форму, заполняя пространство между иглами этого минерала. Иногда заметно, что формируются дендриты куприта из меди, от корольков отделяются частицы, оформляющиеся в дендриты (№ 2069). Оливин в шлаках этой группы почти не встречается. Исключение составляют образцы № 2060 и 2069, в которых изредка отмечены иголки оливина.

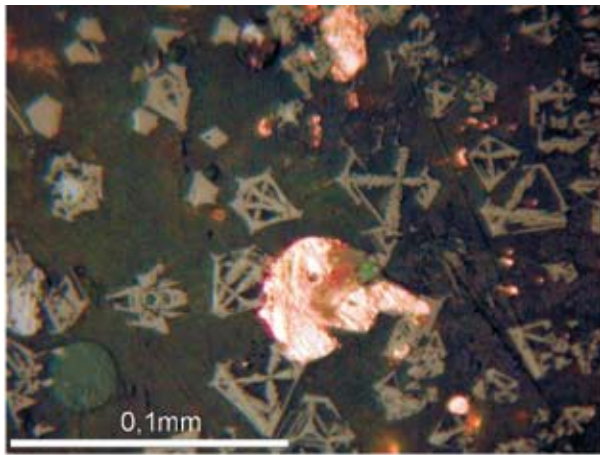
В природе делафоссит образует гроздевидные корки. Присутствие игольчатых кристаллов указывает на высокую скорость затвердевания расплава.

Из рудных минералов в этих шлаках выявлены зернышки малахита. Он представлен достаточно хорошо. Иногда он может присутствовать в порах или по трещинам в стекле, что отражает, по-видимому, уже вторичное образование малахита. Встречаются ассоциации малахита с купритом и даже почти полное замещение малахита купритом (№ 2064). В центре подобного образования может восстанавливаться медь с крупными включениями куприта. То есть, в данном случае речь явно идет о минералах металлургических, а не о формировавшихся впоследствии в культурном слое.

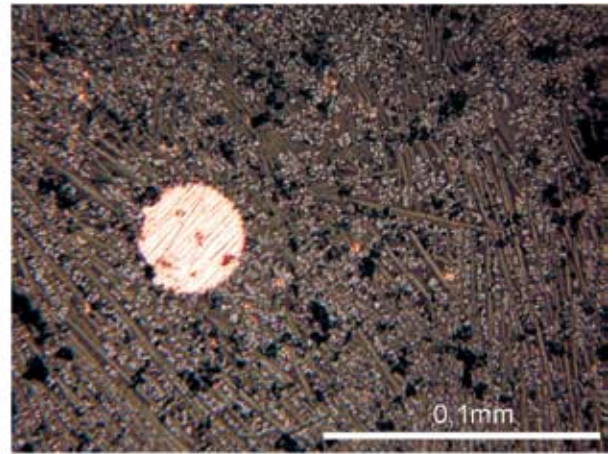
На краю одного зернышка малахита отмечено включение частицы магнетита, а вдоль него идет образование делафоссита (№ 2064). На фоне отсутствия в этих шлаках кварца (за исключением образца № 2069) не исключено, что малахит происходит из железистой породы. На то же могут указывать многочисленные частицы магнетита между иглами делафоссита в образце № 2064, распадающиеся из более крупных зерен. Их края более светлые, возможно, это вюстит, который реагирует с медными минералами, в результате чего и образуется делафоссит. В образце № 2069 магнетита особенно много.

Магнетит формируется за счет распада более крупных зерен. Часть его образует скелетные формы, и сформировалась из расплава. Скорее всего, в плавку поступал, преимущественно, чистый малахит. Руды на Алтае связаны с кварцевыми породами, но кварц старались не брать при обогащении и измельчении руды. Какая-то часть железистых минералов в плавку попадала. Однако трудно сказать — насколько это было целенаправленно.

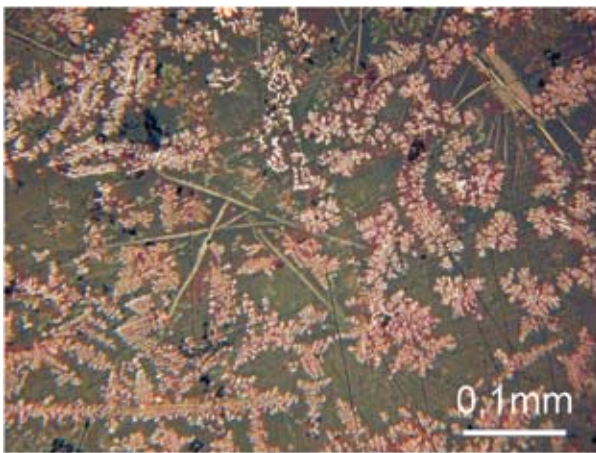
В образцах этой группы меди и медных минералов довольно много. Но в образце № 2060 отмечено особенно много крупных и мелких деформированных корольков меди, расплавленных бесформенных (часто вытянутых) частиц куприта (есть расположенные плотно, сливающиеся в овальное тело), дендритов куприта. Иногда крупные корольки меди окружены очень тонкой купритовой каймой или вокруг них идет кристаллизация дендритов куприта. Расплав меди может быть также внутри расплава куприта. Иногда заметно, что куприт образуется на меди, и вытянутые его корольки отходят от медных



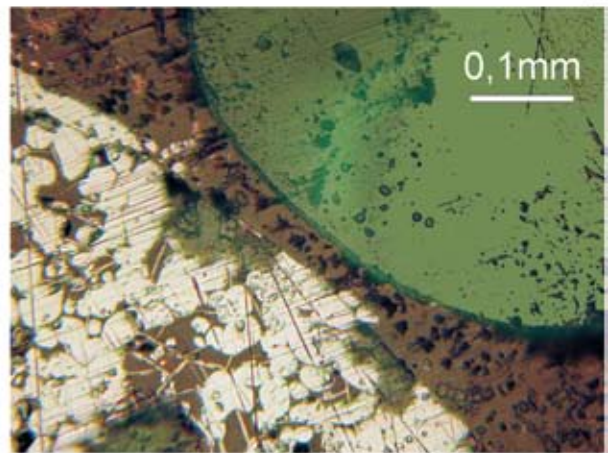
1



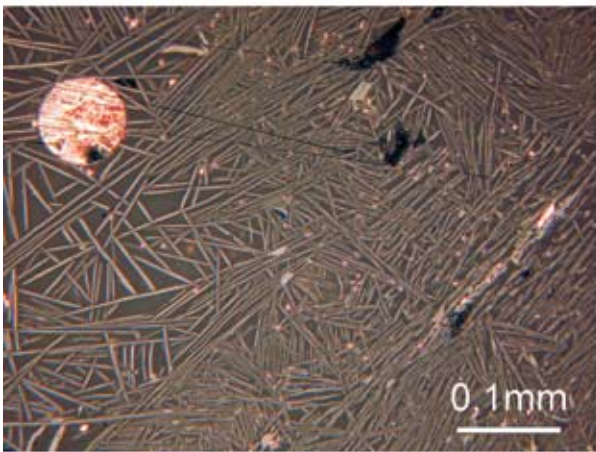
2



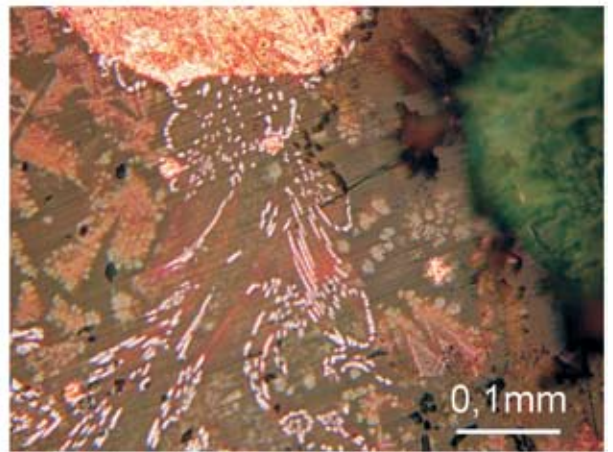
3



4



5



6

Рис. 11-П. Фотографии микроструктур шлака поселения Березовая Лука: 1 — образец 2069, выпадающие из расплава скелеты и октаэдры магнетита в силикатном стекле, медные корольки, внизу слева корольек малахита. 2 — образец 2054, игольчатые структуры делафоссита, между которыми прорастают мелкие дендриты куприта (светлые) и присутствуют мелкие и крупные медные корольки. 3 — образец 2060, иглы делафоссита и дендриты куприта в силикатной матрице. 4 — образец 2060, оплавленное зерно малахита (справа) и расплав куприта (слева) в силикатной матрице. 5 — образец 2064, иглы делафоссита и медные корольки. 6 — образец 2060, зерно малахита (справа), крупный медный корольек (вверху), от которого отделяются расплавленные корольки, окисляющиеся до куприта, вокруг идет образование дендритов куприта

корольков. То есть, часто это повторное окисление меди из-за окислительной атмосферы. Куприта в этом образце тоже достаточно много. Он иногда образует крупные корольки, от которых отходит заполнение трещин (№ 2069). Следовательно, куприт был расплавлен. В образце № 2069 вокруг крупных корольков меди сформировалась кайма из куприта и малахита, окруженная трещиной усадки в стекле.

Выводы:

Резюмируя сказанное по образцам этой группы, можно с уверенностью утверждать, что в плавку поступал исключительно малахит. О рудовмещающей породе столь же уверенно судить невозможно. Вероятно, порода была кварцевой, поскольку образование делафоссита происходит при определенном дефиците железа в системе Cu—Fe—O (Трофимов, Михайлов, 2002, с. 8). Однако в породе все же присутствовал железистый компонент, вероятно гидроокислы. Видимо, малахит и был связан с окислительными процессами по трещинам в породе силикатного состава, где формировались и окислы железа. Но включений рудовмещающей породы крайне мало, видимо, старались брать относительно чистый малахит.

Шлаки получены в условиях резко выраженной окислительной атмосферы. В результате этого идет образование делафоссита и куприта, велики потери меди, и шлак был достаточно вязкий. Поскольку рост кристаллов делафоссита происходил в разных направлениях, можно говорить о том, что остывание шлака осуществлялось равномерно с разных сторон. После затвердевания куприта и делафоссита скорость остывания была очень высокой. Затвердевание делафоссита происходит при температурах 1175—1200 °С (Трофимов, Михайлов, 2002, рис. 2). А, судя по хорошо расплавленному куприту, температура достигала 1300 °С.

Таким образом, температурные параметры плавки этой группы достаточно близки к параметрам шлаков предыдущей группы. Коренные отличия в микроструктуре обусловлены крайне окислительной атмосферой плавки, что было вызвано плавкой исключительно окисленной руды. На первый взгляд, незначительность этой группы шлака указывает на то, что это не целенаправленные плавки, а результат того, что елунинская металлургия базировалась, главным образом на рудной смеси, состоящей из окисленной руды и вторичных сульфидов. В случае, если первый компонент в шихте резко доминировал, результатом этого становились шлаки этой группы. Однако следует обратить внимание еще на одно совпадение. В этой группе шлака рудовмещающая кварцевая порода представлена хуже, поскольку отбирался чистый малахит. В принципе, это тот же тип плавки, который мы фиксировали как архаичную тигельную плавку уральского абашева. Поэтому не исключено, что обнаружение тиглей связано именно с этим типом плавки. Соответственно, с учетом редких свидетельств тигельной плавки в афанасьевско-окуневское время, не исключено, что это местная традиция производства. Другой же тип плавки в печи сульфидно-оксидной смеси является инновацией.

Это сочетание плавки сульфидных и оксидных руд в елунинской культуре подкрепляется и данными металлографического анализа. Судя по исследованиям микроструктуры металлических изделий, для выплавки металла употребляли как окисленные, так и сульфидные руды. В структуре единичных изделий обнаружено значительное количество сульфидных включений, что свидетельствует о недостаточной отшлаковке меди (Дегтярева и др., 2010, с. 27).

Керамзитовые шлаки

Несколько образцов показало структуры, характерные для керамических масс (12 образцов) (рис. 11-1.1,2). В отраженном свете их изучение затруднено, однако отдельные включения выявляются. Шлаки эти не однородны, поскольку могли форми-

роваться в разных условиях (ошлаковка тигля или обмазки печи, причем, в различных местах и в условиях контакта с различными иными реагентами плавки). Почти все эти шлаки достаточно легкие, насыщены мелкими порами. В некоторых шлаках различных в отраженном свете включений почти не присутствует. В одном образце (№ 2034) в керамической массе фиксируются небольшие углистые включения. В других встречаются мелкие включения меди, в порах может идти образование малахита или куприта (№ 2044, 2065, 2095). Выпадает из этой серии лишь один образец (№ 2058), в котором присутствуют единичные очень мелкие включения белого металла.

В части образцов этой группы отмечено образование шлаковых стекол, хотя и не на всех участках (7 образцов). Стекло насыщено порами, причем поры очень неровные, что указывает на вязкость расплава. На участках стекла здесь отмечены отдельные мелкие иглы, тонкие вытянутые скелеты или зародыши оливиновой кристаллизации. Иногда встречаются скопления небольших частиц магнетита — результат распада более крупных зерен железного оксида. Вероятно, была использована порода ультраосновного состава. На это указывает и редкое присутствие мелких зерен хромита в шлаках этой группы (рис. 11-1.2). У некоторых зерен более светлый край или магнетитовая кайма. В одном образце (№ 2038) обнаружены мелкие зернышки кварца. Медных компонентов (меди и руды) в шлаках этой группы нет. Исключение составляет образец № 2038, в котором найдено маленькое зернышко халькопирита. В образце № 2062 зафиксированы включения двух мелких корольков меди и фрагмент малахита. Этот образец более тяжел, чем остальные, и может включать рудную и шлаковую массу, а не только обмазку.

Анализ включений на микронзонде не проводился, но, скорее всего, оливины относятся к фаялиту, поскольку они достаточно светлые, а в формировании их мог принимать участие лишь силикатный компонент и железные оксиды. Магнезиальных минералов анализ не выявил. Поэтому можно предполагать, что температура достигла 1200 °С. Вместе с тем, затвердевание этих шлаков происходило достаточно быстро, поэтому кристаллизация оливина не прошла. Не исключено, что объяснение лежит в нехватке каких-то компонентов.

Существует еще одно важное обстоятельство. При большом количестве керамзитовых шлаков в целом (12 образцов на 30 образцов нормального металлургического шлака, исследованных минералогически), в выборку не попало ни одного образца, который можно было бы уверенно идентифицировать как тигель. Все это достаточно бесформенные образования. Исключение составляют образцы № 2067, 2068, которые изначально идентифицировались как керамика. В принципе, не исключено, что в выборку попали и шлаки, образовавшиеся в результате протекания обмазки печи и фрагменты тиглей, как для плавки руды, так и для расплавления металла.

Но в целом, доля керамзитового шлака в выборке составила 28,5%, с чем в других коллекциях (за исключением более поздних межовских) сталкиваться не приходилось, в то время, как доля шлака II и IV минералогических групп составила 62 и 9,5% соответственно (таб. 11-9). Чтобы уточнить соотношение этих двух типов плавки был проведен расчет без учета керамзитовых шлаков. В этом случае доля шлака II группы составляет 86,5%, а IV группы 13,5%. То есть, плавка с использованием сульфидных руд резко доминирует. Но следует учитывать то, что шлаки, оставшиеся от плавки чистого

Таб. 11-9

Минералогические группы шлака поселения Березовая Лука

II	IV	Керамзитовый шлак	Итого
26	4	12	42
62%	9,5%	28,5%	100%

малахита, плохо сохраняются, поэтому истинная доля плавок этого типа наверняка была несколько выше.

Объемы плавок

Довольно проблематично рассчитать объемы плавок. Для шлаков II группы, полученных в печи, это абсолютно невозможно. Но, для тигельных плавок сделать это реально. На поселении Колыванское I, относящемся к елунинской культуре, было установлено, что плавка руды осуществлялась в тиглях объемом 0,5 л (Алехин, Демин, 1988, с. 85—86). При среднем удельном весе малахита около 4 г/см³, подобный тигель мог вместить около 2 кг руды, однако для плавильного процесса необходима загрузка древесного угля в соотношении с рудой 1:2 (Bamberger, 1992, p. 157; Bamberger, Wincierz, 1990, p. 123). Не исключено, что при тигельной плавке его требовалось меньше, если тигель перекрывать рудой. Поэтому данная плавка потребовала бы 1 кг угля. Так как плотность березового угля составляет 380 кг/м³, общий его объем составит около 2630 см³. Следовательно, тигель может вмещать не более 300 г руды. Довольно сложно сказать, какое количество меди могло быть произведено таким способом за одну плавку при тех потерях металла, которую фиксируют шлаки IV группы (30—50%), но цифра 50—100 г представляется реалистичной.

Спектральный анализ

Было сделано 59 спектральных анализов образцов Березовой Луки (таб. 11-10). Из них один проанализированный образец (№ 2051) оказался железным оксидом гетитом. Тем не менее, в нем присутствовало 0,4% меди, что указывает на то, что гетит входил в состав рудной породы, а не использовался в качестве флюсующего компонента. Проанализировано три образца окисленной руды (№ 2092, 2097, 2100). Во всех них отмечены повышенные концентрации свинца и цинка. В одном образце (№ 2100) чуть более высокое содержание мышьяка и сурьмы, но в целом эти элементы в руде содержатся в низких концентрациях.

Проанализирован и фрагмент ошлакованной кости, покрытой металлургической шлаковой массой (№ 2090). В этом образце зафиксированы повышенные концентрации бериллия (0,3%) и стронция (0,1%). Однако часто они встречаются и в руде, поэтому не могут быть надежным признаком использования кости в качестве флюса. В целом, на поселении найдено множество обожженных костей с синевато-фиолетовым оттенком, что позволило предположить их использование в качестве шихты (Кирюшин и др., с. 126—127). Это, безусловно, правильный вывод, кость использовали в качестве флюса. Трудно сказать, что будет признаком этого в шлаке, помимо самой кости. Химическим анализом в двух шлаках выявлены более высокие концентрации калия и кальция, которые присутствуют в костном материале, но они могут быть вызваны и характером руды или переходить в шлак из золы. Но, несмотря на отсутствие строгих аналитических данных (они имеют вероятностный характер), сомневаться в использовании кости в качестве флюса не приходится.

Остальные проанализированные этим методом образцы были шлаком. При построении частотных диаграмм (рис. 11-11) распределения элементов-примесей двух— и трехвершинные диаграммы были получены для свинца и цинка. Корреляционные графики действительно показывают различие этих элементов в шлаке, но не позволяют выделять на этой основе четкие химические группы шлака (рис. 11-12, 11-13, 11-14). При сопоставлении частотных диаграмм, сделанных для разных минералогических групп шлака (рис. 11-15), выяснилось, что низкие значения этих элементов демонстрирует, главным образом, керамзитовый шлак (группа К). В группе со средними значениями этих элементов может тоже сказываться присутствие обломки независимо от того, использовался

Таб. 11-10
Спектральные анализы (%) поселения Березовая Лука. Выполнено в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

Материал	№	Группа	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Se	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
гетит	2051		0,02	0,005	0,015	0,3	0,01	0,05	0,0005	<0,0003	0,4	0,5	0,05	0,0004	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,015	0,01	<0,001	0,0007	0,00003	0,003	0,0005	<0,001	<0,0001	
керамика	2067	к	0,005	0,002	0,03	0,07	0,005	0,5	0,0005	<0,0003	1	0,07	0,05	0,0004	0,005	<0,003	<0,001	0,002	0,0001	0,07	0,02	0,002	0,02	0,0001	0,015	0,001	0,003	0,0003	
керамика	2067	к	0,007	0,002	0,1	0,07	0,01	0,3	<0,0005	<0,0003	0,7	0,07	0,05	0,0002	0,005	<0,003	<0,001	0,0015	0,0007	0,07	0,03	0,0015	0,07	0,00015	0,015	0,001	0,003	0,0002	
керамика	2068	к	0,03	0,003	0,4	0,06	0,01	0,5	0,0005	<0,0003	0,2	0,02	0,005	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,07	0,02	0,003	0,0015	0,00015	0,015	0,001	0,003	0,0002	
кость	2090		0,01	0,003	<0,001	0,3	0,0015	0,01	<0,0005	<0,0003	0,2	0,02	0,005	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,2	0,1	<0,001	0,007	0,03	<0,00003	<0,001	<0,0001		
мель	2096		0,0015	<0,0003	0,003	0,07	<0,001	0,1	0,0005	<0,0003	>1	0,015	0,3	0,00005	0,01	<0,003	<0,001	0,007	0,0001	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	nd	<0,00003	<0,001	<0,0001		
руда	2092		0,004	0,0015	0,005	0,09	0,015	0,05	<0,0005	<0,0003	1	1	1	0,002	0,05	<0,003	0,003	0,03	0,005	0,01	<0,001	<0,001	0,00003	nd	<0,00003	<0,001	<0,0001		
руда	2097		0,0015	<0,0003	0,005	0,07	<0,001	0,03	<0,0005	<0,0003	1	0,7	0,5	0,00005	0,01	<0,003	0,005	0,007	0,0001	0,015	<0,001	<0,001	0,03	0,00003	nd	<0,00003	<0,001	<0,0001	
руда	2100		0,007	0,003	0,003	0,09	0,015	0,15	<0,0005	<0,0003	1	1	0,5	0,003	0,1	0,015	0,005	0,02	0,002	0,015	<0,001	0,007	0,3	0,00003	nd	<0,00003	<0,001	<0,0001	
шлак	2034	к	0,02	0,0015	0,1	0,2	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,4	nd	0,005	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,05	0,015	0,003	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,0002	
шлак	2035	II	0,015	0,003	0,05	0,07	0,007	0,3	0,0005	<0,0003	0,5	0,04	0,02	0,0002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,07	0,03	0,005	0,05	0,00015	0,01	0,001	0,0015	0,0015	
шлак	2037	II	0,01	0,0015	0,03	0,2	0,003	0,15	<0,0005	<0,0003	>1	0,3	0,07	0,0007	0,01	<0,003	<0,001	0,007	0,0007	0,015	0,015	0,005	0,0005	0,00003	0,015	0,001	0,001	0,0001	
шлак	2038	к	0,01	0,002	0,05	0,07	0,007	0,3	0,0005	<0,0003	0,1	0,01	0,005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,07	0,03	0,001	0,001	0,00015	0,01	0,001	0,002	0,0002	
шлак	2038	к	0,015	0,002	0,15	0,09	0,01	0,3	0,0005	<0,0003	0,05	nd	0,005	0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,06	0,03	0,0015	0,005	0,00015	0,003	0,0015	0,003	0,0003	
шлак	2039	II	0,01	0,0015	0,1	0,15	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,4	0,02	0,03	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	0,0015	0,0007	0,07	0,03	0,005	0,1	0,00015	0,01	0,0015	0,003	0,0003	
шлак	2040	II	0,02	0,002	0,05	0,15	0,005	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,15	0,02	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,015	0,015	0,015	0,02	0,00005	0,015	0,001	0,002	0,0002	
шлак	2041	II	0,015	0,002	0,1	0,1	0,0015	0,15	0,0005	<0,0003	0,4	0,02	0,005	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,0007	0,015	0,015	0,001	0,0003	<0,00003	0,007	0,0005	<0,001	<0,0001
шлак	2042	II	0,02	0,0015	0,02	0,2	0,01	0,3	0,0005	0,00015	>1	0,3	0,04	0,0015	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,02	0,01	0,005	0,00015	0,00005	0,007	0,001	0,001	0,0001	
шлак	2043	к	0,02	0,005	0,1	0,1	0,01	0,3	0,001	<0,0003	>1	0,4	0,06	0,003	0,005	<0,003	<0,001	0,0015	0,0005	0,05	0,03	0,0015	>0,3	0,00015	0,01	0,0015	0,003	0,0003	
шлак	2044	II	0,01	0,0015	0,1	0,1	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,5	0,03	0,015	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,05	0,02	0,0015	0,03	0,00015	0,015	0,001	0,003	0,0003	
шлак	2045	II	0,001	<0,0003	0,015	0,07	<0,001	0,1	<0,0005	<0,0003	0,02	nd	0,001	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0001	0,15	<0,001	<0,001	<0,0005	0,00005	<0,00003	<0,001	<0,0001	0,0001	
шлак	2046	II	0,02	0,003	0,07	0,2	0,01	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,2	0,15	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,02	0,01	0,005	0,0005	0,00003	0,005	0,001	0,001	0,0001	
шлак	2047		0,015	0,003	0,05	0,3	0,003	0,15	<0,0005	<0,0003	>1	0,3	0,05	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,02	0,01	0,003	0,0005	0,00015	nd	0,001	<0,001	<0,0001	
шлак	2048	II	0,01	0,002	0,1	0,07	0,015	0,6	0,001	<0,0003	0,4	0,02	0,005	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,2	0,04	0,0015	0,0003	0,0002	0,015	0,001	0,003	0,0003	
шлак	2049	II	0,03	0,003	0,1	0,2	0,003	0,1	<0,0005	<0,0003	>1	0,5	0,15	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	0,002	0,003	0,02	0,01	0,02	0,0003	0,00003	0,0005	0,001	0,001	0,0001	
шлак	2050	II	0,015	0,005	0,05	0,15	0,005	0,1	<0,0005	<0,0003	>1	1	0,5	0,002	0,01	<0,003	<0,001	0,005	0,003	0,02	0,015	<0,001	0,0003	0,00003	nd	0,0005	0,001	0,0001	
шлак	2052	II	0,02	0,002	0,05	0,2	0,003	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,4	0,07	0,001	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,1	0,015	0,002	0,0003	0,00003	0,007	0,0005	0,0015	0,0001	
шлак	2053	II	0,02	0,003	0,05	0,2	0,003	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,7	0,07	0,001	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,02	0,01	0,005	0,0003	0,00003	0,005	0,0005	0,0015	0,0001	
шлак	2054	IV	0,015	0,015	0,03	0,5	0,003	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	1	1	0,0004	0,04	0,007	0,005	0,01	0,01	0,03	0,01	0,003	0,02	0,00003	0,003	0,001	0,0015	0,0001	
шлак	2055	II	0,015	0,005	0,0015	0,15	0,003	0,15	<0,0005	<0,0003	1	0,5	0,3	0,0015	0,005	<0,003	<0,001	0,003	0,002	0,02	0,01	0,002	0,003	0,00015	nd	0,001	<0,001	<0,0001	
шлак	2055	II	0,02	0,003	0,15	0,2	0,007	0,2	<0,0005	<0,0003	0,7	0,4	0,15	0,0007	0,01	<0,003	<0,001	0,001	0,002	0,03	0,015	0,007	0,003	0,00003	0,003	0,0005	0,0015	0,0001	
шлак	2056	II	0,03	0,003	0,1	0,2	0,01	0,2	0,0005	<0,0003	>1	0,07	0,01	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,02	0,015	0,015	0,005	0,0001	0,01	0,0005	0,003	0,0003	
шлак	2057	II	0,005	0,003	0,1	0,1	0,007	0,15	<0,0005	0,00015	>1	0,07	0,04	0,0005	0,02	0,0015	<0,001	<0,001	0,003	0,03	0,015	0,01	0,0003	0,00007	0,007	0,001	0,001	0,0001	
шлак	2057	II	0,004	0,002	0,003	0,2	0,005	0,07	0,0005	<0,0003	1	0,1	0,05	0,002	0,05	0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,02	0,015	0,007	0,005	0,00015	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	
шлак	2058	к	0,015	0,0015	0,03	0,07	0,02	0,3	0,0005	<0,0003	1	0,02	0,05	0,003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,01	1	0,07	<0,001	0,003	0,00015	0,015	0,001	0,001	1	
шлак	2058	к	0,01	0,003	0,1	0,5	0,007	0,2	0,0005	0,00015	0,02	0,2	0,005	0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,05	0,02	0,01	0,0003	0,0001	0,01	0,001	0,002	0,0002	
шлак	2060	IV	0,007	0,0015	0,07	0,05	0,01	0,3	0,001	<0,0003	1	0,02	0,003	0,0007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,07	<0,001	0,001	0,0001	0,01	0,001	0,0015	0,0015	
шлак	2060	II	0,007	0,003	0,15	0,09	0,01	0,15	0,0005	0,002	>1	nd	0,03	0,0015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,15	0,07	0,015	0,0003	0,0001	nd	0,0015	0,002	0,00015	
шлак	2061	к	0,07	0,003	0,2	0,1	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,03	nd	0,005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,07	0,03	0,005	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,003	0,0003	
шлак	2062	к	0,005	0,003	0,05	0,1	0,005	0,07	<0,0005	<0,0003	>1	0,15	0,06	0,0007	0,01	0,0015	<0,001	<0,001	0,001	0,02	0,015	0,003	<0,0005	0,00003	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	
шлак	2063		0,005	0,003	0,03	0,2	0,005	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,4	0,3	0,0009	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,02	0,015	0,005	0,0003	0,00005	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	
шлак	2064	IV	0,005	0,004	0,05	0,07	0,01	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,7	0,7																

Окончание Таб. 11-10

Марг-риал	№	Группа	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
шлак	2074	к	0,03	0,003	0,5	0,15	0,01	0,5	0,0005	<0,0003	0,15	nd	0,005	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,1	0,015	0,005	0,002	0,0001	0,015	0,001	0,002	0,00015
шлак	2091	II	0,01	0,002	0,07	0,15	0,005	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,15	0,02	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,15	0,02	0,01	0,0003	0,00007	0,007	0,001	0,0015	0,00015
шлак	2093	II	0,02	0,003	0,15	0,2	0,01	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,15	0,03	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,09	0,02	0,007	0,0003	0,00007	0,007	0,001	0,0015	0,00015
шлак	2094	II	0,02	0,002	0,4	0,15	0,005	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,4	0,15	0,0007	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,03	0,015	0,005	0,0007	0,00007	0,005	0,001	0,002	0,00015
шлак	2095	II	0,015	0,003	0,15	0,07	0,015	0,2	<0,0005	0,0015	>1	nd	0,04	0,0015	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,005	>1	0,15	<0,001	0,0003	0,00015	0,007	0,001	0,0015	0,0001
шлак	2098		0,02	0,003	0,03	0,2	0,003	0,05	<0,0005	<0,0003	1	1	0,5	0,002	0,02	0,003	0,003	0,01	0,003	0,02	0,01	<0,001	0,0015	0,00003	nd	<0,00003	<0,001	<0,0001
шлак	2099		0,002	0,002	0,0015	0,15	0,007	0,6	<0,0005	<0,0003	1	1	1	0,003	0,03	0,01	0,003	0,007	0,0015	0,015	<0,01	0,1	0,3	0,00015	nd	<0,00003	<0,001	<0,0001
шлак	2048-1	II	0,015	0,002	0,1	0,07	0,015	0,6	0,001	<0,0003	0,015	0,01	0,001	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,2	0,04	0,002	0,0003	0,0002	0,015	0,001	0,003	0,0003
шлак	2095а	II	0,02	0,003	0,15	0,2	0,005	0,2	<0,0005	<0,0003	>1	0,4	0,1	0,0007	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,05	0,02	0,007	0,0007	0,00007	0,005	0,001	<0,001	0,0001
Чувствительность анализа			0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,00003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,00003	0,001	0,00003	0,001	0,0001

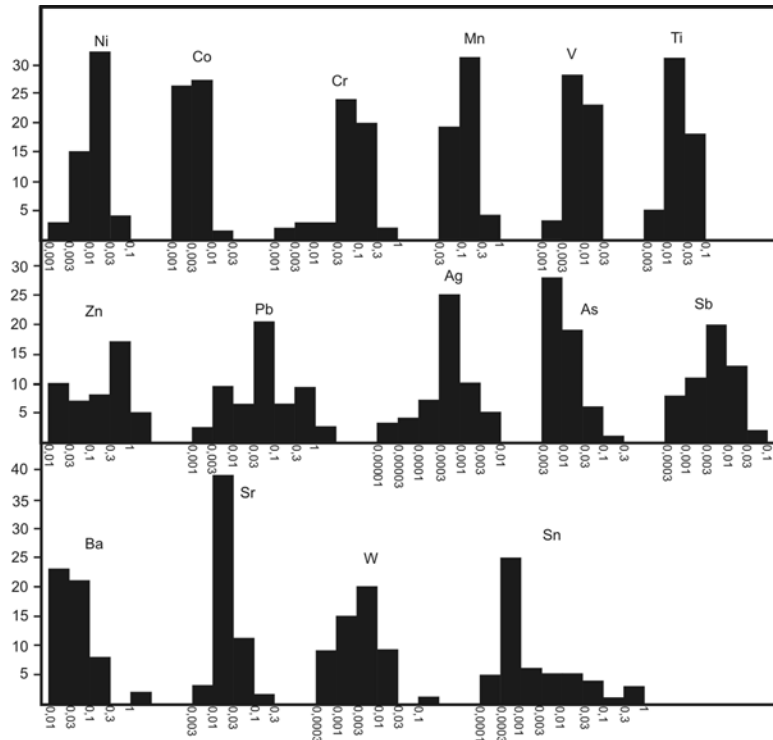


Рис. 11-11. Частотные диаграммы распределения элементов примесей (%) в шлаке поселения Березовая Лука

ли чистый малахит или смесь сульфидных и окисленных руд. Попытки же выделения групп по иным элементам успехом не увенчались. Поэтому вероятнее всего, руда происходит из одного или нескольких близких по химическому составу рудных источников с повышенным содержанием свинца и цинка. Образцы обеих минералогических групп шлака, полученного при плавке руды, ведут себя одинаково. Поэтому, вероятно, их минералогические различия вызваны, главным образом, большей окисленностью руды второй группы.

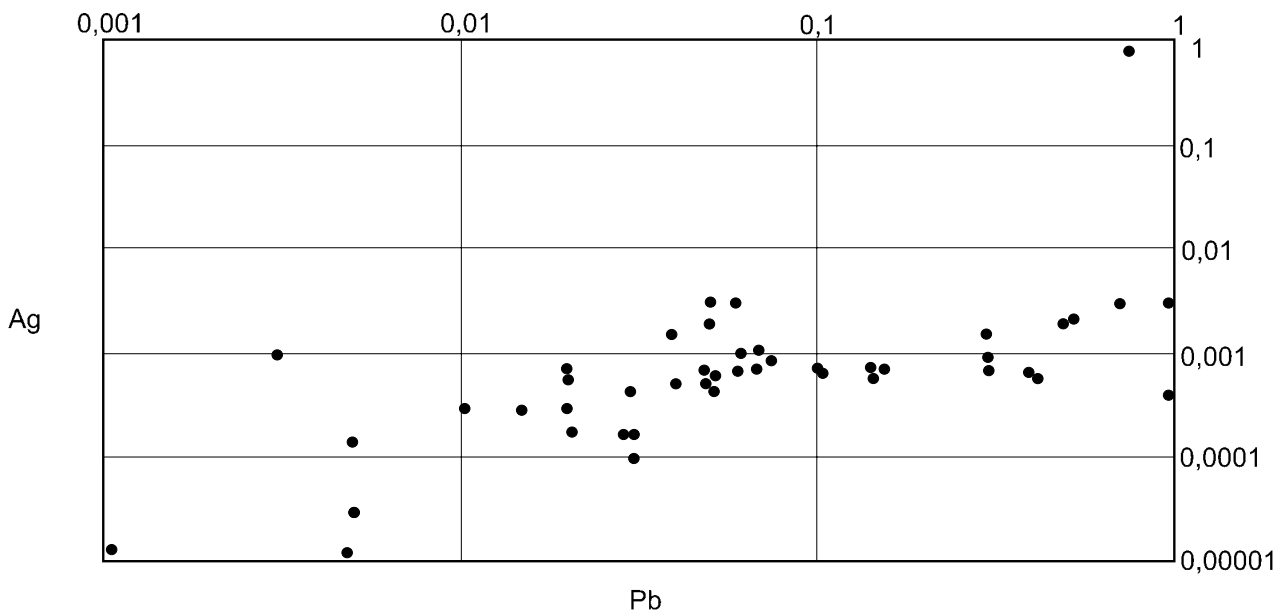


Рис. 11-12. Корреляционный график Pb—Ag (%) для шлака поселения Березовая Лука

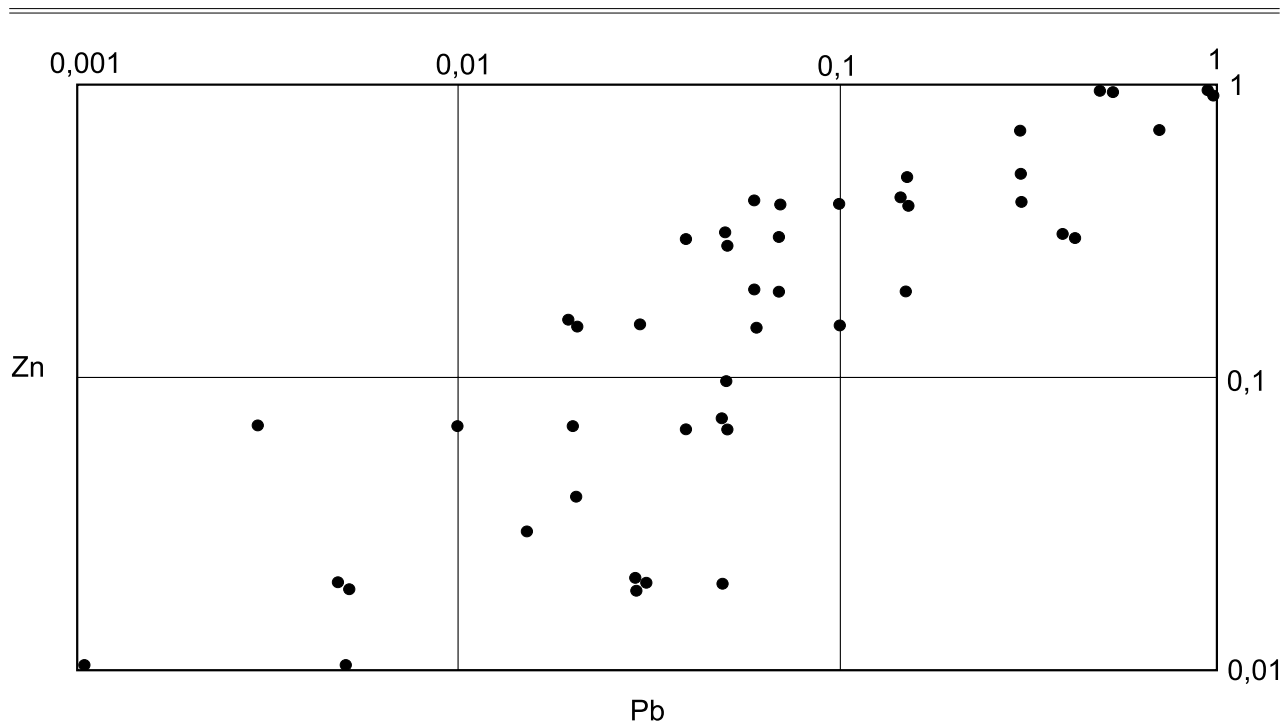


Рис. 11-13. Корреляционный график Pb—Zn (%) для шлака поселения Березовая Лука

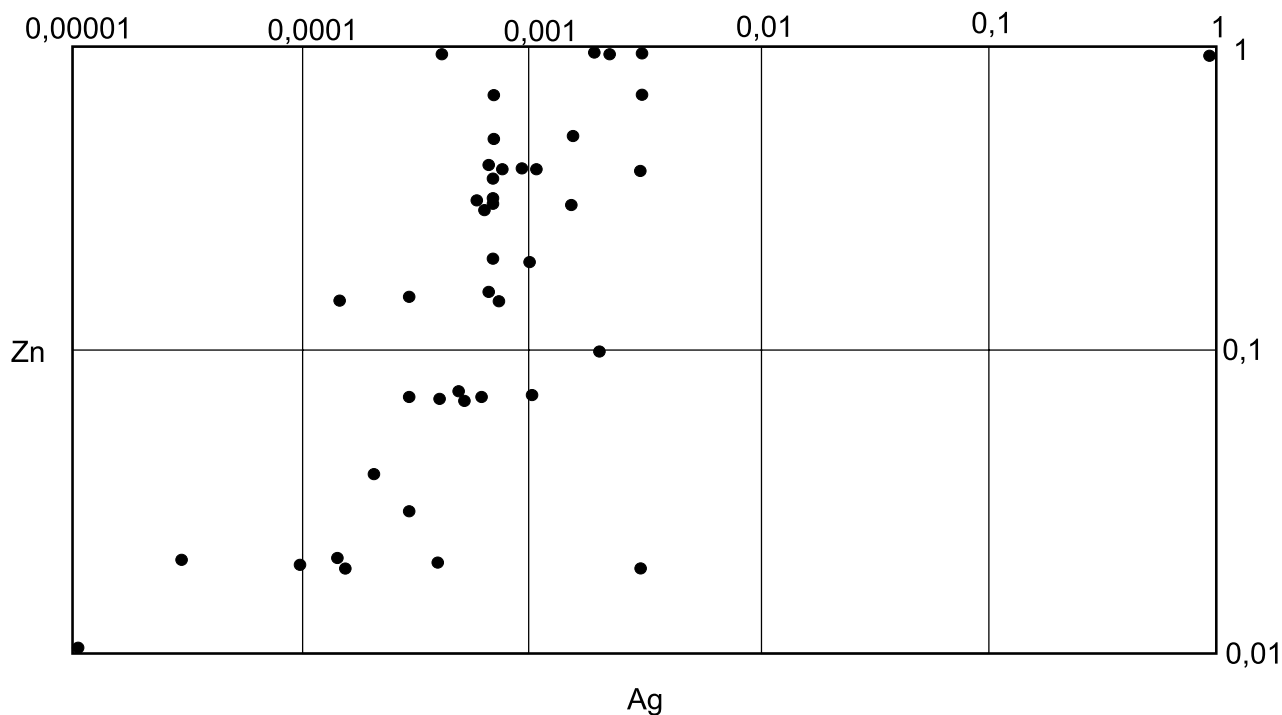


Рис. 11-14. Корреляционный график Ag—Zn (%) для шлака поселения Березовая Лука

На основании произведенной работы нельзя однозначно утверждать, что свинец и цинк отражают присутствие сульфидных руд, поскольку количество образцов IV минералогической группы слишком невелико, и это не позволяет делать какие-то статистически обоснованные выводы. Хотя, исходя из того соображения, что коренным алтайским месторождениям примесь этих металлов характерна, можно это допускать на уровне тенденции, но не в качестве надежного признака. Сложность еще в том, что металлурги

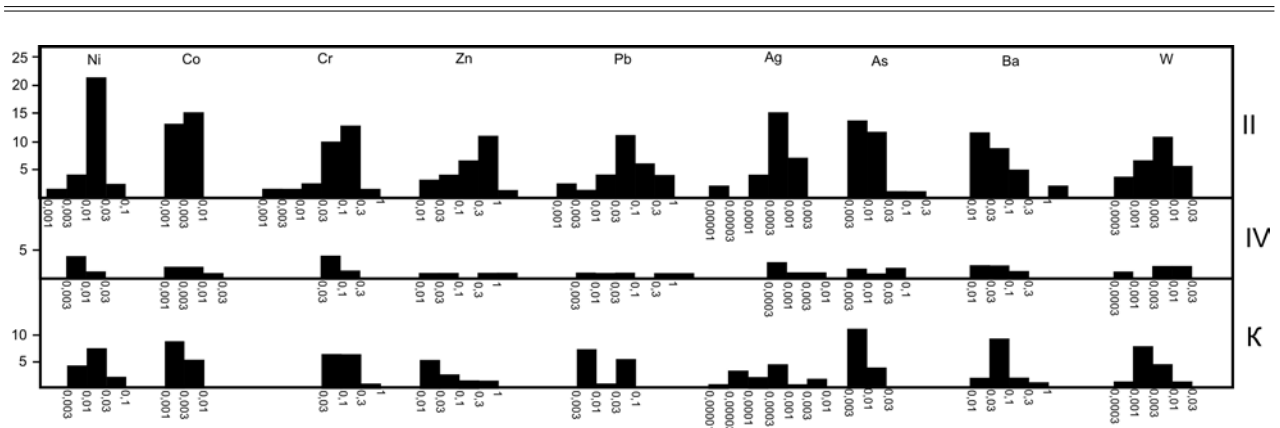


Рис. 11-15. Частотные диаграммы распределения элементов примесей (%) по минералогическим группам в шлаке поселения Березовая Лука

использовали не чистую сульфидную руду, а ее смесь. Предположение же о возможности использования кадмия в качестве маркера сульфидных руд (Кирюшин и др., 2004, с. 126) не подтверждается, так как в исследованной выборке он может встречаться в окисленной руде или шлаках, полученных при ее плавке, и чаще отсутствует в шлаке, полученном при плавке смеси оксидов и сульфидов.

Обращает на себя внимание отсутствие повышенных концентраций такого элемента как мышьяк. Это говорит о том, что зафиксированная для синташтинской металлургии технология легирования мышьякосодержащими минералами здесь не употреблялась, поскольку при этих условиях плавки (длительное поддержание высоких температур) мышьяк не сохранился бы в шлаке или металле. Следует обратить внимание на то, что концентрации мышьяка и сурьмы в шлаке не столь высоки, чтобы можно было ставить вопрос об использовании блеклых руд, которые могли дать сурьмяно-мышьяковую медь, присутствующую в сейминско-турбинских комплексах. Соответственно, металлургия данного поселения вряд ли была ее источником. В нескольких образцах с небольшим содержанием сурьмы ее рост пропорционален росту мышьяка (рис. 11-16), но что является причиной этого (легирование или рудная примесь) сказать трудно.

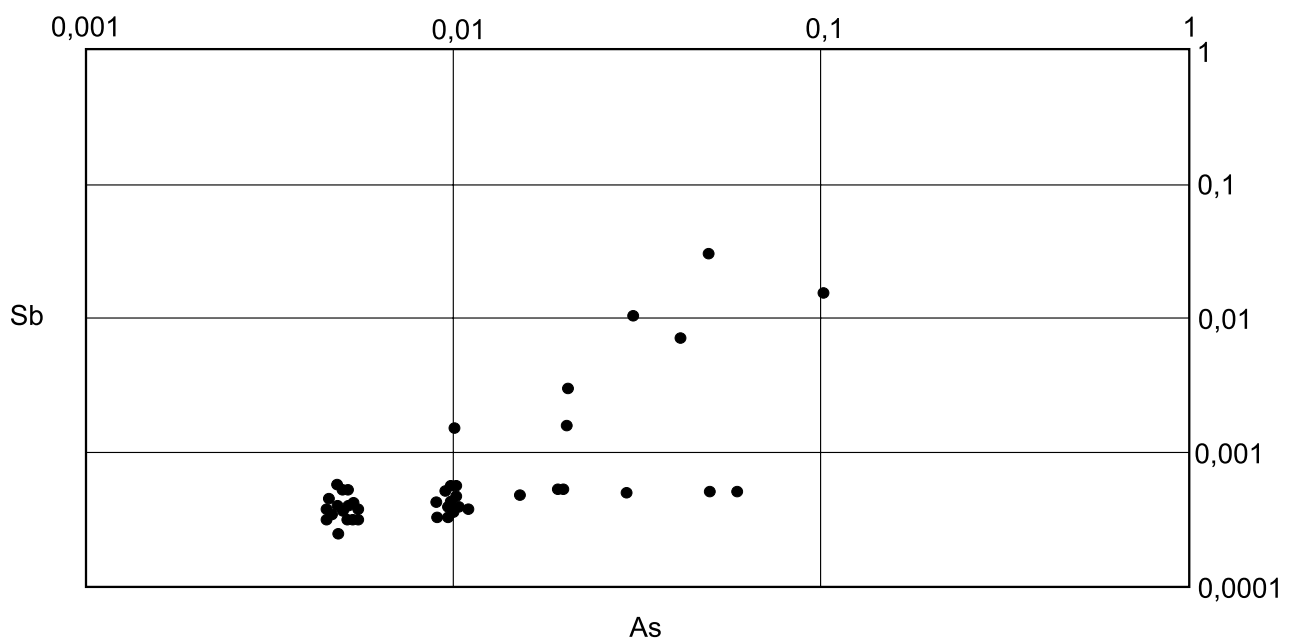


Рис. 11-16. Корреляционный график As—Sb (%) для шлака поселения Березовая Лука

Следует помнить, что среди елунинских памятников данное поселение достаточно раннее, и материалы единичного поселения не позволяют решать вопрос о соотношении елунинской металлургии с сейминско-турбинской. Единственный образец проанализированной капли меди (№ 2096) существенных примесей мышьяка и сурьмы не выявил, хотя в нем присутствует заметная примесь свинца (0,3%), что свойственно алтайским месторождениям.

В трех образцах шлака (№ 2039, 2043, 2099) отмечено содержание олова от 0,1 до 0,3%, проявившееся и в частотной диаграмме, что может указывать на редкое применение архаичного способа легирования в руду для олова. Однако подобное допущение безосновательно, так как в одном из рудных образцов (№ 2100) тоже отмечена высокая концентрация олова. С другой стороны, в другом образце, оказавшемся каплей меди (№ 2096) следов лигатур не выявлено. В этом плане очень показательны прежние спектральные анализы руды, шлака и металла данного поселения (Кирюшин и др., 2004, с. 127—129). В металле высокие концентрации олова являются, практически, обязательным компонентом, а в руде и шлаке олово полностью отсутствует. Это указывает на то, что легирование оловом осуществлялось в металл, а не в шихту, как это имело место с мышьяком в синташтинской металлургии. Отсутствие олова в образце № 2096 не опровергает, а подтверждает это, поскольку данный образец был не металлическим ломом или изделием, а медной каплей, полученной в процессе плавки руды.

Минимальным содержание меди является в шлаках керамзитовой группы: в 9 образцах от 0,0015 до 0,7%, и в 5 образцах 1% и более. В шлаках II группы в 9 образцах меди от 0,0015 до 0,7%, и в 21 образце 1% и более. Во всех шлаках IV группы содержание меди превышает 1%. Это, в целом, подтверждает возможность формирования шлаков керамзитовой группы преимущественно из обмазки или оплавления края тигля, и показывает большие потери меди при плавке малахита по сравнению с плавкой смеси окисленных и сульфидных руд.

Ту же ситуацию отражают и концентрации свинца, которые незначительны в керамзитовой группе (среднее значение 0,02%), и выше во II и IV группах (среднее значение соответственно 0,1 и 0,6%).

Металлообработка и типы изделий

Металлообработка елунинской культуры крайне важна для понимания последующей металлообработки Северной Евразии, поскольку в этот комплекс входит часть сейминско-турбинских вещей, и она, вероятно, является одним из слагающих компонентов сейминско-турбинских бронз с их развитыми литейными технологиями. Количество изделий елунинской культуры не слишком велико, около 70 экземпляров (рис. 11-17). Тем не менее, они интересны тем, что в них появляются те черты, которые присутствуют в более поздней металлургии ЕАМП, в том числе, характерные для сейминско-турбинских комплексов. Это ножи, шилья, пробойник, обломки втулок (что указывает на появление втульчатых изделий), кинжалы, наконечники копий, в том числе с литой втулкой, наконечники стрел, кельты-лопатки с трапецевидным абрисом, наконечники копий, пластинчатые однолезвийные ножи с выделенным массивным черенком, однолезвийные ножи с выделенным черенком и креплением черенка в рукояти под углом в 60—80°, однолезвийные кинжалы выгнутообушковые с прямоугольной рукоятью со скульптурным или кольцевидным завершением рукояти (Дегтярева и др., 2010, с. 27).

В основе металлообработки этой культуры лежало литье в двустворчатые литейные формы со вставным вкладышем и достаточно точной его центровкой. При изготовлении рукоятей кинжалов с фигурными навершиями применялась доливка фигурок по утрачиваемым восковым моделям. «Полученные в процессе литья изделия далее дорабатывались ковкой с небольшими или средними степенями обжатия с использованием различ-

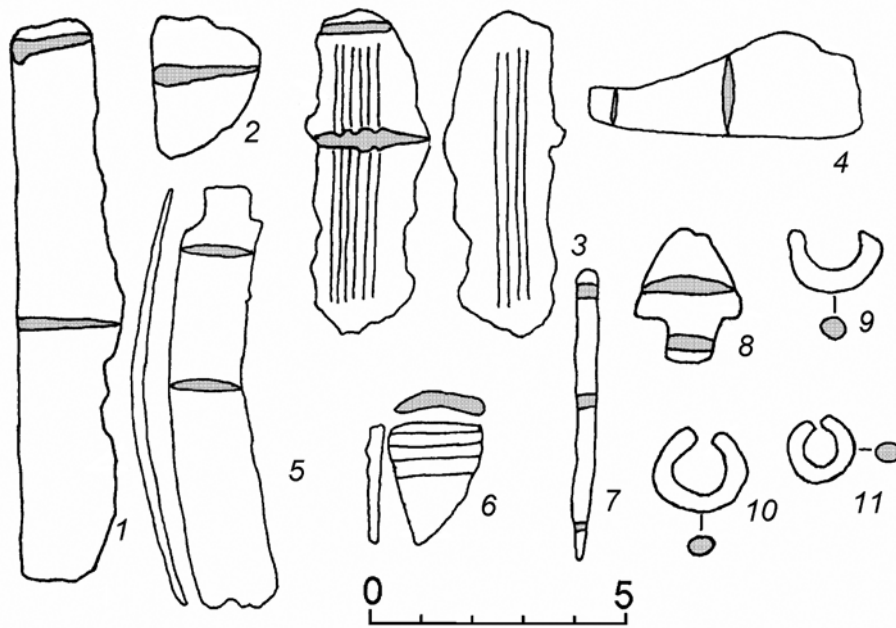


Рис. 11-17. Металлические изделия елуниной культуры: 1—5 — ножи; 6 — обломок втулки; 7 — шило; 8 — наконечник стрелы; 9—11 — свинцовые кольца: 1—3, 5, 6, 9—11 — Березовая Лука; 4, 8 — Цыганкова Сопка 2; 7 — Телеутский Взвоз 1 (по Дегтярева и др., 2010)

ных термических режимов обработки металла. Иногда использовался предварительный отжиг гомогенизации, видимо с целью разупрочнения металла, придания ему большей пластичности. Доработочные операции, направленные на растяжку и заострение рабочей части орудий, выполнялись в режиме предплавильных температур, красного каления металла и в холодную с промежуточными отжигами. Преимущественно осуществлялась горячая деформация орудий при температурах красного каления металла 600—800 °С». Вместе с тем, иногда наблюдаются и технологические недоработки в виде небольших литейных дефектов, что указывает на экспериментальный характер этой технологии (Дегтярева и др., 2010, с. 27—34).

Оловянные лигатуры

Особенностью сейминско-турбинской металлургии было распространение оловянной лигатуры. Из приводимой таблицы 11-18 видно, что в общей коллекции доля металла с примесями олова составляет почти половину. Заметную роль играют и сплавы с мышьяком (24,1%), а также комплексные сплавы с мышьяком и сурьмой (11,3%). При этом, имеется существенная разница в территориальном распределении этих групп. Сплавы с оловом доминируют на востоке, а сплавы Cu + As, Cu + As + Sb и Cu + Ag — на западе. Присутствие единичных изделий с мышьяком на востоке, к тому же, морфологически относящихся к синташтинско-абашевской металлургии, является свидетельством западного происхождения этих двух типов сплавов, а также восточного происхождения сплавов с оловом (Черных, Кузьминых, 1989, таб. 9, с. 166—173, 186—192).

Обсуждая металлургию ПБВ Приуралья, мы отмечали, что комплексные сплавы Cu + As + Sb имеют, вероятно, двойное происхождение: металл с более низким со-

Таб. 11-18
Химико-металлургические группы сейминско-турбинских памятников и их доля, в %
(по Черных, Кузьминых, 1989, таб. 9)

Cu	Cu + As	Cu + As + Sb	Cu + Ag	Ag + Cu	Cu + Sn	Cu + Sn + As	Au
8,5	24,1	11,3	2,5	3,7	24,4	23,5	2

держанием As + Sb мог происходить за счет плавки блеклых руд, а металл с высоким содержанием является результатом легирования, причем, легирования, наследующего синташтинскую традицию легирования мышьяком на стадии плавки руды, но в качестве легирующего компонента подключены минералы, содержащие сурьму. Отсутствие этого металла в азиатской зоне распространения сейминско-турбинских памятников, вероятно, подтверждает эту мысль. Показательно и то, что в елунинских памятниках подобные сплавы тоже не известны. Там преобладали оловянно-свинцовые и оловянные бронзы, но в единичных случаях встречались и сплавы со свинцом и оловом и со свинцом.

Использование свинца в качестве лигатуры примечательно. Предполагается, что обнаруженные на елунинских памятниках колечки или прутки из свинцово-оловянной и свинцово-медной бронзы могли служить в качестве сырья для легирования. При этом в изделиях с повышенным содержанием свинца отмечены эффекты красноломкости, что указывает на недостаточный опыт в работе с подобным материалом, и это вело к поломке изделия (Дегтярева и др., 2010, с. 28—30, 33). Из последнего, возможно, следует, что свинец не являлся хорошо знакомой лигатурой. Он чаще поступал с оловом, и иногда использовался отдельно.

Таким образом, и в елунинских комплексах оловянные бронзы хорошо представлены. Поэтому, уже упомянутый вывод Е.Н. Черных и С.В. Кузьминых о том, что оловянные лигатуры для Северной Евразии имеют восточное происхождение, является безусловным. Но традиция свинцово-оловянного легирования в сейминско-турбинских комплексах не известна.

Интересно и отсутствие в сейминско-турбинских комплексах на востоке сплавов с серебром. Собственно, и в елунинских комплексах известен свинец, но серебро не представлено. Поэтому не исключено, что внедрение серебра в Северной Евразии имеет исключительно синташтинские истоки. Присутствие свинца в алтайских комплексах, возможно, не связано с попытками получения серебра, и может объясняться комплексностью алтайских руд, присутствием свинцовых руд на медных месторождениях, и попытками использования свинца как легирующего компонента.

Металлургическое производство сейминского времени в Тоболо-Ишимском регионе

Одной из наименее изученных проблем в исследованиях древней металлургии Северной Евразии является производство меди населением, оставившим одиновско-крохалевскую, вишневскую, кротовскую и ташковскую керамику на юге Западной Сибири. Археологические объекты одиновско-крохалевского типа датируются первой третью II тыс. до н. э. в системе традиционной хронологии и рассматриваются как предшествующие всем прочим культурным типам эпохи бронзы в Западной Сибири (Потемкина, 1985, с. 158—161). В. Т. Ковалева считает, что ташковские, одиновские, логиновские и вишневские памятники относятся к доандроновскому и частично досинташтинскому времени (1997, с. 75). По мнению Г. Б. Здановича, вишневский культурный тип предшествовал петровскому, который сформировался, именно на его основе (1988, с. 139). Этому не противоречит мнение М. Т. Абдулганеева, который полагает, что хронологически крохалевские и елунинские комплексы совпадают (Абдулганеев, 1987, с. 73). Иные авторы полагают, что памятники елунинского, одиновско-крохалевского, кротовского и ташковского типов относятся к периоду распространения сейминско-турбинских и самусьско-кижировских бронз (Григорьев, 1999, с. 191—204; Стефанов, Корочкова, 2000, с. 84—92). Таким образом, они могли существовать в постсейминское время, в XVI в. до н. э., хотя ранние материалы соответствуют сейминско-турбинским и частично синташтинским, но синташтинская культура имеет более раннюю нижнюю дату. Вместе с тем аналогии части керамического комплекса поселения Верхняя Ала-

буга могут быть обнаружены в федоровской культуре (см. Григорьев, 2000б, рис. 35; Молодин, 1985, рис. 48-50). Последняя, напротив, должна датироваться более ранним временем, чем это принято считать (Григорьев, 2000б, с. 354).

К сожалению, на вишневских, одиновских и ташковских памятниках практически отсутствуют изделия из металла. Единственным исключением является обнаружение на поселении Верхняя Алабуга бронзового рыболовного крючка, отнесенного к группе ВУ (Потемкина, 1985, с. 162; Кузьминых, Черных, 1985, с. 356—357). На памятнике Ташково II анализ капель и всплесков выявил присутствие олова и позволил отнести исследуемый образец к группе ВК (Ковалева, 1988, с. 39—40). Обе эти группы характерны для памятников эпохи поздней бронзы.

Исходя из всего сказанного, рассматриваемые культурные группы Тоболо-Иртышья относятся к сейминско-турбинскому времени, и их металлургическое производство должно отражать распространение металлургических технологий в начале поздней бронзы. Возможные импульсы к тому могли поступать либо из Зауралья (металлургия синташтинской культуры), либо с Алтая (металлургия елунинской культуры). К сожалению, до последнего времени свидетельства плавки руды этими племенами отсутствовали. Просмотр ряда коллекций Западной Сибири, публикаций, консультации со специалистами дали основание для вывода о том, что на памятниках этого региона металлургический шлак практически отсутствовал и, следовательно, плавка металла из руды здесь почти не производилась. В просмотренных коллекциях удалось обнаружить лишь семь образцов шлака, происходящих с трех поселений: Вишневка, Коршуново и Верхняя Алабуга.

Вишневка, Коршуново и Верхняя Алабуга являются на территории Курганской области и Северного Казахстана практически единственными объектами с четко выраженным культурным слоем, в котором обнаружены материалы этой эпохи. Отдельные образцы керамики найдены и на других поселениях, но культурный слой — только на этих трех.

Датировка шлака, происходящего из Верхней Алабуги и Коршунова, довольно проблематична. На последнем памятнике шлак был обнаружен на участке с керамикой как относимой к эпохе бронзы, так и раннего железного века. Поэтому связь этого образца с эпохой бронзы окончательно не установлена, однако его технологические характеристики, все же, достаточно близки с прочим шлаком исследованной серии. В погребениях могильника Верхняя Алабуга представлены, главным образом, алакульские материалы, хотя выделяется и ряд захоронений энеолитического времени. Вместе с тем, в его западной и южной части исследовано «поселение эпохи ранней бронзы» (см. выше об отнесении этих материалов к эпохе поздней бронзы), где и были собраны проанализированные шлаки. По керамическому комплексу поселение признано наиболее западным памятником одиновско-крохалевского типа (Потемкина, 1985, с. 158—161). Иные материалы там не выявлены. Поэтому отнесение шлака к интересующему нас времени наиболее вероятно, тем более что для погребальных памятников такие находки совершенно нехарактерны. Связь с вишневским комплексом шлака с поселения Вишневка наиболее безупречна, поскольку это однослойный памятник с хорошо выраженным культурным слоем.

Информация о памятниках и форма шлака

Поселение Верхняя Алабуга, расположенное на Тоболе, в Курганской области, на территории одноименного могильника алакульской культуры, было изучено Т. М. Потемкиной (1985). Из материалов этого поселения исследованию подверглось пять образцов шлака. Четыре из них (№ 73—75, 77) представляют собой куски легкого, очень пористого уплощенного шлака, пятый (№ 66) — уплощенную, бесформенную, очень железистую шлаковую лепешку с включениями капель меди.

Коршуново I расположено тоже в Курганской области, но не на Тоболе, а на Исети. Памятник довольно крупный, и на нем была выявлена керамика энеолита, «ранней бронзы», раннего железного века и средневековья. Поселение частично раскапывалось М. П. Вохминцевым, и на участке с керамикой «ранней бронзы» и раннего железного века был обнаружен серый, с включениями медной зелени, пористый, бесформенный кусок шлака, подвергнутый анализу (№ 67).

Единственный образец шлака получен на поселении Вишневка I в Северном Казахстане, которое исследовано Г. Б. Здановичем и рассматривается как наиболее ранний памятник бронзовой эпохи в этом регионе (1973). Образец (№ 54) представляет собой обломок крупной пористой шлаковой лепешки.

Все образцы исследовались с помощью минералогического микроскопа в отраженном свете. Кроме того, два образца с поселений Верхняя Алабуга и Вишневка были подвергнуты химическому анализу, а один из них (с поселения Верхняя Алабуга) оказался настолько интересен, что потребовал дополнительного исследования, которое было проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Химический анализ

Химический анализ (таб. 11-19) двух образцов показал очень высокое содержание железа. Причем, если в образце с Вишневки кремнезем представлен, то в образце с Верхней Алабуги он анализом не выявлен, в нем железо просто доминирует. Медь в обоих образцах есть, но количество ее весьма незначительно. В образце с Вишневки можно отметить еще присутствие оксида кальция в количестве 7,36%, но перешел ли он в шлак из руды, связан ли с преднамеренным флюсованием или с золой — сказать затруднительно. Естественно, такой состав шлака приводил к тому, что шлаки относятся к группе основных и ультраосновных (таб. 11-20). Шлак такого состава достаточно жидкотекучий и имеет низкую вязкость (таб. 11-21). Для шлака с Верхней Алабуги вязкость составила 0,31 Pa·s, а для шлака с Вишневки 1,59 Pa·s.

Таб. 11-19
Химический анализ шлака с поселений Вишневка и Верхняя Алабуга (%)

Образец	Памятник	SiO ₂	FeO	CaO	Cu	Fe	Fe ₃ O ₄
54	Вишневка	23,64	46,89	7,36	0,06		2,52
66	Верхняя Алабуга	2,34		0,44	1,99	81,4	

Таб. 11-20
Коэффициенты основности шлаков с Верхней Алабуги и Вишневки

Памятник	Образец	Коэффициент	Группа
Вишневка	54	2,41	Основная
Верхняя Алабуга	66	38	Ультраосновная

Минералогия шлака

Основная группа образцов с Верхней Алабуги и шлак с Коршуново I представлены пористым стеклом, в котором прошла весьма слабая фаялитовая кристаллизация (иголки, мелкие призмы). Встречается много растрескавшихся и расплавляющихся зерен кварца. Магнетита мало, он представлен мелкими зернами, скелетами и дендритами. Очень редки мелкие корольки меди и частицы восстановленного железа. Иногда железо фиксируется внутри небольших зерен магнетита, что указывает на его восстановление из окисла. Изредка присутствуют мелкие корольки, имеющие промежуточные между железом и медью цветовые характеристики и, вероятно, являющиеся сплавом двух этих

Соотношения окислов сокращающих вязкость (TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO , K_2O , CaO , Na_2O) к окислам, повышающим ее (SiO_2 , Al_2O_3) — коэффициент K_z и коэффициент вязкости (в $\text{Pa}\cdot\text{s}$) при температуре $1400\text{ }^\circ\text{C}$.

№	Памятник	Материал	K_z	η 1400 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
13	Петровка II	шлак	0,65	7,12
46	Новоникольское	шлак	1,79	2,29
18	Агасу	шлак	1,44	2,96
19	Агасу	шлак	2,60	1,44
26	Мыржик	шлак	4,80	0,57
27	Мыржик	шлак	2,45	1,55
44	Саргары	шлак	0,92	4,89
53	Ак-Мустафа	шлак	0,21	22,60
54	Вишневка	шлак	2,40	1,59
66	Верхняя Алабуга	железо	35,83	0,31
21	Агасу	шихта	5,35	0,47

металлов. Из рудных минералов встречаются мелкие частицы куприта, малахита (но нет уверенности, что они не вторичные, образовавшиеся уже в культурном слое памятника) и блестки халькопирита. Изредка наблюдаются корольки медного сульфида.

Несколько отличается шлак поселения Вишневка I (№ 54). Основным включением в нем являются крупные оплавленные дендриты и частицы вюстита, которые часто образуют крупные решетчатые структуры. Много фаялита в виде длинных игольчатых кристаллов. Именно фаялит и вюстит дали такое высокое содержание FeO , которое показал химический анализ образца (таб. 11-19). Встречаются расплавленные частицы медного сульфида, которые иногда замещаются медью. Изредка фиксируются мелкие корольки меди. Из рудных минералов выявлен только халькопирит.

При подобном процессе в качестве попутного продукта возможно получение небольшого количества железа. Это подтверждается результатом анализа образца № 66 с поселения Верхняя Алабуга, который был исследован с помощью минералогического и сканирующего электронного микроскопов (рис. 11-22, таб. 11-23).

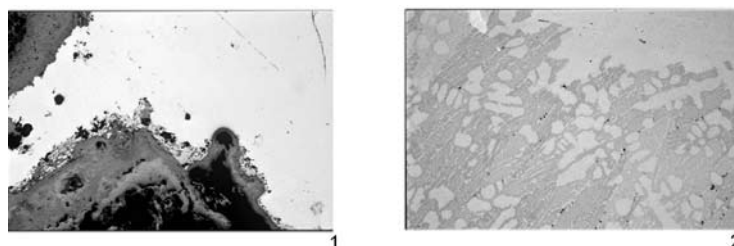


Рис. 11-22. Микроструктура шлака поселения Верхняя Алабуга (обр. 66): 1 — железо (белое) в шлаке с окаймляющим его медным сульфидом (серое); 2 — литые структуры железа (светло-серое)

Результаты анализа обр. 66 с поселения Верхняя Алабуга с помощью сканирующего электронного микроскопа в % (Горная Академия Фрайберга)

<i>Весовой процент</i>			
Анализ	Вещество	O	Fe
1	железо		100
2	вюстит	22,18	77,82
<i>Атомарный процент</i>			
Анализ	Вещество	O	Fe
1	железо		100
2	вюстит	49,88	50,12

Основное включение в шлаке — железо, что показывает как минералогический, так и химический анализ. Оно имеет множество мелких и крупных каверн. Поверхность металла тоже неоднородна. Выделяются более темная и светлая части. Они образуют слоистый, иногда даже дендритный рисунок. Последнее, впрочем, не говорит о том, что железо было расплавлено. По краю железа может быть полоса вюстита, с другой стороны которой, по самому краю образца, восстанавливается медь. В зоне контакта с вюститом железо образует вытянутые ячеистые или дендритные структуры. То есть при удалении из халькопирита медьсодержащей составляющей формируются полости. Далее полосы вюстита спекаются с железом и неравномерно уплотняются, в результате чего в металле остаются каверны. В самом железе зафиксированы крайне мелкие частицы меди, но очень редко. Медный сульфид по краю образца частично купритизирован. Дендриты в железе несколько темнее, и в них есть примесь углерода. Исследования этого образца Р. Швабом в Институте археометаллургии Горной Академии Фрайберга показали, что часть железа науглерожена, и мы можем говорить, таким образом, о стали.

Выводы:

По своим характеристикам шлак этих памятников близок шлаку VI минералогической группы, выявленной в Приуралье, но здесь эти материалы датируются более ранним временем. В плавку поступала руда из кварцевых пород, причем, главной рудой был халькопирит. Халькопирит в процессе плавки распадался на сульфиды железа и меди. Последние в силу низкой температуры перехода в жидкую фазу плавилась с дальнейшим выгоранием серы и восстанавливались в медь. Сульфид железа окислялся до вюстита, который в случае сохранения восстановительной среды мог перейти в железо. Наличие корольков железа и указывает на этот процесс, однако расплавленные корольки этого металла вовсе не свидетельствует о том, что температура плавления железа была достигнута. Плавился вюстит, корольки которого и подверглись дальнейшему восстановлению. Образование решетчатых и дендритных структур оплавленного вюстита тоже маркирует этот процесс. Они образуются именно после выплавления медного сульфида из кристаллической решетки халькопирита.

Поскольку в образце с Верхней Алабуги отмечена сталь, еще одной причиной литого железа может быть то, что в случае его науглероживания температура плавления падает до 1147 °С, в то время как у чистого железа она составляет 1534 °С. Однако, такое возможно в случае восстановительной атмосферы и избыточного количества угля (Amorn, 1976, S. 15; Tylecote, 1980a, p. 209; Childs, 1996, p. 299).

Использование сульфидной руды способствовало высоким температурам плавки. Она вполне могла достигать 1400 °С (1360 °С — температура плавления вюстита). Впрочем, не исключено, что она была более высокой, поскольку проведенный рентгеноструктурный анализ образца с Вишневки (таб. 11-24) выявил в нем высокотемпературную модификацию кварца — кристобалит, при отсутствии тридимита и собственно кварца. Эта модификация образуется при остывании от температуры, превышающей 1470 °С. Для небольших объемов достижение таких температур было вполне возможно.

Благодаря плавке сульфидной руды, несмотря на очень высокие температуры и наверняка интенсивное дутье, окисление расплава не происходило. Плавка велась в усло-

Таб. 11-24

Рентгеноструктурный анализ шлака с поселения Вишневка I

Поселение	Образец	кварц	тридимит	кристобалит	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	Cu
Вишневка I	54		?	*	*	*		

виях восстановительной атмосферы, что наиболее надежно маркируется частицами восстановленного железа.

Отделение меди и переработка руды произошли почти полностью. Последнее достаточно характерно для плавки с использованием сульфидов, поскольку на начальной стадии довольно легко образуется штейн, который расплавляет руду намного лучше, чем собственно шлак. Потери меди в шлаке этой группы очень невелики. Насколько можно судить по минералогическому анализу, они не превышают 1%. Химический анализ обр. № 66 показал почти 2% (таб. 11-19), но это достаточно специфический образец. Все это вполне хорошо объяснимо низкой вязкостью этого шлака.

В данном случае эту низкую вязкость проблематично объяснить использованием флюсов. Железистые флюсы вряд ли применялись, поскольку халькопирит содержит много железа. Не исключено использование кальцита, так как в шлаке Вишневки содержание CaO превышает 7% (таб. 11-19), однако это может быть связано и с характером руды.

С другой стороны, основной состав шлака не привел к формированию крупных таблитчатых кристаллов фаялита, хотя компонентов для его формирования было, как будто, вполне достаточно. Тем не менее, фаялит выкристаллизовался очень слабо, а в шлаке с Вишневки, где он представлен хорошо, он кристаллизуется в виде длинных иголок, что указывает на высокую скорость остывания расплава. Вряд ли это было связано с тем, что шлак выпускался. К тому же, у нас нет информации о металлургических печах этих поселений. Металлургические печи не обнаружены и на других памятниках этого хронологического пласта. На Новокусовской стоянке с игрековской керамикой были найдены обломки литейной чаши с ошлакованной бронзой на поверхности (Косарев, 1981, с. 73), а на одиновском поселении Марково-2 — тигель прямоугольной формы (Молодин, 1985, с. 31). Впрочем, скорее всего, это свидетельства металлообрабатывающего производства, тем более что тигель с Марково-2 имеет небольшие размеры, как и кротовские, объем которых не превышал 100 см³ (там же, с. 60). На Алтае на поселении Новенькое-6, с материалами, близкими крохалевским, одиновским и вишневым, был найден фрагмент венчика, к внутренней стороне которого прикипел шлак (Грушин, 2005, с. 147, 148; Абдулганеев, 1988, с. 125). Поэтому мы можем допускать плавку руды в тигле, но строгих доказательств этому нет. Скорее всего, плавка в печи более предпочтительна. Для плавки сульфидов необходим приток кислорода. Дутье, конечно, могло осуществляться в тигель сверху, но плавка халькопирита является длительным процессом, в течение которого происходило бы постоянное сгорание угля и выдувание золы. А, судя по образованию стали, в шихте был избыток угля и восстановительная атмосфера до конца плавки.

С учетом этой оговорки и учитывая обсуждавшиеся выше елунинские комплексы (где изредка халькопирит присутствует), мы можем отметить, что здесь, на востоке Евразийской провинции, наиболее рано появляется плавка халькопирита в печах, независимо от решения вопроса о материалах только что описанных памятников. Поскольку четкая датировка конкретных комплексов, откуда происходят шлаки, не всегда ясна, а объем материалов крайне незначителен, мы можем сказать, что эта традиция присутствует здесь в начале сейминской эпохи. Безусловно и то, что связать происхождение этой традиции с синташтинской культурой невозможно. Налицо и некоторые существенные различия. Если металлурги елунинской культуры использовали в плавку смесь окисленной руды и вторичных сульфидов, то на памятниках одиновско-вишневого типа мы фиксируем активное использование халькопирита. С чем связано это различие, сказать трудно, как и ответить на вопрос об отнесении этих традиций к сейминско-турбинской. Но эти материалы объединяет одно важное обстоятельство, связанное с сейминско-турбинской металлургией. В обоих случаях плавка велась при достаточно высоких температурах и продолжительное время. При подобных условиях легирование

мышьяком на стадии плавки руды невозможно, поскольку мышьяк бы не сохранялся в металле. Поэтому выбор у металлургов был невелик: или базироваться на чистой меди или переходить на легирование непосредственно в металл. И оптимальным решением для такого легирования было олово, что и появляется в эту эпоху. И если, обсуждая сейминско-турбинские бронзы, мы говорили о том, что произошла комплексная трансформация: новые типы изделий, новые технологии металлообработки, новые принципы легирования, то теперь мы видим, что это было связано также с новыми типами сырья и иной технологией плавки руды.

Второй вопрос — это связь вишнево-петровской металлургии с петровской, поскольку, как уже говорилось, ранее предполагалось участие вишнево-петровского населения в формировании петровской культуры. Однако в петровских комплексах сопоставимые шлаки на сегодняшний день не отмечены. В них первоначально плавка велась по синташтинским традициям, с постепенным смещением от использования ультраосновных руд к использованию окисленных руд в кварцевой породе, что приводило к росту числа купритизированных шлаков. Местами (например, в Северном Казахстане) эту проблему удавалось решать, но из-за скудости этих материалов трудно сказать насколько прочна была эта тенденция.

Проблема формирования металлургии сейминского времени

Серьезной проблемой является формирование металлургии сейминского времени. Касаясь проблемы происхождения сейминско-турбинских памятников, Е. Н. Черных и С. В. Кузьминых предполагали синтез некоторых традиций глазковской культуры Прибайкалья и металлургических традиций Саян и Алтая (Черных, Кузьминых, 1989, с. 251—253). Последнее в контексте настоящей работы наиболее принципиально, поскольку, если конкретизировать эту мысль, речь должна идти об окуневских или афанасьевских традициях. Многие исследователи указывали на местные корни кротовской и елунинской культур. Так, В. И. Молодин, публикуя материалы могильника Сопка-2, отмечал для кротовской культуры несомненные параллели с культурой гребенчато-ямочной керамикой и устьтартасской культурой игрековской общности, датируемой IV—III тыс. до н. э. (Молодин, 2001). Исследователи отмечают также преемственность елунинской культуры с большемысской культурой эпохи энеолита, что особенно наглядно может быть показано на керамике (Кирюшин, 2002, с. 52). Вышесказанное не позволяет усомниться в том, что местные компоненты принимали участие в сложении этих культур. Однако радикальные изменения в металлообработке заставляют искать и какие-то иные слагающие компоненты. И в этой связи многие исследователи указывают на отдаленное южное направление связей. В. И. Молодин писал о мощном этнокультурном воздействии со стороны населения Средней Азии (Молодин, 1988, с. 36, 37; 2001, с. 93, 96, 116). Ю. Ф. Кирюшин предлагал в качестве исходного района этого компонента Среднюю Азию и Восточное Средиземноморье, отмечая его контакты с местными популяциями (Кирюшин, 2002, с. 52; Кирюшин и др., 2002, с. 58). По мнению С. П. Грушина, пришлый компонент находит параллели в окуневской и синташтинской культурах и связан со степными культурами Евразии (Грушин, 2002, с. 21). Автором этой работы предлагалась, в качестве исходного региона Передняя Азия, поскольку на Ближнем Востоке и в Закавказье имеются параллели этому металлу, хотя и нет абсолютно четких соответствий (Григорьев, 1999, с. 205—211). Тем не менее, эти параллели указывают на сходные принципы металлообработки, что подтверждается и параллелями в рецептуре сплавов.

Как уже сказано, именно с этого времени в Евразийской провинции начинается распространение легирования оловом. В самих сейминско-турбинских комплексах доля оловянных бронз (вместе с олово-мышьяковыми) составляет почти половину металла.

Около четверти металла представлено мышьяковой медью и бронзой, идентичной группе ТК волго-уральского металла. В сущности, эта группа маркирует контакт сейминско-турбинских популяций с местным приуральским населением, что подтверждается и тем, что этот металл характерен именно для европейской зоны распространения сейминско-турбинских памятников. Мышьяково-сурьмяные сплавы составляют 11,3% металла, и локализуются они тоже в европейской зоне. Наконец, 8,5% металла представлено чистой медью. Важным выводом является то, что источником оловянной лигатуры являются алтайские месторождения (Черных, Кузьминых, 1989, с. 166—168, 174). Следует оговорить, что мышьяково-сурьмяные сплавы называются искусственными бронзами лишь условно, поскольку часть из них может иметь естественное происхождение из блеклых руд, но часть является результатом легирования. В азиатской же зоне нелегированный металл почти отсутствует. Объясняется эта ситуация в европейской зоне, по-видимому, не технологическими предпочтениями, а удаленностью от источников легирующего сырья. Принципиально же новым явлением, привнесенным в ЕАМП сейминско-турбинскими металлургами, является легирование оловом.

Олово и оловянные лигатуры

Как мы обсуждали ранее, в окуневском металле встречаются единичные изделия, легированные оловом. При этом не исключено, что эти изделия датируются началом сейминской эпохи. В любом случае, происходит резкое изменение не только морфологии изделий, но и технологической традиции. Искать корни этой традиции на западе, в синташтинской или абашевской среде, бессмысленно. Подобная традиция там отсутствовала, как и оловорудные месторождения. В Средней Азии со времени перехода от Намазга V к Намазга VI в течение эпохи поздней бронзы доминируют мышьяковистые сплавы (Щетенко, 2002, с. 188). Однако исключения из этого правила есть. Около половины изделий Тулхарского могильника выплавлено из оловянных бронз (Богданова-Березовская, 1968). Хорошо представлены эти сплавы и в сумбарском металле Юго-Восточного Прикаспия (Галибин, 1983). Однако в Иране высокой доли оловянных бронз нет, хотя олово появляется с конца III тыс. до н. э. (Pigott, 1988, p. 4—6; 2009, p. 371). В харлапское время в Индии известны изделия как с высоким, так и с низким содержанием олова. Встречены там и мышьяковые бронзы. Причем, в ареале харлапской цивилизации нет руд с повышенными концентрациями олова или мышьяка, следовательно, легирующие компоненты привозили из соседних районов (Babu, 2003, p. 175, 176). Для нас интересно и то, что олово здесь используется раньше, в досейминское время.

Оловянные бронзы хорошо представлены в Анатолии, в первую очередь, в Троаде, и в Закавказье, но, за исключением Троады, они нигде не составляют большинство металла (Авилова, Черных, 1989, с. 70; Cernykh et al., 1991, p. 601; Тенейшвили, 1993, с. 7; Трейстер, 1996, с. 206). Однако в Анатолии можно говорить о давней и устойчивой традиции употребления этих бронз. Широкое их использование начинается здесь уже в СБВ. Начало же использования на Ближнем Востоке оловянных лигатур уходит в начало эпохи ранней бронзы (Кудейде, Икизтепе, Алишар, Троя I, Ферми I, Тепе Гийян, Тепе Яхья) (Moorey, 1975, p. 43; Coghlan, 1975, p. 47; Yalcin, 2000, p. 27). Тексты из Ура периода РД I довольно отчетливо различают медь и оловянные бронзы (Potts, 1994, p. 153). В Западном Иране оловянные бронзы появляются тоже рано, в конце IV тыс. до н. э., но существенное их распространение происходит в середине III тыс. до н. э. и даже позже (Oudbashi et al., 2012, p. 159).

Олово является сравнительно поздним металлом. В латинском языке не было слова для его обозначения. Использувавшееся для этого выражение *plumbum album* означает «белый свинец». Нет для этого металла (в отличие от меди) и общеиндоевропейской

основы. У греков использовалось слово *κασσίτερος*, откуда пошло название оловянной руды касситерита (Muhly, 1973, p. 242).

Ближневосточные тексты сообщают о поставках олова в Месопотамию с востока (Muhly, 1976, p. 90). В XX—XIX вв. до н. э. через юго-восточную Анатолию осуществлялись колоссальные транспортировки олова. Вес слитков достигал 65 кг. Подсчитано, что за 50 лет могло быть перевезено около 80 тонн этого металла. Из этого количества можно было получить около 800 тонн бронзы (Muhly, 1980, p. 33). Поэтому в данном районе эти технологии имели глубокую традицию, что отсутствовало в Саянах и на Алтае.

Откуда осуществлялись эти поставки? В настоящее время это является одной из сложнейших проблем археометаллургических исследований на Ближнем Востоке. Ранее традиционно считалось, что поскольку месторождения олова хорошо представлены в Европе (в Британии, Бретани, Иберии, Тоскане, Сардинии, Рудных горах), а месторождения Востока (в Афганистане и Египте) невелики, на Ближний Восток олово поступало с запада (Tylecote, 1987, p. 21). Существовала и иная точка зрения, что олово в Месопотамию поступало из Ирана, а уже из Месопотамии торговые караваны доставляли его в Сирию и оттуда на Кипр (Muhly, 1973, p. 191, 257—260). Последние годы от идеи западных источников олова отказались, и интерес исследователей обращен к разным районам Ближнего и Среднего Востока. Но здесь есть свои странности. Если искать какие-то источники олова на востоке, в Афганистане или Узбекистане, то становится непонятным как эти поставки могли осуществляться через Иран, где до начала II тыс. до н. э. эта лигатура не была известна, но и потом легирование мышьяком продолжало играть очень важную роль вплоть до широкого распространения так называемых луристанских бронз в конце этого тысячелетия (Pigott, 2004a, p. 29, 34; Thornton et al., 2005, p. 395). По мнению В. Пиготта, хотя древние рудники на олово и известны на Ближнем и Среднем Востоке (в Турции, Афганистане, Узбекистане, Таджикистане, Казахстане, долине Инда), большинство их расположено очень далеко, и луристанские источники Западного Ирана предпочтительней (Pigott, 2009, p. 371—374).

Таким образом, опираясь на оловянные лигатуры, мы не в состоянии точно определить район формирования данной металлургической традиции: он слишком широк, и включает в себя Анатолию, Месопотамию, возможно, западную часть Ирана. Поскольку появление любой сложной металлургической традиции есть явление комплексное, мы можем значительно сузить этот регион, опираясь лишь на логические посылки. Какой-либо район Месопотамии рассматривать в качестве истока данной традиции кажется малооправданным, поскольку туда олово завозилось уже в готовом виде. Должна была прийти группа металлургов, которая знала свойства этого сплава, как искать, добывать и плавить оловянную руду или производить легирование.

Все это не праздные вопросы. С этим тесно связана проблема необходимости возникновения данной традиции. Последнее время в литературе появилось мнение о том, что легирование оловом возникает не из технологических приоритетов или доступности сырьевых ресурсов, а из чисто эстетических и этнических предпочтений. И эта позиция лишь на первый взгляд может показаться странной. Но на поселении Тепе Яхья в Восточном Иране в слоях 1900—1700 гг. до н. э. зафиксировано два культурных комплекса, локализованных в разных ареалах поселения. Один из них имеет местные корни, второй пришлый, Бактрийско-Маргианский археологический комплекс. В ареале местного комплекса продолжали использовать мышьяковые бронзы, а в ареале БМАК того же поселения — оловянные, причем, доля последних для времени около 1700 г. до н. э. составляла лишь 20%. Поскольку те же процессы происходят в Туркмении, где при переходе к Намазга VI начинают распространяться оловянные бронзы, то предполагается, что проникновение на юг андроновских племен привнесло этот тип легирования

в Туркмению, а мигрирующие в Иран носители БМАК (Намазга VI есть часть этого комплекса) стали причиной появления олова в Тепе Яхья (Thornton et al., 2005, p. 395—398). Однако этот подход сталкивается с существенным противоречием. В начале II тыс. до н. э. севернее не существовало ни андроновских комплексов, ни оловянных лигатур. В это время были мышьяковые лигатуры синташтинской культуры, которая формируется параллельно с БМАК. С учетом того, что формирование БМАК рассматривается как результат миграций из Сиро-Анатолийского региона (Сарианиди, 1989, 1993) более перспективно искать анатолийские корни этого легирования. Но сама отмеченная связь БМАК с оловянными лигатурами вызывает несомненный интерес. Интересен еще один факт: с формированием БМАК увеличивается потребление олова на юго-западе Ирана, в Сузах (Thornton, Lamberg-Karlovsky, 2004, p. 269). Это могло быть вызвано тем, что носители БМАК сохранили связи на западе, обеспечивая в дальнейшем поставки туда олова из Афганистана и Узбекистана.

Есть еще один заслуживающий внимания факт. Выше, обсуждая елунинскую металлообработку мы упоминали наличие сплавов Cu + Sn + Pb. Такой тип сплава был обнаружен и на Тепе Яхья, в ареале с материалами БМАК (Thornton, Ehlers, 2003, p. 5).

При этом, технологические преимущества перехода на легирование оловом очевидны. После начала плавки сульфидных руд, при использовании смеси сульфидов меди с арсенидами, потери мышьяка достаточно велики из-за его окисления и удаления. Кроме того этот процесс трудно контролировать. Добавки к медной руде или меди касситерита не имеют таких проблем (Charles, 1980, p. 176, 177), но вопрос о способах легирования оловом не столь прост, как кажется. Согласно экспериментальным данным, оловянную бронзу легко получить при совместной плавке медной и оловянной руды (Rovira et al., 2009, p. 413). Но таким образом трудно контролировать желаемый состав металла, и в наших шлаках такое ее получение отражения не имеет. Наши исследования почти не выявили олова в шлаках (при достаточно большой проанализированной серии), поэтому добавки оловянной руды к медной руде сомнительны. Это может иметь место на ранних стадиях производства и маркировать стадию перехода на легирование оловом, но в Северной Евразии такая стадия отмечена лишь для неолитических памятников Урала. Данных по сплавлению меди с оловом тоже почти нет, а добавки касситерита в медь считаются дискуссионными (Rehren, 2003, p. 209). Некоторые авторы полагали, что легирование оловом осуществлялось добавками касситерита в расплавленную медь под слоем угля. Аргументом в пользу этого является крайне редкое обнаружение олова, большие потери олова в шлаке при плавке касситерита, простота и эффективность легирования рудой в металл, так как под слоем угля кислород касситерита (SnO_2) легко соединяется с углеродом, и в меди остается олово, практически, без образования шлака (Charles, 1980, p. 174, 175). Но, судя по анализу изделий, в бронзовом веке строго контролировали содержание олова, поэтому добавляли металл, а не проводили цементацию металла с оксидом олова в условиях восстановительной атмосферы. Олово легко окисляется обратно. Поэтому обнаружение касситерита в отливках иногда приводило к выводу о цементации. Исследования образца бронзы с Сардинии с подобным включением показали, что это именно окисленное олово (Tylecote, 1987, p. 143).

Таким образом, технология легирования оловом не может вытекать из технологии легирования мышьяковыми минералами в руду. Кроме перехода на новый тип лигатуры, на новые минералы, кардинальным образом меняется принцип легирования. К тому же, было необходимо не только найти эти минералы, но и научиться получать металлическое олово. Чисто теоретически, это не сложно. Олово можно просто получить, смешав касситерит с углем в тигле и проведя плавку при температуре 1000 °С. В тигле произойдет восстановление частиц олова, которые можно выбрать и сплавить в другом тигле (Tylecote, 1987, p. 140). Но как к этому могли прийти? Можно сколько

угодно обсуждать метод проб и ошибок. Но сомнительно, чтобы в разных регионах мира приблизительно в одну эпоху пробовали плавить разные камни, и если изредка удавалось получить металл, полученным металлом легировать медь. Но, если взять в руки случайно найденный касситерит, никому в голову не придет, что из него можно получить лигатуру. Словом, случайность можно исключить. Обсуждая примеси олова в металле и шлаке энеолитического времени, мы говорили, что, скорее всего, первоначально олово употреблялось как лигатура рудой в руду. По времени это совпадает с началом плавки халькопирита, который и могли спутать с оловянным колчеданом станином. Поскольку окисление этого минерала приводит к формированию касситерита, это завершилось использованием последнего. Соответственно, эта постепенная технологическая трансформация могла произойти в районе, где, помимо месторождений олова, имело место устойчивое использование халькопирита. Поэтому оптимальным районом является Анатолия. Не исключено, что принцип легирования металлом в металл был подготовлен тем, что на Ближнем Востоке существовал способ получения мышьяковых бронз сплавлением меди со шпейзой (Thornton, 2009, p. 320), что мы обсуждали в главе, посвященной синташтинскому шлаку.

Для Британии рассматривается вариант случайной попытки плавки касситерита, который положили на кусок угля в печь и получили олово (Craddock, Craddock, 1996, p. 53). Но такой случай маловероятен, тем более, если он исправно повторяется в разных районах, и приблизительно в одно время.

Но, при переходе к плавке касситерита, стоит обсудить и технологический аспект проблемы. До недавнего времени он тоже не поддавался решению. На Алтае и в Саянах таких данных нет. В принципе, данные по получению олова даже в тех районах, где это хорошо установлено и исследовалось, достаточно ограничены. Есть шлаки и небольшие печи XV в. до н. э. из Корнуолла и римские из Португалии (Tylecote, 1987, p. 140). В Анатолии известна серия оловянных месторождений, и там последнее время получена информация по ранним плавкам касситерита. Результаты работ в районе рудника Кестель в Юго-восточной Анатолии, который разрабатывали с начала РБВ, показывают, что эта технология требовала длительного предварительного развития навыков обогащения подобной руды. Порода здесь представлена гематитом, в котором есть включения оловянной руды до 1,5—2%. Естественно, такая руда не могла сразу поступать в плавку. Поэтому она вывозилась на поселение Гель Тепе, где ее растирали до порошкообразного состояния и обжигали, в результате чего гематит переходил в магнетит. Затем эту массу размещивали в специальной ванне с промывкой, и в ходе этой процедуры частицы магнитного магнетита собирались вместе, а оловосодержащий касситерит извлекался. Плавился он затем без печей, в тигле, остатки шлака истирались в порошок, а капли олова потом сплавляли в другом тигле. Температура в тигле при плавке касситерита должна была быть в пределах 700—1000 °С. Поэтому тигли без обжига ставили в грунт, чтобы снизить температуру. Обжигались они уже в процессе плавки. Естественно, такой процесс дает пылевидный шлак, который трудно обнаружить при раскопках. Сам процесс плавки касситерита, как показали экспериментальные работы, довольно прост, достаточно осуществлять дутье в него через слой угля в течение 20 минут. Поражают в данном случае масштабы производства III тыс. до н. э.: на этом поселении обнаружено около тонны фрагментов тиглей (Yener, 2000, p. 88, 100—123; Yener et al., 2003, p. 181—186). Поэтому был необходим процесс развития всех этих навыков.

В случае доступности чистого касситерита из россыпей, технологические проблемы обогащения не возникали. Например, в Индии обнаружены небольшие месторождения олова, хотя следов его добычи в древности нет. Поэтому предполагается, что добывали его в касситеритовых россыпях в реках, примером чему являются этнографические данные из Центральной Индии. Присутствие касситерита здесь определяли по цвету

листьев растений на берегах. В перспективном месте промывали деревянными ситами донные отложения или копали по берегам ямы, тоже промывая грунт. Плавка касситерита велась в небольших шахтных печах, дробленный касситерит смешивали с углем и плавил около одного часа. Восстановленный металл вытекал за пределы печи (Babu, 2003, p. 176, 179). Но эта стадия была возможна только тогда, когда уже появилось знание свойств этого минерала и способов обращения с ним. Вероятно, на Алтае мы сталкиваемся уже с этой стадией, а не с начальными этапами развития этого нового способа легирования, так как легирование осуществляется с самого начала металлом в металл. Поэтому корни его следует искать на Ближнем Востоке (к этому времени данная технологическая традиция уже вышла за пределы Анатолии, где она возникла впервые). Это не исключает возможности существования эпизодического более архаичного легирования рудой в руду где бы то ни было.

Серебро и свинец

Особый интерес вызывают сейминско-турбинские изделия, содержащие в меди высокие концентрации серебра. При этом зафиксированы сплавы Cu + Ag и Ag + Cu. Из 353 проанализированных сейминско-турбинских вещей известно только 22 предмета с таким химическим составом. Предполагается, что источником этого металла было месторождение Никольское, расположенное рядом с Таш-Казганом на Урале (Черных, Кузьминых, 1989, с. 166, 172—175). Однако достоверно определить происхождение металла, базируясь на спектральном анализе, невозможно. Кроме того, содержание серебра в руде Никольского не превышает 1% (Черных, 1970, рис. 33). Поэтому более вероятно, что мы имеем здесь дело с легированием. Подобные изделия известны на Ближнем Востоке, хотя встречаются также довольно редко (Hauptmann, Palmieri, 2000, p. 77). Выше, в главе по синташтинской металлургии, мне уже приходилось останавливаться на том, что металлургия серебра могла сформироваться только в регионе, где до этого довольно продолжительное время была известна металлургия свинца, поскольку серебро получали из свинцовой руды. И в этом случае весьма показательно то, что на елуинском поселении Березовая Лука в погребении найдены серьги из свинца. Подобные серьги есть и в кротовской культуре Барабы. Из Угловского района Алтайского края происходит каменный сосуд со свинцовой заплаткой, датированный первой третью — первой половиной II тыс. до н. э. (Кирюшин и др., 2004, с. 126). Связь этих металлов, следовательно, очевидна. Однако, как обсуждалось выше, металлургия серебра и свинца была известна в регионе и окуневскому населению. Поэтому данный аргумент не может являться достаточно надежным, но все же более вероятно, что различные металлургические традиции формировались в одной среде, а не компоновались из традиций удаленных друг от друга регионов, тем более что серебро в эту эпоху использовалось в качестве примеси к меди, а не в чистом виде. А создание подобных биллонов в окуневской культуре неизвестно. Не исключено, что обнаруженный на руднике Казанчурук на левом берегу Иртыша слиток свинца с большим содержанием серы (Розен, 1983, с. 23) маркирует именно добычу елуинского времени, поскольку этот район не осваивался афанасьевским, а уж тем более окуневским населением. Однако с датировкой этого предмета определить нельзя, так как он лишь определяет перспективное место поисков, но не дает пока оснований для суждений о дате. Кусочки чистого свинца и бронзы с высоким его содержанием обнаружены в Быстроистокском районе Алтайского края на поселении Ольгинка андроновской культуры (Кирюшин и др., 2004, с. 126).

Таким образом, как и в ситуации с типами металла, поиск по линии используемых лигатур ведет нас все же в районы Ближнего Востока, пока без возможности более точной локализации.

Истоки металлургической технологии

Существует еще один аспект данной проблемы. Эти существенные трансформации в металлообработке были связаны с изменениями в металлургии. Как мы видели, в елунинской культуре существует традиция плавки окисленных руд, вероятно, в тиглях. Скорее, всего, это дериват местных ранних традиций тигельной плавки окисленной руды. Вместе с тем, имеют место плавки сульфидных минералов из кварцевой породы в печах. В то же время в регионе появляются плавки халькопирита. Все это приводило к тому, что температура, достигаемая в процессе плавки, росла. Она всегда достигала 1300 °С, а в ряде случаев значительно превышала этот порог. Причем, плавка велась, вероятно, продолжительное время. В этих условиях легирование мышьяком на стадии плавки руды невозможно, и оптимальным способом легирования является легирование оловом в металл. Кроме того, легирование мышьяком приводило бы к потере его при перегреве металла (при заливке в литейные формы или горячей ковке). В данном случае мы видим и широкое использование литья, и горячую деформацию металла при кузнечных операциях. То есть, в регионе происходит комплексная трансформация: переход на новые типы руды и технологии ее плавки, переход на новый тип легирования, появление новых технологий металлообработки и новых типов металлического инвентаря.

Наиболее ранние плавки халькопирита зафиксированы в Анатолии, где в шлаках Мургула и Норшун Тепе периода РБВ отмечены сульфиды — вариации мелких включений халькопирита, борнита, пирротина, сульфидов меди (Hauptmann u.a., 1993, p. 559). Той же эпохой датируются находки халькопирита на поселении Арслантепе (Caneva, Giardino, 1994, p. 452, 453). Эта традиция постепенно нарастает в Восточном Средиземноморье, и на Кипре в ПБВ плавки базируются, преимущественно, на халькопирите (Muhly, Wheeler, 1976, p. 256, 257). За пределами Восточного Средиземноморья и Передней Азии это не столь типично.

То есть, в этом регионе с РБВ наблюдается начало устойчивых плавок халькопирита и связанное с этим внедрение оловянных лигатур. Там же присутствуют параллели новым для Северной Евразии типам металлических изделий.

Ближневосточные параллели сейминско-турбинским металлическим изделиям

В Анатолии с СБВ известны двулезвийные кинжалы с литой рукоятью и однолезвийные кинжалы с горбатой спинкой. Примечательно, что здесь, как и в сейминских бронзах, у двулезвийных кинжалов рукоять обычная, а у однолезвийных плоская, с бордюром по краю. Сходное строение рукояти имеет и однолезвийный кинжал из Тель эль-Аджул, хотя у него и нет изогнутой спинки. Известны здесь и втульчатые копья с широким пером, но втулка изготавливается еще по иной технологической схеме — ковкой (см. Авилова, Черных, 1989, с. 51—53; Черных, Кузьминых, 1989, с. 108—124; Müller-Karpe, 1974, Taf. 166.25). Подобные копья со второй половины III тыс. до н. э. появляются повсюду на Ближнем Востоке (Горелик, 1993, с. 62). Для того чтобы копьё не соскакивало с древка ему была необходима ременная обмотка втулки. На некоторых экземплярах сейминских копий присутствует литая имитация подобных обвязок, что заставляет связывать их генезис с районами, где были известны копья с разомкнутыми втулками. В Анатолии и Сирии некоторые копья с разомкнутой втулкой имели небольшое бронзовое кольцо или обойму, заменявшую ременную обвязку (Erkanal, 1977, Taf. 15, 16; Müller-Karpe, 1974, Taf. 253.10,11). Эта деталь отразилась на литых сейминских копьях. По краю втулок сейминских копий имеются валики или манжеты (часто с орнаментом), отлитые вместе с втулкой. Функционального смысла они не имеют и являются дериватами обойм, известных по копьям Ближнего Востока.

В XVII в. до н. э. на Ближнем Востоке появляются копья с литой втулкой¹. Известно втульчатое копье из Египта, с обоймой на втулке, ланцетовидным пером и по своим пропорциям близко сейминским, хотя и имеет более узкое перо (Берлев, Ходжах, 1979). Втульчатые литые копья являются довольно типичной находкой в Сирии (Рас-Шамра I), на триалетских памятниках Закавказья (Триалети, Арич и т. д.). Датируются они по сирийским параллелям XVII—XV вв. до н. э. (Джапаридзе, 1994, таб. 26,22, таб. 26,5, с. 89; Кушнарева, 1994, с. 104). Отличительной особенностью этих копий является наличие обоймы на втулке. Первоначально она служила, вероятно, для прикрепления наконечника копья с разомкнутой втулкой к древку, но на триалетских литых копьях обоймы часто сделаны из серебра и золота и имеют чисто орнаментальную функцию.

В это же время, как уже говорилось выше, на Ближнем Востоке появляются однолезвийные ножи и кинжалы с литой рукоятью и бордюром по ее краю. В отличие от Анатолии рамочная рукоять становится характерной и для двулезвийных кинжалов. Массовое их распространение приходится на XVII в. до н. э. (Горелик, 1993, с. 17). Сейминские двулезвийные кинжалы с литой рукоятью и дугообразной отбивкой лезвия практически идентичны кинжалам из Киша и Сачхере середины и второй половины III тыс. до н. э. (Черных, Кузьминых, 1989, с. 116, рис. 65; Горелик, 1993, с. 222, таб. III, 22, 56). Широко распространено было в Передней Азии и украшение рукоятей кинжалов, обухов топоров или чеканов литыми фигурками животных (Горелик, 1993, с. 222, таб. III, 23, 33, 34, с. 226, таб. V, 6, 11, 21, с. 258, таб. XXI, 42, 43, 47, 53, 57, 67, 71, 80, с. 270, таб. XXVII, 8). Отливались они по восковым моделям. Наиболее раннее применение литья по восковой модели фиксируется кладом в Нахал Мишмар в Палестине, датируемым концом IV тыс. до н. э. (Moorey, 1975, p. 42; Muhly, 1980, p. 30—32; Müller-Karpe A., 1994, S. 155). В Анатолии литье по восковой модели начинается тоже достаточно рано, в III тыс. до н. э. (Yener, 2000, p. 67).

Литые кельты очень близки мотыгообразным орудиям, изготавливаемым на Ближнем Востоке ковкой. Подобные изделия известны в слое Хама J в Сирии и в Сузах (Müller-Karpe, 1974, Taf. 247D; Talion, 1987, p. 226). Два подобных кельта есть в сейминско-турбинских комплексах (Черных, Кузьминых, 1989, рис. 3,1, 2).

На правомерность переднеазиатских связей сейминских кельтов указывают их рельефные орнаменты. Можно не рассматривать орнаменты, широко распространенные, такие как заштрихованные треугольники. Однако на сейминско-турбинских кельтах представлены орнаменты, не имеющие прототипов в Саяно-Алтайском нагорье, зато известные в Закавказье в эпоху СБВ (ср. Черных, Кузьминых, 1989, рис. 12—23; Кушнарева, 1994, таб. 28; 1994б, таб. 42; 1994а, таб. 40; Джапаридзе, 1994, таб. 18, 21). К ним можно отнести подвешенные к бордюроному поясу цепочки ромбов, заканчивающиеся иногда равнобедренным треугольником; вписанные друг в друга остроугольные треугольники. Иногда цепочки ромбов подвешиваются к вершине треугольника или к пространству между треугольниками. Редко встречаются ряды вертикальных линий, рассекающих пространство между треугольниками.

Известные в сейминско-турбинских комплексах рыболовные крючки и чеканы в более раннее время встречаются в Северной Евразии только в синташтинской культуре. Обсуждая ее, я приводил параллели этим изделиям на Ближнем Востоке.

Выводы:

С учетом появления новых технологий плавок руды, оловянных лигатур, новых принципов металлообработки, а также новых типов изделий, мы можем говорить о комплексной трансформации и о связи этой трансформации с пока неопределенным регионом Передней Азии.

¹ Здесь и далее даты даются в принятой для Ближнего Востока традиционной хронологии.

Андроновская металлургия

Новым этапом в развитии металлургического производства в Азиатской зоне Евразийской провинции стала андроновская металлургия. Переоценить ее объемы трудно. В это время производство распространяется на огромных пространствах от Зауралья до Восточного Казахстана. Явно с андроновскими металлургами связаны огромные поставки олова по всей провинции. Поэтому следовало ожидать наличия ярких металлургических комплексов. К сожалению, для столь огромной территории таких комплексов мало. Отчасти это связано с тем, что несколько десятилетий назад, когда активно исследовались поселения в Казахстане, металлургический шлак не всегда брали в коллекции, отбирая иногда лишь отдельные пробы. Но отчасти это вызвано тем, что, в отличие от синташтинского времени, производство действительно представлено далеко не везде. И этот фактор следует признать ведущим.

В первую очередь, следует обсудить термины «андроновская культура» и, соответственно, «андроновская металлургия», поскольку они представляются достаточно ясными лишь на первый взгляд. Основными компонентами, описываемыми этим термином, являются алакульская и федоровская культуры. Иногда сюда добавляют петровскую культуру. А целый ряд связанных культур (черкаскульскую, еловскую и так далее) рассматривают в качестве андронидных. К соотношению основных андроновских культур существует два основных подхода. Первый предполагает генетическую преемственность по линии петровка — алакуль — федорово — саргары. Причем, последний компонент относится уже к финальной бронзе, и в качестве андроновского не рассматривается (Зданович, 1983, 1988). Второй подход предполагает независимые корни для федоровской и алакульской культур (Кузьмина, 1986, 1988, 1994; Григорьев, 1999). Автор этой работы полагает (Григорьев, 1999, 2000б), что петровская культура формировалась на основе синташтинской. Синташтинская культура была также основой формирования ранних алакульских комплексов, хотя в дальнейшем развитии алакульской традиции была велика роль родственной петровской культуры.

Федоровская культура с этой традицией не связана. На мой взгляд, первоначальные ее корни на Ближнем Востоке, хотя окончательное оформление происходит в районах Восточного Казахстана и Алтая, откуда федоровская традиция распространяется на запад, и это распространение приводит к окончательному оформлению классической алакульской культуры и появлению серии синкретических образований. Е.Е. Кузьмина выделяет среди этих образований те, в которых доминирует алакульская традиция и те, в которых доминирует федоровская (Кузьмина, 1986). На деталях этой проблемы мы здесь останавливаться не будем, ограничившись лишь упоминанием одного типа — атасуского, поскольку материалы этих памятников будут обсуждаться в данной работе. Традиционно в казахстанской археологии ранее выделялись атасуский и нуринский типы, которые рассматривались как тождественные алакульскому и федоровскому иным районов, в то время как Е. Е. Кузьмина рассматривает атасуский тип как синкретичный, хотя и относящийся к алакульской традиции. Однако в контексте этой работы данное различие можно игнорировать. Равным образом, федоровская культура, если быть терминологически точным¹, есть явление зауральское. Памятники этой традиции в Минусинской котловине правильнее называть андроновскими (исключая из этого понятия алакульские материалы), а в Восточном и Центральном Казахстане нуринскими. Но для данной работы это тоже не столь существенно, и мы все эти материалы будем далее именовать федоровскими.

Существует разница и в пространственном размещении этих памятников. Алакульская культура охватывает Зауралье, Западный, Северный и Центральный Казахстан.

¹ Подробнее эти различия и историографию вопроса см. Григорьев, 2003в. В другой публикации приводится обоснование дат (Grigoriev, 2002, p. 146, 248): петровская, алакульская и федоровская культуры с XVI в. до н. э., черкаскульская культура с XVI/XV в. до н. э., межовская с XV/XIV в. до н. э.

Восточная ее граница находится в междуречье Ишима и Иртыша. Восточнее иногда можно встретить примесь алакульского материала, но, в целом, это не алакульская территория. Районы по Иртышу и вплоть до Енисея являются ареалом распространения федоровских памятников. Последние, впрочем, представлены и на западе. Но в степи на западе их присутствие довольно ограничено. А в лесостепной зоне (во всяком случае, в Зауралье) их много (Григорьев, 2008). Здесь же в лесостепи локализуются и более поздние памятники, формирующиеся на федоровской основе — черкаскульские и межовские. Это и отражает распространение федоровской культуры с востока на запад и ее контакт с алакульской культурой.

Исходя из всего сказанного, термин «андроновская историко-культурная общность» корректен лишь в смысле фиксации контакта этих двух различных и по происхождению и, в определенной степени, по пространственному размещению, культурных образований. Отчасти этот термин можно рассматривать как дань традиции, отчасти он действительно отражает многообразные процессы взаимодействия и связей. Поэтому при исследовании культурных процессов он некорректен, поскольку там следует придерживаться точных определений и избегать ложных смыслов. Но в некоторых общих работах его можно употреблять. В данном случае, мы можем говорить о некоем андроновском ареале, распространяющемся от Урала до Енисея.

Рудная база андроновского ареала

На территории Евразийской металлургической провинции это, пожалуй, самый богатый рудными месторождениями ареал. На востоке он завершается саяно-алтайскими месторождениями, описанными выше, на западе — уральскими месторождениями. На Урале количество меднорудных месторождений колоссально, они относятся к самым разнообразным типам, некоторых из которых мы касались в предыдущих главах. На той территории, которая интересует нас сейчас, имеется тоже множество месторождений, хотя по этой территории они распределены неравномерно.

Группа крупных месторождений располагается на западе ареала, в восточной части Оренбургской области, в районе Орска. Месторождения здесь представлены крупнейшими медноколчеданными месторождениями, такими как Гайское и Блявинское, но рудные пласты в них не имели выходов на поверхность. Зона окисления и ее «железная шляпа» были перекрыты более поздними отложениями, и в древности эти месторождения эксплуатироваться не могли. Кроме них здесь имеются незначительные рудопроявления в кварцевых жилах (Заварицкий, 1929, с. 133; Черных, 1970, с. 44; Пшеничный, 1975, с. 4, 8, 14, 15, 26). Крупные работы велись в древности к западу, но эти месторождения относятся уже к медистым песчаникам Приуралья, которые эксплуатировались срубным населением.

К северо-востоку от Орска известен ряд месторождений в диабазах, серпентинитах и колчеданное в порфирах (Поляков, 1925). В Домбаровском районе, входящем уже в Примугоджарскую зону, известны два рудника, эксплуатировавшиеся в древности — Еленовка и Уш-Катты. Особенностью этих месторождений является отсутствие «железной шляпы» и зоны выщелачивания, при высоком содержании серы в сульфидных рудах.

На Еленовке зафиксирован карьер глубиной 6 м. Месторождение приурочено к контакту кварцевых кератофилов, прорывающих пироксеновые порфириды. Порода ожелезнена, руда — слабо ожелезненный кварц-турмалин, пропитанный медной зеленью. Содержание меди довольно высоко.

В Уш-Катте зона оруденения тянется на 1 км в виде небольших выходов мощностью 0,5—4 м. На месторождении фиксируются два крупных карьера 20×15 м и 130×20 м. В 1,3 км к западу от карьеров, у реки Уш-Катты, зафиксированы следы плавки руды. По типу месторождение близко Еленовскому (Малютин, 1940, с. 89, 95—98).

Е. Н. Черных приводит несколько иные данные для размеров этих рудников (45×30×3 м на Еленовке и 8×4×2 м на Уш-Катте) и указывает на то, что геохимически они довольно близки. Минерализация на рудниках представлена окисленными медными минералами и вторичными сульфидами. Именно эти рудники послужили привязкой для меди группы ЕУ Волго-Уральского региона (Черных, 1970, с. 38—40).

Медная минерализация восточнее, в Казахстане, представлена чрезвычайно широко. Описать все месторождения этого огромного региона не представляется возможным, поэтому мы выделим лишь несколько наиболее крупных районов медной минерализации: Атбасар-Терсакканский, Кокчетавскую возвышенность, Джезказган-Улытауский, северную Бетпак-Далу, Прибалхашский, Успенско-Спасский, Каркаралинский и Экибастузско-Баянаульский. На востоке Казахстана располагаются месторождения Рудного Алтая, которых мы касались ранее.

Атбасар-Терсакканский район

В северной части Казахстана, от районов Джезказгана на север, тянется полоса медистых песчаников шириной 200 км (рис. 11-4.XIV). На севере ее граница проходит в 100 км к югу от Петропавловска (Сапожников, 1948, с. 3, 154). Оруденение здесь представлено на широкой площади, но отдельными мелкими участками. Оно приурочено к кварцевым песчаникам и представлено разными типами руд. Первичные руды крайне бедны. В зоне цементации основными рудами являются борнит, халькозин и куприт, в окисленной зоне — малахит, азурит и хризоколла. В глубину зона окисления достигает 10—15 м, а зона цементации — 60 м. Содержание меди в окисленных рудах Атбасарского района доходит до 4—17%, но обычно 0,7—2% (Сатпаев, 1929, с. 33; Наркелюн и др., 1983, с. 111—215; Сатпаева, 1958, с. 154—156). Минералы замещают цемент песчаника и вторгаются в трещины. Кроме медных минералов здесь встречаются лимонит и гетит, однако распространены они крайне неравномерно. Жильная минерализация в районе не встречена. На Атбасарской группе рудопроявлений по реке Жабай зафиксированы следы древних работ. Встречены они также в Поишимье и в районах озер Имантау и Якши-Янгизтау. Южнее, на Терсакканских месторождениях, древние выработки пока не выявлены, но возможно это связано со слабой изученностью территорий.

Восточнококчетавский район

Месторождения здесь приурочены к восточной части Кокчетавской возвышенности (рис. 11-4.VIII). По своему типу месторождения здесь контактовые, в кварцевых жилах (Яговкин, 1931, с. 27). Располагающаяся к северу от Щучинска Боровская группа представлена преимущественно вкрапленностью медных сульфидов в золотоносных кварцевых жилах. И хотя здесь обнаружены древние выработки, уверенности в том, что они производились на медь, нет. Иная ситуация в районе озера Атан-Сор. Руда здесь представлена кварцевыми жилами, имеются окисленные зоны, в которых преобладают малахит и азурит, встречаются гематит и лимонит. В зоне цементации наблюдается богатое халькозиновое оруденение. На всех месторождениях этой зоны обнаружены древние выработки.

Джезказган-Улытауский район

Наиболее видное место среди месторождений Казахстана занимают Джезказганские (рис. 11-4.IX). Рудная минерализация здесь приурочена к серым песчаникам и кварцевым жилам. Последние по мощности обычно не превышают 1—2 см (Сатпаева, 1958, с. 8—29; Наркелюн и др., 1983, с. 122). Оруденение связано с восходящими гидротермальными растворами, обогащенными серой и железом. Последний элемент, впрочем, не играет существенной роли в общем составе оруденения. Красные, насыщенные окислами железа песчаники, как правило, безрудные (Сатпаева, 1958, с. 8—14, 38—41;

Яговкин, 1932, с. 44). Это вызвало повышенную кремнистость состава руд Джекказгана, что видно из обобщенного химического состава песчаников Джекказганской свиты (Сатпаева, 1958, с. 15) (таб. 11-25).

Таб. 11-25

Химический состав песчаников Джекказганской свиты (Сатпаева, 1958)

В/в	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
%	60—80	10—13	2—3	1—2

Наиболее важными рудами являются отложения типа замещения в осадочных породах. Встречаются также заполнения пор и пустот. Местами в выработках можно наблюдать сплошные пласты руды мощностью 3—4 м. Среди окисленных поверхностных руд встречаются скопления мощностью 5—6 м при видимой длине выхода 10 м (Сатпаев, 1935, с. 211, 219; Сапожников, с. 84). Содержание меди в руде достигает 5—35%. Основными минералами сульфидной зоны являются борнит, халькозин и халькопирит. В зоне вторичного сульфидного обогащения, достигающей в глубину 60—70 м — халькозин. Мощность зоны окисления колеблется от 3—4 до 12—15 м. В районе Златоуста она достигает 45 м. Основным минералом окисленной зоны является малахит, встречаются азурит, халькозин, куприт, самородная медь и хризоколла. Спецификой зоны является то, что процесс окисления протекал в резко выраженных сернокислотных условиях, что вызвало сохранение здесь сульфатных соединений (Сатпаев, 1935, с. 224—225; Сатпаева, 1961, с. 166, 173, 174; Наркелюн и др., 1983, с. 124). В районе Джекказгана обнаружено значительное количество древних разработок, датируемых эпохой бронзы.

Бетпак-Дала

В пустынных районах Бетпак-Далы известно несколько медных месторождений. Обычно они незначительны по масштабам и бедны рудой (рис. 11-4. X). Среди них хотелось бы выделить два. Месторождение Таскура невелико по запасам, но имеет хорошие окисленные руды со средним содержанием меди 1—4%, представленные малахитом (Яговкин, 1931, с. 30; 1932, с. 49). Более существенную роль в эпоху бронзы играли рудники Кенказган и Ефимовское в северной Бетпак-Дале. Оруденение происходило на контакте песчанико-глинистой и известняковой толщ, в песчано-глинистых окремненных и ожелезненных породах. Минералы окисленной зоны представлены малахитом, купритом, хризоколлой и азуритом. Содержание меди в окисленной руде достигало 20—50%.

Успенско-Спасский район

Разработка руд в Успенско-Спасском районе (рис. 11-4. XI) широко велась в XIX веке. Это, вероятно, стерло следы древних выработок. На большей части месторождений оруденение приурочено к кварцевым жилам или окварцованным породам (Сатпаева, 1958, с. 52; Чухров, 1950, с. 28, 29, 40—42; Русаков и др., 1933). Однако иногда встречается оруденение в песчаниках и известняках (Алтын-Тюбе, Кайракты). Зона окисления развита на глубину 20—40 м, достигая на Успенском месторождении 60 м (Сатпаева, 1958, с. 65). В последнем случае кварц в зоне окисления частично выщелачивается, и содержание его понижается. Железистые минералы для зоны окисления в основном не характерны, содержание серы в руде низкое (Сатпаева, 1958, с. 53). Руда Успенского рудника по соотношению кислотных и основных окислов является готовой шихтой, не требующей дополнительного флюсования. Лимонит встречен в окисленной зоне месторождений Самомбет, Беркара и в районе Спасского (Чухров, 1950, с. 41, 42). Основным медным минералом зоны окисления является малахит. Подчиненное положение занимают азурит, куприт, самородная медь и хризоколла. В зоне вторичного сульфидного

обогащения представлены халькозин и ковеллин. Содержание меди в окисленной зоне колеблется от 0,1 до 14%.

Расположенная неподалеку, к северу от Каркаралинска, Коктасджартаская группа месторождений (рис. 11-4. XV) относится к медно-порфировому типу. Руда залегает в виде грубопластообразных масс рассеянных сульфидов во вторичных кварцитах (Яговкин, 1931, с. 26; Чухров, 1950, с. 30, 31), но встречаются и месторождения иных типов.

Прибалхашье

В Прибалхашье медное оруденение представлено жильными месторождениями и вкрапленностью в изверженных или осадочных породах (рис. 11-4. XII). Однако далеко не все месторождения этого района могли использоваться в древности. В число месторождений безусловно не разрабатывавшихся необходимо включить Кызыл-эспе, Саяк, Ак-Чогыл, Гульшад, Коунрад и ряд более мелких. Не могли они разрабатываться вследствие наличия «железной шляпы» или чрезвычайной бедности окисленной зоны медными минералами. Древние выработки на всех этих месторождениях не обнаружены (Яговкин, 1931, с. 31). Большого внимания заслуживают месторождения, представленные кварцевыми жилами: Ак-Чогыр, Кара-Тюбек и Уч-Кара. На двух последних имеются следы древних работ. Минералами зоны окисления являются азурит, брошантит, куприт, малахит и лимонит (Яговкин, 1931, с. 38). Старые выработки были обнаружены и на некоторых прожилково-вкрапленных месторождениях. К ним относится месторождение Кок-Зобай в урочище Моинты, представленное жилками богатого куприта и халькозина в плагиоклазовом граните. На месторождении имеется один большой разрез и несколько старых ям. Древние ямы глубиной 1—3 м имеются и на месторождении Шурабек, где минералы окисленной зоны представлены тонкими жилками малахита и лимонита в окварцованных гранитах, со средним содержанием меди 2%.

Крупный древний карьер длиной 700 м обнаружен на месторождении Мий-Кайнар (Мунглу), где оруденение приурочено к участку известняков, по сети трещин в которых развиты малахит, куприт и азурит.

Экибастузско-Баянаульский район

Месторождения района (рис. 11-4. XIII) территориально разбиваются на две группы: экибастузскую и баянаульскую. В экибастузской группе медное оруденение представлено прожилково-вкрапленными рудами в порфировых туфах и туфопесчаниках. Вкрапленные руды в древности, по-видимому, не разрабатывались. Более вероятно использование руд, залегающих в виде густой сети жилок малахита, азурита, куприта, халькозина и хризоколлы, сопровождаемых гидроокислами железа (Яговкин, 1931, с. 36, Чухров, 1950, с. 33). Использование медно-порфирового месторождения Бошекул маловероятно. Из-за развитости «железной шляпы» не использовалось также месторождение Мойкаин. То же можно с большой уверенностью сказать и о медно-колчеданных залежах Баянаульского района (Яговкин, 1931, с. 31; Чухров, 1950, с. 43). «Железная шляпа» имеется и на скарновом месторождении Чокпак (Яговкин, 1931, с. 35; Чухров, 1950, с. 32). Древние разработки могли вестись на жильных месторождениях Баянаульской группы. Рудонесущими здесь являются кварцевые жилы. Сульфидное оруденение представлено борнитом и халькозином, окисленное — малахитом, азуритом, реже хризоколлой. Иногда в зоне окисления встречается гидрогематит (Яговкин, 1931, с. 33, 34; Чухров, 1950, с. 32, 33).

Древние рудники

Таким образом, как мы видим, на территории Казахстана, в разных его частях имеется множество медных месторождений, выходящих на поверхность. За редким

исключением рудовмещающими породами является кварц или песчаники с высоким содержанием кварца. При этом повсеместно очень хорошо развита окисленная зона, распространяющаяся на значительную глубину. Поэтому большинство месторождений могло давать хороший выход руды, но руды не слишком удобной для плавки в древности: окисленной руды из кварцевых пород.

Однако это обилие выходящих на поверхность руд позволило развернуть здесь масштабную добычу в древности. Информация по древним рудникам Центрального и Северо-восточного Казахстана была собрана А. Х. Маргуланом (2001¹). При этом следует подчеркнуть, что в сводке мест горной добычи и плавки руды фигурируют не только результаты археологических обследований. В наибольшей степени это собрание сделано на основе ранних отчетов геологов. Поэтому в них достоверно отражено наличие выработок, определено — что именно добывалось, типы рудовмещающих пород. Но датировка корректна лишь для отдельных объектов, а описание металлургических печей вызывает серию вопросов. Но главное в этой работе — колоссальные масштабы горных работ по добыче медной руды, которые фиксируются в этом регионе. Судя по археологическим материалам, датируются они эпохой бронзы и средневековьем. Трудно сказать, насколько велик был объем добычи в эпоху бронзы, но, судя по всему, он был колоссальный. На Урале, в Восточной Европе и на Алтае нет ничего сопоставимого с этим размахом горных работ.

Достаточно привести лишь отдельные примеры, чтобы показать этот размах: На месторождении Шурук отдельные выработки имеют длину 200—400 м, ширину 40—50 м. «На юго-западных склонах холма Алтынсу расположена «громая чудская яма» с грандиозными отвалами, достигающими высоты до 3 м. Длина ямы около 800 м, ширина 30—40 м. На стенах карьера сохранились следы огня в виде копоти и раскаленных камней, свидетельствующие о применении огня при добыче руды». На руднике Саяк III цепь древних выработок «имеет протяженность более километра. Длина отдельных карьеров достигает 500 м, ширина 12—30 м, глубина до 25 м и более. ... Грандиозны цепочки древних выработок Джекказгана, относящиеся к эпохе Бегазы-Дандыбая. Для этого времени характерны огромные карьеры протяженностью до 1 км. Они сосредоточены обширными группами на участке Кресто-Центр, являющемся сердцевиной рудного Джекказгана, самым богатым по запасам руд и наиболее мощным (в 18 м) рудным горизонтом. Отдельные выработки на этом участке достигают в длину 750—800 м, при ширине 50 м и глубине 8 м. Одна из выработок имеет форму огромной дуги, расстояние между концами которой 460 м. ... Кенгазган представляет собой громадный карьер, сопоставимый с современными разработками, овального очертания, с заплывшими краями и многочисленными бортовыми выступами в виде длинных языков. Общая длина карьера 530 м, ширина посередине 170 м, длина языков 20—50 м. Шурфы глубиной до 15 м, заложенные в центральной части карьера, забоя не достигали, это наводит на предположение, что первоначальная глубина выработки была не менее 25—30 м». В Джекказгане в районе городища Милыкудук общая площадь «с отвалами и следами древнего металлургического производства составляет около 10 га. Вертикальный разрез площади городища выявил три слоя дробленой руды, относящихся соответственно к эпохе бронзы, раннему и позднему средневековью. Между слоями руды прослойки супеси толщиной 8—15 см. Характер измельченной руды в каждом слое различен. Так, в верхнем слое кусочки руды относительно крупных размеров, примерно 1—2 см³. Нижний слой состоял из более измельченной руды, размеры кусочков 0,5—1 см. Огромное количество крупных ям-кладовых для руды. Оттуда достали 2000 тонн руды с содержанием 8—10%». (Маргулан, 2001, с. 50, 52, 54, 60).

¹ Ссылка дана на полное собрание сочинений А. Х. Маргулана, вышедшее через много лет после его смерти. В это собрание включены результаты его многолетних, в том числе ранних работ.

Из этого следует еще один аспект, интересный для нашего исследования: для плавки предназначалась руда с содержанием меди 8—10%. У плавильных центров обнаружены отвалы с рудой, содержащей 2—5% меди, и эта руда в плавку уже не поступала (Маргулан, 2001, с. 59).

Примечательно то, что, помимо выработок на медь здесь зафиксировано значительное число рудников по добыче касситерита, плавка которого позволяла получить главный легирующий компонент эпохи поздней бронзы — олово, причем, иногда он добывался на тех же месторождениях, что и медная руда. Отмечена добыча и плавка свинцово-серебряных руд. Химический анализ выявил высокое содержание свинца в руде из древних отвалов Кызылэспе — 78,49%, Алабуги — 61—57%, Кеншоки — 51,02% (Маргулан, 2001, с. 22—31, 36, 37, 73). Как мы уже неоднократно обсуждали, добывать свинец в то время особого смысла не имело, скорее всего, эта руда добывалась для получения серебра методом купеляции, что зафиксировано для синташтинской культуры. Судя по анализам, для этого использовалась относительно чистая руда, так как на этом этапе не было стремления выплавить металл. Нужно было перевести руду в состояние оксида, который потом выпаривался. Использование чистой руды для этой операции более удобно.

Металлургические печи

К сожалению, данные о металлургических печах андроновского времени не слишком велики. Изучение отчетов о раскопках памятников Северного Казахстана не позволило выявить надежные сооружения, которые можно связать с металлургическим производством, хотя везде фиксируются небольшие очаги диаметром до 1 м. Не исключено, что часть из них могла использоваться для плавки руды, тем более что и объемы производства на севере Казахстана несопоставимы с объемами производства в более южных ареалах. Тем не менее, данных о таком использовании этих очагов нет.

В Притоболье на поселениях зафиксированы небольшие наземные или слегка округлые очаги диаметром 0,5—1 м. Некоторые имеют выкладку пода камнями или глиняными кирпичиками. Но связь их с металлургическим производством не установлена (Потемкина, 1985, с. 323).

Пристроенные к колодцам печи были обнаружены в алакульских постройках на поселении Мочище (рис. 11-26.1, 3) (Григорьев и др., 2007). Аналогичные конструкции отмечены и на поселении Коркино (благодарю Ю. П. Чемякина за предоставленную информацию). В сущности, подобная локализация печей у колодцев является синташтинской традицией, сохраняющейся в алакульской культуре. Эти печи были углублены, и имели размеры до 60—70 см. На Мочище были найдены и обычные округлые печи. Одна из таких печей была обнаружена в алакульско-федоровском слое на обмазке пола, сделанной над завалом более раннего колодца (рис. 11-26.2, печь 1).

В Зауралье, серия теплотехнических сооружений была зафиксирована на поселении Атамановка V, где выделяется срубно-алакульский, федоровско-черкаскульский слои и слой эпохи финальной бронзы, но его нельзя называть саргаринским. Это материалы, относимые к берсуатскому типу (Малютина, Петрова, 2009).

В срубно-алакульских жилищах выявлены округлая печь (жилище 4) размером 1,25×1,1 м, а также вытянутая обложенная камнями конструкция (жилище 3) в виде канавки длиной около 5 м, шириной 0,5—1,5 м, глубиной 0,25—0,35 м. Форма канавки неправильная: у нее последовательно чередуются три расширения и три сужения. Она соединяется с ямой, возможно, колодцем. В сущности, обе эти конструкции известны на синташтинских памятниках, а вытянутое сооружение схоже с печью поселения Семиозерки.

В жилище 1 эпохи финальной бронзы обнаружено две печи, пристроенные к колодцам (их соединяют с колодцами канавки) и имеющие дымоходы в виде длинных канавок. Сами печные конструкции углублены, имеют овальную форму и размеры 1,7×1,2 м

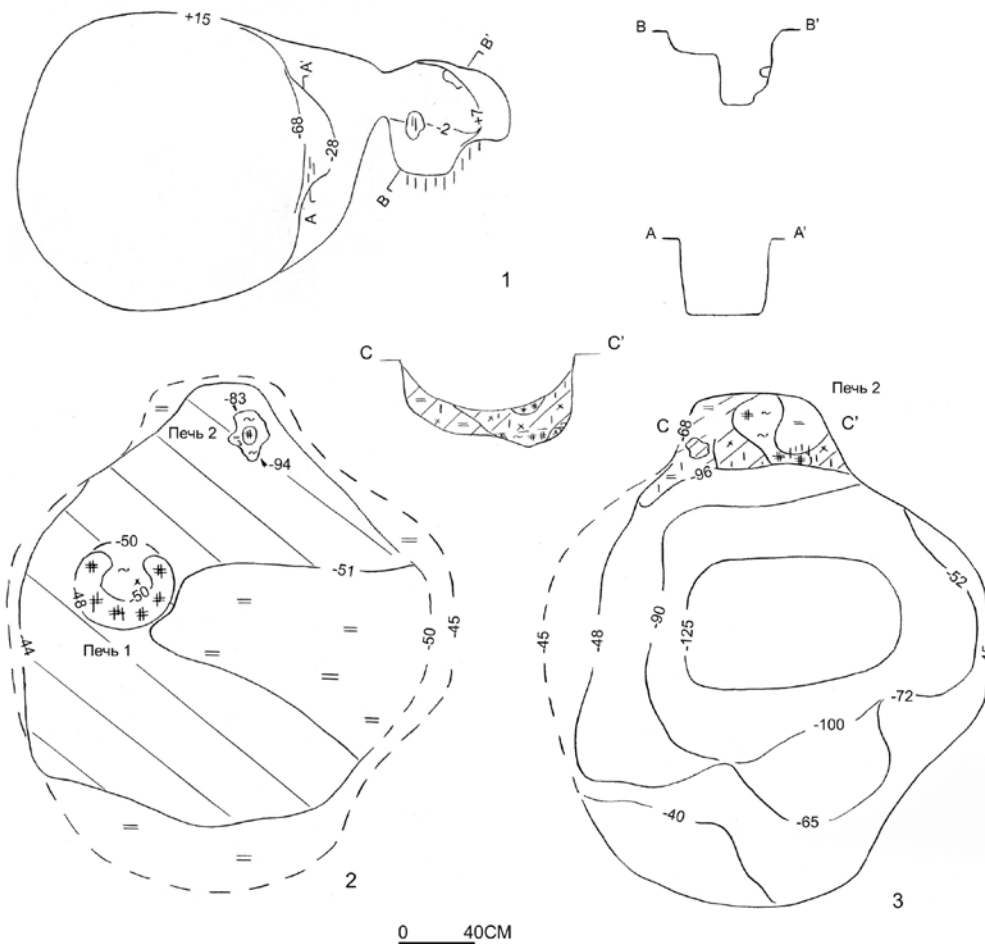


Рис. 11-26. Пристроенные к колодцам алакульские печи на поселении Мочище (1, 3) и печь алакульско-федоровского времени (2) над завалом колодца

и 0,9×0,55 м (рис. 11-27, 11-28). Стратиграфические наблюдения позволяют предполагать, что в этом жилище одна из этих систем печей, пристроенных к колодцам, начала функционировать в срубно-алакульское время. То есть, наблюдается определенная преемственность теплотехнических конструкций в рамках поселения. В этом жилище расчищен еще один очаг, размером 0,5×1,2 м.

Металлургическое производство маркируется обнаружением серии шлаков и округлым слитком меди диаметром 12—13 см. К сожалению, в публикации его вес не указан, но, с учетом того, что плотность меди составляет 8,9 г/см³, можно предположить, что его вес был в пределах 1,5—3 кг.

На поселении Берсуат XVIII с тем же набором культурных типов выявлены небольшие округлые очаги и вытянутые конструкции, иногда с обкладкой камнями. Но в данном случае тоже нет возможности установить — какие из них использовались в металлургическом производстве (Малютина и др., 2006). На поселении Архангельский Прииск II обнаружено много шлака (рис. 11-29.5, 7), фрагментов ошлакованной обмазки (рис. 11-29.3, 4) и тиглей (раскопки Л. Ю. Петровой). На поселении присутствуют также материалы алакульской культуры и финальной бронзы, но металлургические остатки, по мнению автора раскопок, принадлежат межовской культуре. Изучение ошлаковок обмазки показало, что шлак стекал с них вниз, то есть, обычно это ошлаковка стенок печи, а не пода, что указывает на то, что шихта непосредственно контактировала со стенками печи. Шлаки и эти ошлаковки часто расколоты, следовательно, когда шлак по стенкам накапливался, его оббивали, и делали новую обмазку.

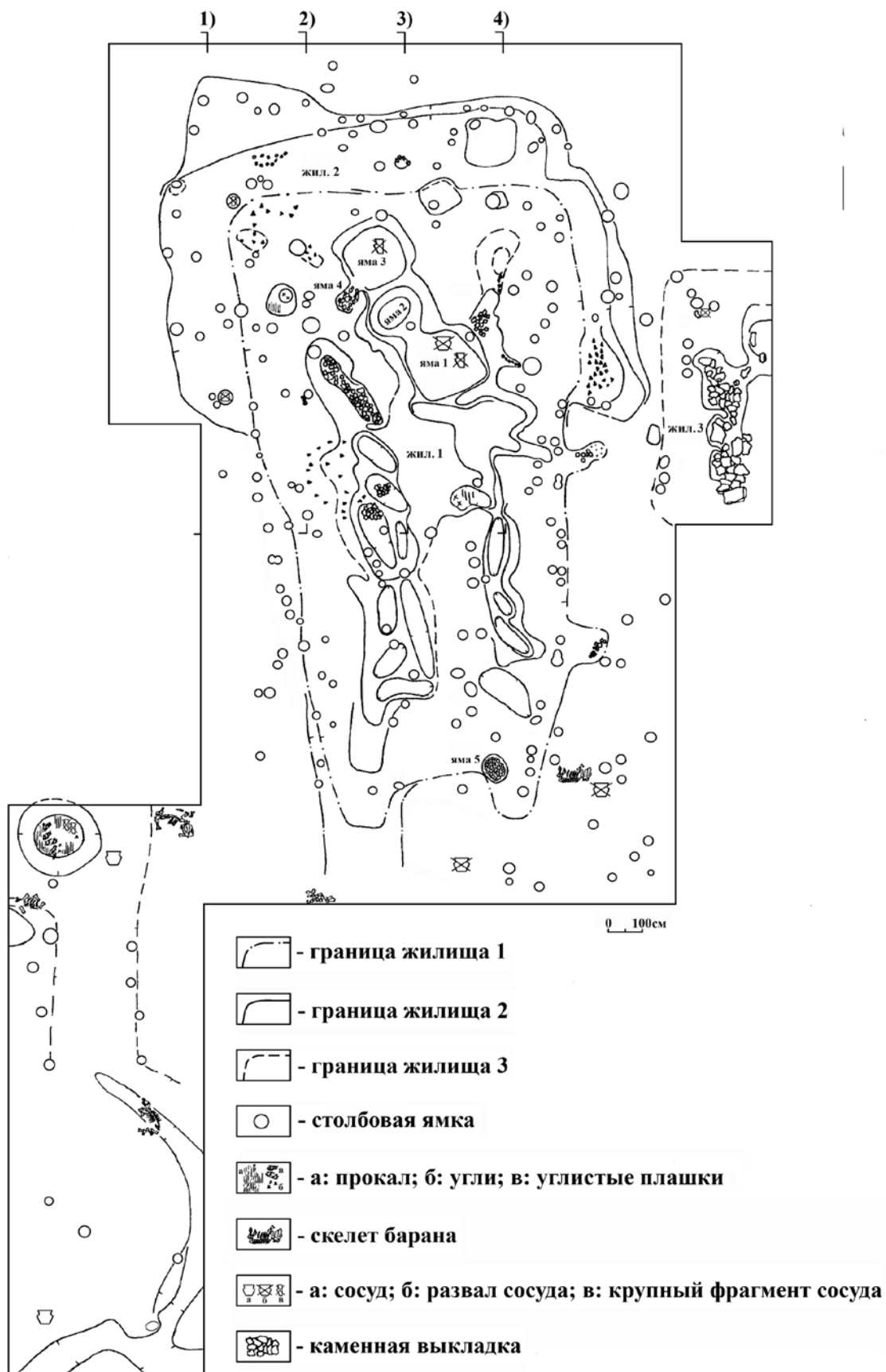


Рис. 11-27. План раскопа I поселения Атамановка V. В жилище 1 расположены колодцы (ямы 1, 3) с пристроенными к ним печами (ямы 2, 4). К юго-западу располагается канавообразное сооружение с выкладкой камнями. Подобное находится и в жилище 3 (по Малиютина, Петрова, 2008)

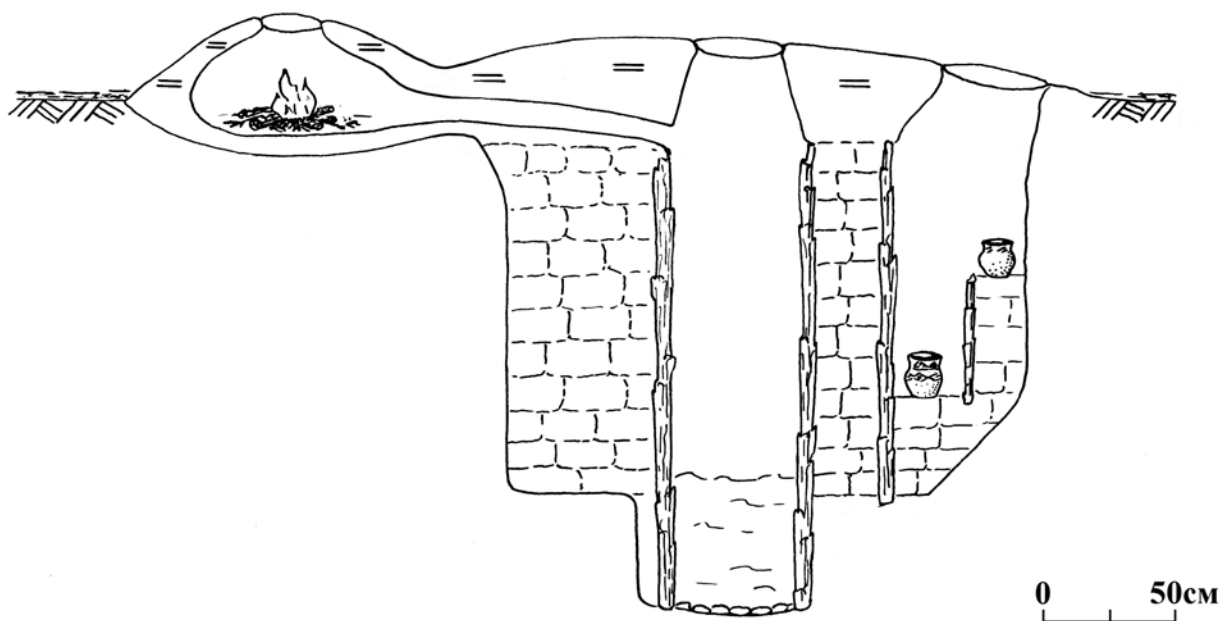


Рис. 11-28. Реконструкция колодца и печи (ямы 1, 2) поселения Атамановка V (по Малютина, Петрова, 2008)

Интересно обнаружение здесь значительного количества фрагментов тиглей (рис. 11-29.1, 2, 6). Диаметры тиглей около 20 см, но выделяется группа тиглей с приподнятыми бортиками и внутренним объемом 270—600 см³ и тигли более уплощенные, объемом 70—300 см³. Все тигли ошлакованы только изнутри, следы дутья на внешнюю, нижнюю, поверхность отсутствуют. Соответственно, дутье было направлено сверху вниз, в тигель. Несмотря на небольшую ошлаковку тиглей меньшего объема, предположить в них расплавление металла нельзя. Из-за уплощенности внутреннего объема и его ширины, расплавлять и потом переливать металл в них было бы неудобно. Поэтому, скорее всего, все тигли использовались при плавке руды.

Дутье осуществлялось с помощью воздуходувных сопел. Было найдено два фрагмента сопла, и одно ошлакованное сопло, замещенное натекшим на него рудным шлаком (рис. 11-29.8). Внешняя поверхность фрагментов частично ошлакована, а внутренняя прокалена, поскольку сопло находилось внутри печи, и через него проходил обогащенный кислородом воздух. Внутренний диаметр был около 4 см, а внутрь печи сопла вставлялись приблизительно на 5 см. Изучение полностью ошлакованного сопла показало, что оно было вмазано на высоте 2,7 см (по внутренней стенке печи) от пода. В печь оно было вставлено на 4 см. Нижняя часть у конца сопла была около 1 см над уровнем пода, а центр — 1,8 см. Угол наклона дутья был около 45°.

Судя по высоте расположения сопла и углу наклона дутья, печь была наземной, с небольшим углублением для тигля, и дутье должно было быть направлено на его центр, но на определенном расстоянии. Шихта (руда с углем) должна была заполнять всю полость печи, иначе бы не происходило протекание шлака вниз на сопло и не шлаковались бы стенки. Печь должна иметь внутренний диаметр 40 см и высоту надстройки минимум 20 см, а углубленная часть — диаметр 30 см и глубину 5 см. Но в этом случае было невозможно слить шлак, что допускалось для межовских шлаков Башкирии.

Сведения о древних металлургических печах в Центральном Казахстане более обширны. К сожалению, чаще всего источником их являются геологи, обследовавшие памятники горного дела. Эти печи могут датироваться как эпохой бронзы, так и средневековьем. Сведения об этих печах приводятся все в той же работе А. Х. Маргулана

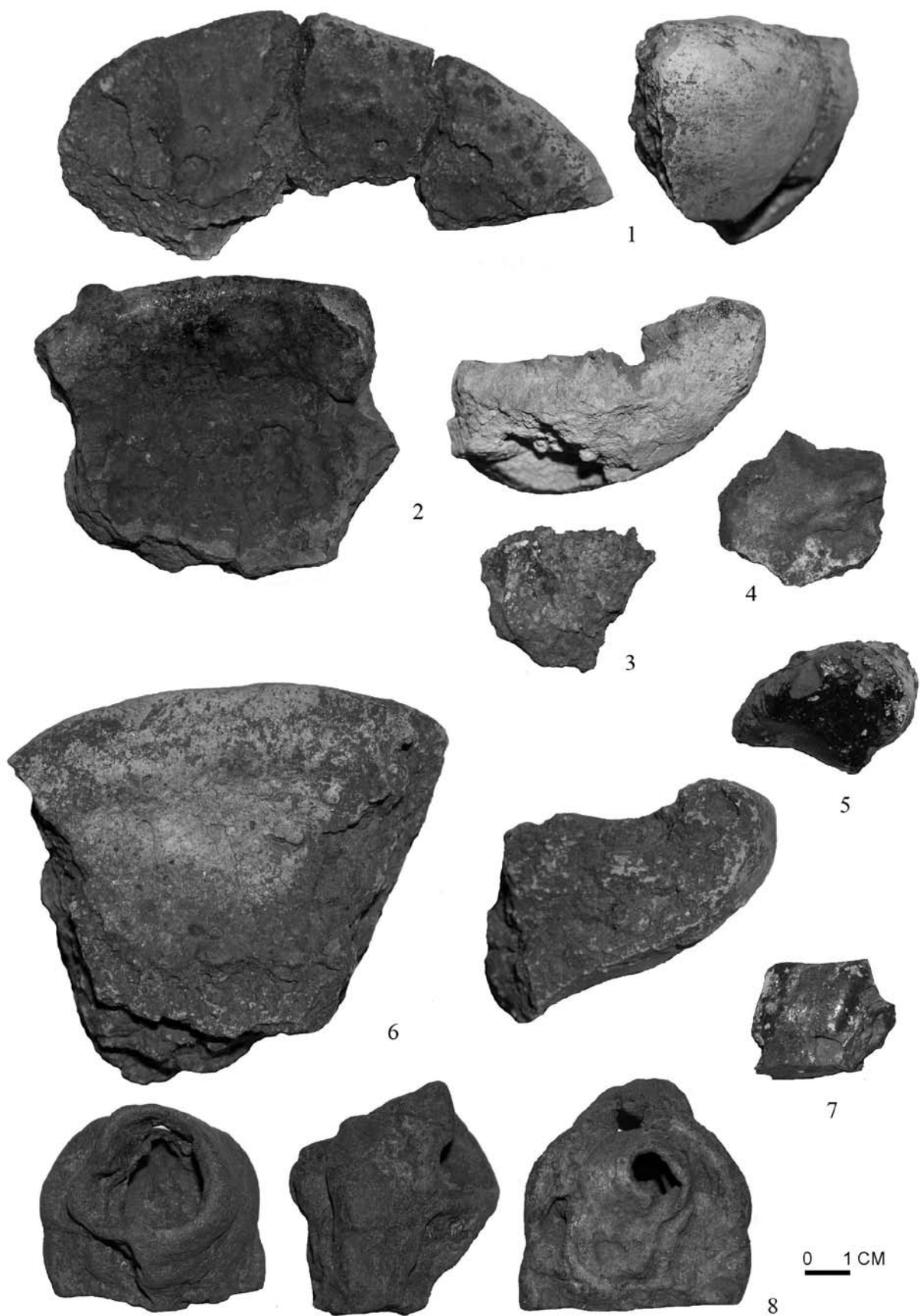


Рис. 11-29. Поселение Архангельский Прииск II: 1, 2, 6 — фрагменты тиглей; 3, 4 — ошлакованная обмазка; 5, 7 — фрагменты плотного шлака; 8 — ошлакованное сопло

(2001, с. 60—68). Из-за хронологической неопределенности этих объектов мы не будем на них подробно останавливаться. Подробности можно посмотреть в указанной работе. Здесь же описание этих печей будет дано обобщенно.

Следует иметь в виду, что все описанные конструкции очень крупные. Не исключено, что небольшие печи просто остались вне поля зрения. Принципиально можно говорить о трех типах сооружений. На городище Милыкудук в районе Джекказгана обнаружено 25 печей. Одна из них (№ 3) представляет собой квадратное сооружение размером 4×4 м и высотой стен до 2 м. Из-за таких огромных размеров предполагается, что оно служило для обжига руды. Однако руды этого района окисленные, хотя и содержали примесь серы. Тем не менее, они обжига не требовали. Возможно, это средневековое сооружение, но вопрос все равно остается, тем более что форма его не способствовала улучшению температурного режима плавки. Это единственное подобное сооружение, поэтому его можно игнорировать.

Вторым типом являются удлиненные печи № 1 и 2 в Милыкудук (рис. 11-30). Они имеют ширину 1 м, а длину 2 и 4 м, но более длинная печь разделена перегородкой на две камеры, и к каждой камере подведено отдельное сопло. То есть, по сути, речь идет о двух пристроенных печах. Оснований говорить о дате этих печей нет, но наиболее вероятно их связь со средневековым слоем городища.

Более распространены углубленные в грунт круглые печи огромного диаметра от 1,5 до 3 м (в обрыве р. Балатерсаккан, Милыкудук, Бесоба). Стенки их выложены слоем камня или глины, иногда по стенкам фиксируются следы прокала. Под сильно углублен до 0,4—1 м. На поде найдены угольки и кусочки руды и шлака. Это тоже слишком крупные сооружения, которые не позволили бы достичь достаточно высокой температуры. Этот тип сооружений очень принципиален, так как именно он породил интерпретацию печей поселения Атасу. К тому же, не исключено, что они датируются эпохой бронзы. Во всяком случае, у одной из этих печей (Балатерсаккан) найдено много керамики переходного периода от средней бронзы к бегазы-дандыбаевскому времени. То есть, речь идет, как минимум, о позднеандроновском времени. Вероятно, в данном случае

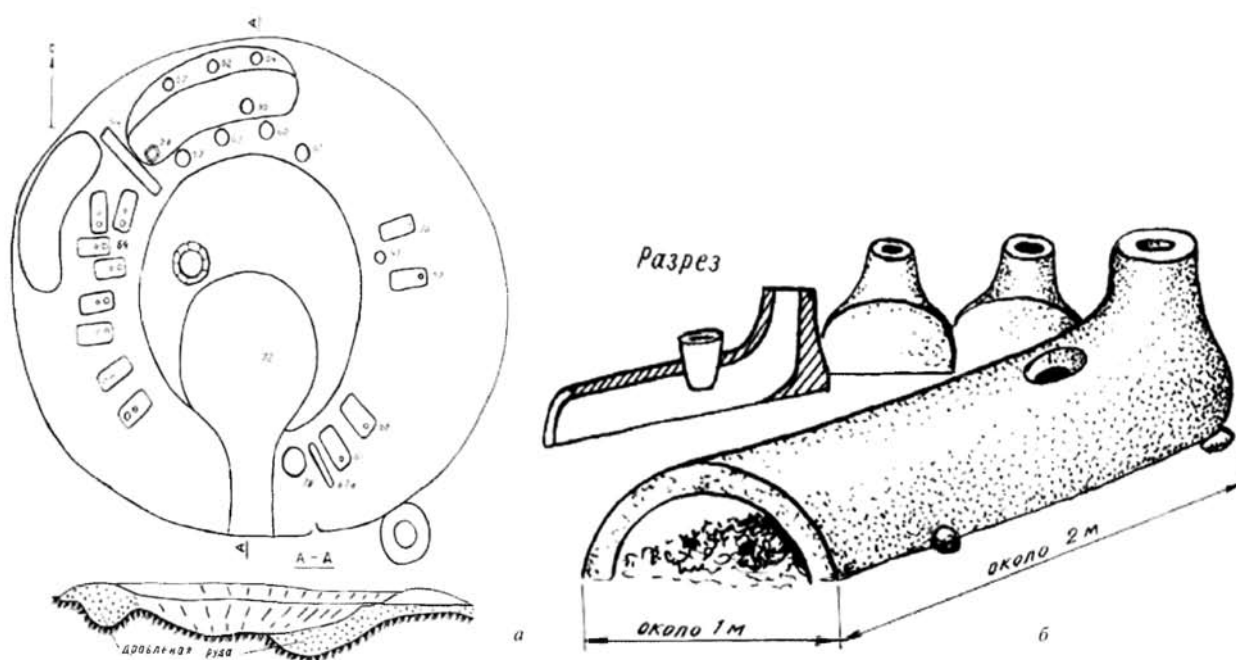


Рис. 11-30. План мастерской (а) и реконструкция металлургической печи городища Милыкудук, сделанные Н. В. Валукинским (по Маргулан, 2001)

мы имеем дело с не совсем верной интерпретацией. Примечательна ситуация в Бесоба, где найдено шесть таких печей «из которых одна довольно крупных размеров связана с малой печью при помощи подземного хода — перемычки». Это очень напоминает синташтинские печи, пристроенные к колодцам¹. Обсуждая памятники в районе Атасу, мы вернемся к этому вопросу.

Наибольшее количество металлургических печей выявлено на памятниках атасуского района: Атасу, Мыржик, Ак-Мустафа, Ак-Мая (Кадырбаев, Курманкулов, 1992). На всех этих памятниках присутствуют сравнительно небольшие округлые наземные или углубленные очаги (некоторые из них явно имели перекрытие и были печами) диаметром от 0,5 до 1,5 м. Возле некоторых из них обнаружены скопления шлака, что указывает на их использование в металлургическом производстве. Это достаточно простые и широко распространенные конструкции. Предполагается, что они использовались для переплавки металла, некоторые для тигельной плавки.

Основными конструкциями для плавки руды принято считать огромных размеров печи диаметром от 1,8 до 3 м, найденные на всех вышеперечисленных поселениях (рис. 11-31). Часть стенок имеет следы прокалов. На поселении Атасу исследовано 14 печей этого типа. Глубина этих печей колеблется от 0,6 до 1,7 м. На поселении Мыржик глубина этих сооружений составляет 2—2,9 м. Ко многим из них пристроены горизонтальные длинные дымоходы, перекрытые каменными плитами, которые в отдельных случаях идут вдоль стен, обогревая помещение. К некоторым колодцам пристроены (иногда они располагаются на расстоянии 0,3—1 м) небольшие печи, сделанные из каменных плит. Предполагается, что они служили для тигельной плавки руды. Рядом иногда располагались глиняные платформы. Не исключается, что на них производилась разливка металла.

Авторами раскопок крупные углубления были интерпретированы как металлургические печи, к которым были пристроены небольшие печи для тигельной плавки и горизонтальные дымоходы. Этот вывод был обусловлен тем, что возле этих конструкций были обнаружены металлургические шлаки, капли меди и кальцинированные кости (использовавшиеся, вероятно, в качестве флюсов), и в ряде случаев стенки этих углублений были обожжены. Однако с такой интерпретацией данных сооружений согласиться трудно. Наш опыт работы с подобными конструкциями на поселении Синташта (где было достаточно четко доказано, что это были колодцы) показал, что в условиях, когда материковые стенки оплыли и затекли внутрь, установить реальные очертания и глубину является порой очень сложной задачей. На Атасу эта задача осложнялась, к тому же, очень высоким уровнем грунтовых вод. Поэтому данные углубления были пройдены на малую глубину. В результате, их истинная глубина реконструировалась исходя из идеи, что исследователи имеют дело с металлургическими печами. Необходимо также помнить о том, что к моменту раскопок на Атасу в Северной Евразии были исследованы лишь единичные металлургические печи эпохи бронзы, и в большинстве случаев их фиксация и идентификация были очень неуверенными. Представления о ходе древних металлургических операций, фактически, отсутствовали. Поэтому исследователям попросту не на что было опереться.

По аналогии с синташтинской ситуацией можно достаточно уверенно утверждать, что мы имеем дело с колодцами. Эти колодцы могли иметь диаметр в верхней части около 1,5—2 м и диаметр в нижней части чуть более 1 м. Обжиг стенок мог быть преднамеренный, для их укрепления. Но в случае подмыва нижней части стенок происходит их оседание, в результате чего под пристроенной печью опускается и выглядит

¹ То, что они для колодцев неглубоки, тоже не может вызывать удивления. Почти все синташтинские колодцы забиты материковой глиной. Когда мы начинали их копать, то очень долго приходилось привыкать к этой мысли и прокапывать то, что казалось материком на глубину нескольких штыков.

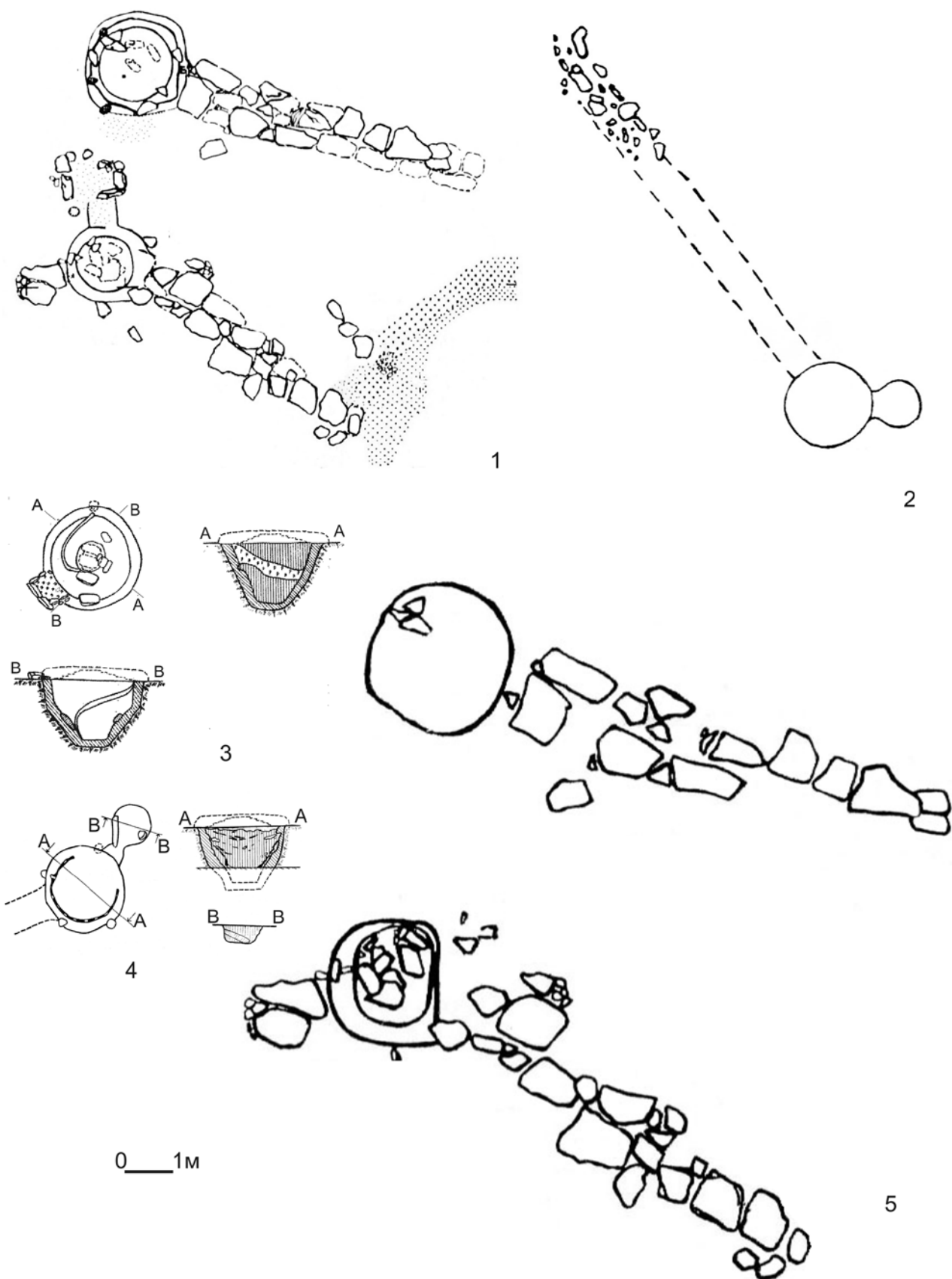


Рис. 11-31. Печи поселения Атасу. 1 — печи № 7, 8; 2 — медеплавильный комплекс № 2; 3 — печь № 5; 4 — печь № 12; 5 — медеплавильный комплекс № 5 (по Кадырбаев, Курманкулов, 1992)

как прокаленная стенка колодца. С подобной ситуацией мы столкнулись на поселении Мочище.

Использование этих сооружений в качестве огневых камер не позволило бы достигнуть значительных температур и даже поддерживать огонь. Исследованные небольшие отверстия, расположенные по краям и стенкам отдельных сооружений, и интерпретированные в качестве воздуходувных каналов, для этого были явно недостаточны. Экспериментальные исследования Бамбергера показали, что для создания необходимой при металлургических операциях температуры необходим маленький диаметр печи (20—40 см) и одновременное использование 6 воздуходувных сопел (Bamberger, 1992, p. 152, 157). Наши исследования (см. главу по экспериментальным работам) позволяют утверждать, что это слишком преувеличенная оценка, в особенности для печей, пристроенных к колодцам. Тем не менее, столь значительные объемы печей, как это реконструируется на Атасу, являются совершенно нереальными. К тому же, предполагаемые воздуходувные каналы (1—3 на каждую печь при незначительном диаметре около 10 см) были бы недостаточны даже для меньших сооружений. Подобные конструкции на поселении Мыржик (и тоже интерпретированные как огневые камеры!) достигали в глубину 2—3 м.

Поэтому более правомерно рассматривать исследованные сооружения в рамках той реконструкции, которая предложена нами для синташтинских печей. Так называемые огневые камеры являлись колодцами, используемыми для создания дополнительной тяги в пристроенных к ним металлургических печах. Расположенные рядом со многими колодцами прямоугольные или округлые сооружения из вертикальных плит, интерпретированные как печи для тигельной плавки, и есть основные металлургические печи. Иногда они могли фиксироваться как скопление каменных плит возле колодца. В общей сложности, на поселениях обнаружено 11 подобных конструкций. Размеры их колеблются от 0,6 до 1,5 м.

Кроме того, есть сооружения, не связанные с колодцами, что тоже повторяет синташтинскую ситуацию. Это очаг диаметром 1 м на поселении Ак-Мустафа, углубление диаметром 0,48 м, глубиной 0,2 м в помещении 1 поселения Атасу и очаг в помещении 2 поселения Атасу. Последний имел диаметр 1,5 м, что фиксируется по распространению прокала (маркирующего, вероятно, развал сооружения), но в нем зафиксированы остатки округлой глиняной очажной конструкции диаметром 0,5 м и высотой 0,3 м.

Наконец третий тип металлургических сооружений на Атасу, это двухкамерные восьмеркообразные или овальные печи, зафиксированные в помещениях 1 и 2. Их размеры укладываются в пределы 0,6×0,4 — 1,7×1,2 м. Предполагается, что они использовались для переплавки меди, что подтверждается обнаруженными в заполнении одного из таких сооружений каплями окисленного металла. Не исключено, что это действительно так, хотя твердых данных для этого все же нет. Аналогичные конструкции были исследованы на петровском поселении Семиозерки II.

Таким образом, ведущим типом металлургических печей на атасуских памятниках были прямоугольные или квадратные сооружения, пристроенные к колодцам. Как правило, они несколько крупнее синташтинских, поэтому не исключено, что загрузка этих печей была несколько выше. Но имеются и небольшие печи, не соединенные с колодцами, что тоже повторяет синташтинскую ситуацию. Наконец, есть незначительное количество вытянутых печей, известных на петровских памятниках. Таким образом, атасуские тепло-технические сооружения являются прямыми наследниками синташтинско-петровской металлургии, при этом, в настоящее время, учитывая малый объем материала по петровским сооружениям, можно осторожно ставить вопрос о том, что синташтинская металлургия играла более важную роль в становлении атасуской, чем петровская.

На саргаринско-алексеевских поселениях этого региона (Энтузиаст II, Икпень I) типичны очаги открытого типа. Мы можем предполагать, что какие-то из них были

перекрыты и являлись печами, но строгих данных об их связи с металлургическим производством нет. На поселении Энтузиаст II исследован овальный очаг размером 2,2×1,1 и глубиной 0,3 м со стенками, выложенными камнем. Исследована и печь, состоящая из пристроенных вытянутых камер (Ткачев, 2002, с. 129, 130). Но конструкция ее не совсем понятна. Не исключено, что ее зафиксированная форма есть результат перестроек. Более ясна конструкция печи на поселении Икпень I (Ткачев, 2002, с. 36). Это углубленная округлая купольная печь диаметром чуть более 1 м, от которой отходит обложенный и перекрытый каменными плитами дымоход, завершающийся на севере кольцом из каменной кладки, закреплявшей, вероятно, вертикальное колено из более легкого материала (рис. 11-32). Это типичная конструкция для синташтинских памятников.

Конструкция типа горна обнаружена на поселении Рублево VI на Алтае (Панин и др., 2006, с. 108). Там же, на саргаринском поселении Новошуйбинское, была исследована металлургическая печь шахтного типа, близкая обсуждаемым выше атасуским печам (Ситников, 2006, с. 150). Скорее всего, в данном случае речь тоже идет не о шахтной печи, а колодце с пристроенной к нему печью.

Поэтому саргаринские теплотехнические сооружения, видимо, наследуют алакульскую традицию, восходящую, в свою очередь, к синташтинской.

Сведения о федоровских теплотехнических сооружениях более чем скудны. На поселении Усть-Кенетай выявлены либо округлые сооружения диаметром 0,7 м (что является достаточно универсальной конструкцией во многих культурах), либо вытянутые углубленные прямоугольные конструкции размером 2,2×0,5 м (Евдокимов, 1982).

Таким образом, повсеместно в этом регионе, и вплоть до эпохи финальной бронзы, печи продолжают те традиции, которые сформировались в синташтинское время. Теплотех-

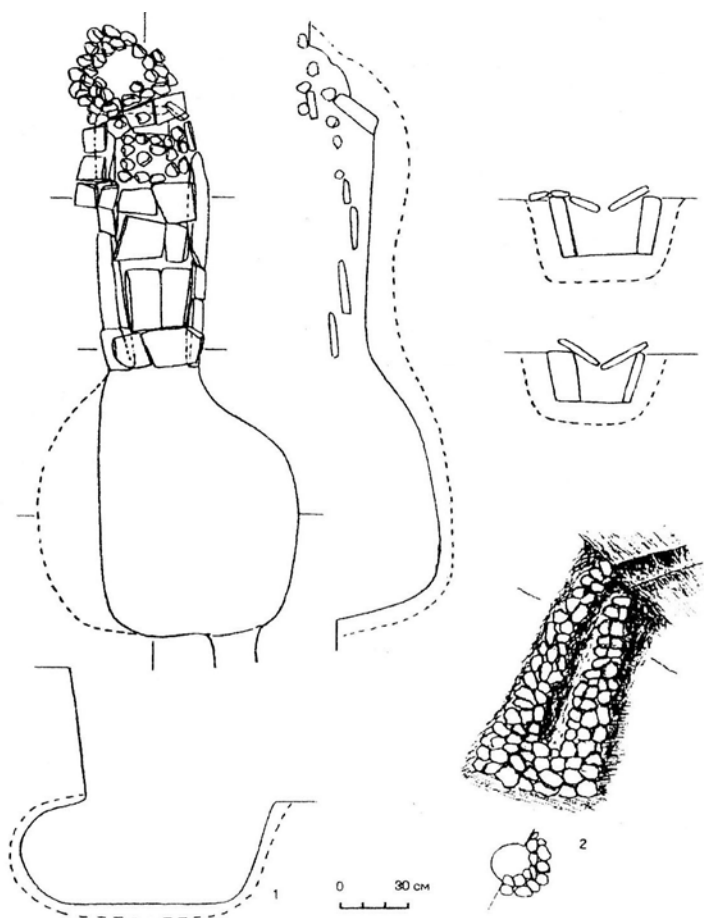


Рис. 11-32. Печь на поселении Икпень I (по Ткачев, 2002)

нические сооружения представлены простыми округлыми печами и очагами, вытянутыми канавообразными печами, печами, пристроенными к колодцам различной формы. Очень часто используются горизонтальные дымоходы. Есть и более простые конструкции, которые могут наследовать синташтинскую традицию, но могут и быть независимы от нее.

Руда и шлаки

Описание образцов

Для столь обширных пространств выборка материала по поздней бронзе оказалась незначительна. Эта незначительность усугубляется еще и тем, что многие памятники эпохи бронзы многослойные, и в них возможно перемещение шлака. Сам же шлак не несет резко выраженных культурных отличий. Поэтому при анализе материала четкую культурную дефиницию получали лишь те образцы, в принадлежности которых существовала уверенность. Остальные рассматривались как андроновские (если на поселении отмечены лишь алакульские и федоровские материалы) или позднебронзовые (если к ним добавлялись материалы финальной бронзы).

В Зауралье материалов алакульской культуры оказалось немного. Это фрагмент ошлакованной руды с поселения Берсуат XVIII на одноименной речке (№ 165) и два образца шлака с поселения Убаган II в Притоболье. Первый (№ 82) представлен бесформенным тяжелым куском шлака с мелкими включениями меди, второй образец (№ 76) — обломком тонкой, небольшой, плотной и тяжелой шлаковой лепешки с включениями меди по краю. Внешне она похожа на синташтинские. Поселение Берсуат XVIII исследовалось Здановичем Г.Б. и Хабдуллиной М.К. (Малютина и др., 2006), поселение Убаган II Т. М. Потемкиной (1985).

Чуть больше образцов происходит из самой южной части Зауралья, с поселений Домбаровского района Оренбургской области, где находятся Еленовский и Уш-Каттинский рудники эпохи бронзы. Это три тяжелых бесформенных куска шлака с поселения Шандаша. С поселения Купухта в исследование включено четыре образца: обломок плохо оформленной крупной шлаковой лепешки (№ 1846), небольшой обломок очень плотного шлака, чью первоначальную форму определить трудно, так как шлак был расколот в древности (№ 2021), овальный (4 см длиной) кусок тяжелого бесформенного шлака с оплавленными поверхностями (№ 2022) и небольшой обломок легкого пористого шлака, возможно, керамзита (№ 2023). Из коллекции поселения Байту исследовано четыре образца руды (№ 2028—2031) и три шлака. Это обломок плотного шлака черного цвета (№ 2024), поверхности имеют стеклянный блеск. Одна неповрежденная поверхность гладкая, без пор. Первоначальная форма не ясна. Второй образец (№ 2025) — небольшой обломок тонкой (до 5 мм) черной стекловидной шлаковой пластины с гладкими поверхностями. Последний образец (№ 2026) представлен небольшим обломком плотного бесформенного тяжелого шлака. В целом, это алакульские поселения, хотя там присутствует и кожумбердынская керамика, отражающая контакты с федоровскими популяциями.

В общей сложности, по зауральским алакульским памятникам сделано всего лишь 16 минералогических анализов под микроскопом.

Из центральноказахстанских поселений алакульский (атасуский) материал исследован только с трех. Проанализировано два образца шлака поселения Ак-Мустафа: один из них (№ 53) легкий, пористый, бесформенный шлак рыжего цвета; второй (№ 25) — тонкий крупнопористый обломок с гладкой поверхностью. С поселения Атасу проанализирован кусок спекшейся шихты и четыре образца рыхлого тяжелого бесформенного шлака. Наконец, с поселения Мыржик к исследованию привлечено два обломка шлаковых лепешек темно-серого цвета, с бугристой поверхностью и мелкими редкими порами; и один образец руды. Всего сделано 9 минералогических анализов, 8 спектральных, 2 рентгеноструктурных, 6 химических и 7 анализов на микрозонде.

Таким образом, вся алакульская выборка ограничена лишь 25 минералогическими анализами.

С федоровскими шлаками дело обстоит не лучшим образом. Исследован один кусок бесформенного шлака (№ 218) с поселения Грауртлы (раскопки С. Г. Боталова) в Зауралье и два образца бесформенного шлака с поселения Павловка в Северном Казахстане (раскопки Т. С. Малютиной). Самая крупная коллекция происходит с центральноказахстанского поселения Усть-Кенетай, откуда исследовано 19 образцов шлака: пять из них (№ 228, 229, 233—235) — тяжелые бесформенные куски шлака, остальные (№ 230—232, 236—246) — более легкий, бесформенный, пористый шлак. На этом поселении (Евдокимов, 1982) присутствует и материал финальной бронзы, но шлак связан с федоровским (нуринским) слоем. С поселения Икпень I (Ткачев, 2002) проанализировано 5 небольших кусочков шлака (№ 672—676). С поселения Ильяска в Южном Зауралье сделан спектральный анализ 21-го образца руды (№ 1240—1252) и 28-ми крупных бесформенных кусков шлака (№ 1253—1279) и 7 минералогических анализов (№ 2217—2222) (рис. 11-33). Эти остатки связаны, вероятно, с федоровско-черкаскульским комплексом поселения. Два образца (№ 2231, 2232) происходят с поселения Ново-Байрамгуловское (раскопки Я. В. Рафиковой), где представлены различные культуры ПБВ, но шлак, датируется, вероятно, межовским временем. Большая коллекция шлака изучена с упомянутого выше поселения Архангельский Прииск II того же времени. Это 17 кусков шлака на обмазке, 16 керамзитовых шлаков, 19 плотных бесформенных тяжелых шлаков, несколько шлаков неопределенного типа, а также большое количество ошлаковок тиглей. В общей сложности было сделано 58 минералогических анализов под микроскопом, 99 спектральных и 7 химических.

Эти скудные материалы дополняются материалами зауральских памятников, которые условно можно назвать андроновскими, где присутствует алакульский и федоровский материал. В первую очередь это плоская плотная шлаковая лепешка (№ 32) с раскопанного К. В. Сальниковым (1957) поселения Кипель: с утолщенным краем, близкая по форме синташтинским шлакам. Один образец руды и один бесформенного охристого

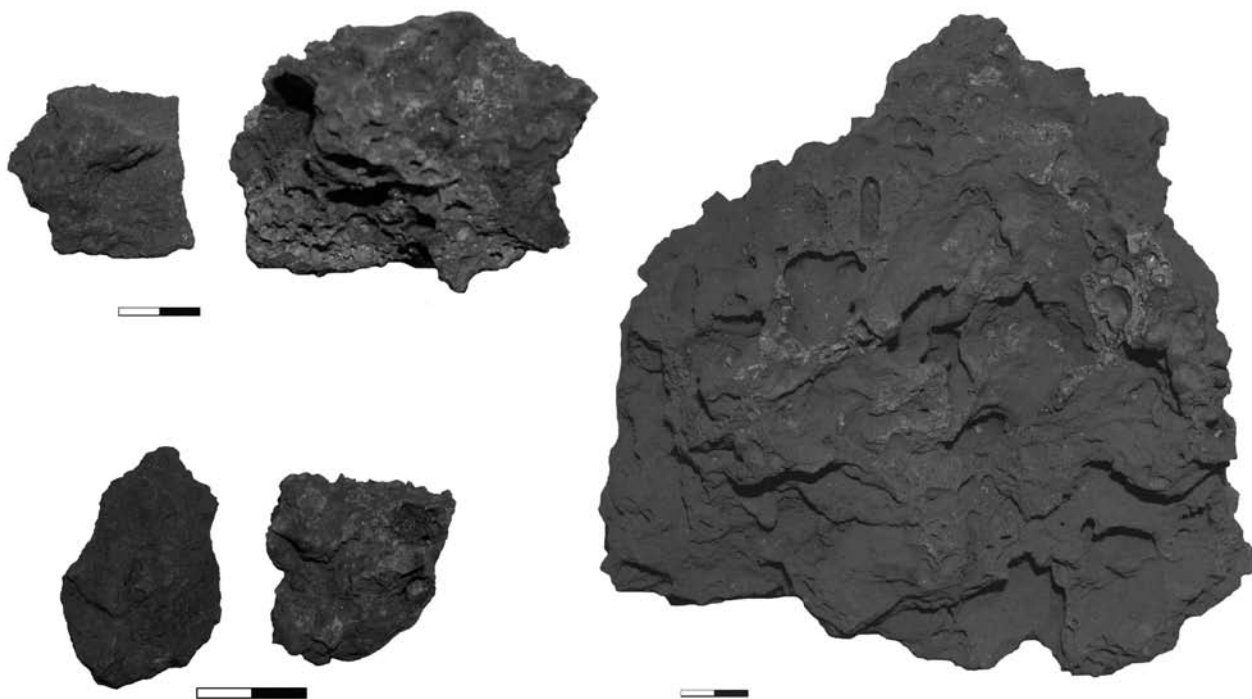


Рис. 11-33. Шлак с поселения Ильяска

шлака (№ 81) происходит с поселения Язево III, где большая часть керамики представлена посудой алакульской культуры, но присутствует также федоровская и черкакульская керамика (Потемкина, 1985). Несколько образцов проанализировано с поселения Коркино, где имеется два слоя — алакульский и черкакульский (Чемякин, 1976, 1978). Это кусок ошлакованной породы (№ 269), тонкая шлаковая лепешка (№ 815), кусок бесформенного плотного шлака (№ 268) и несколько кусков бесформенного пористого шлака, похожего на керамзитовый (№ 270, 816, 818, 820). Наиболее вероятно отнесение шлака этих поселений к алакульскому времени, но уверенно об этом судить невозможно. Наконец, с центральноказахстанского поселения Ак-Мая (Кадырбаев, Курманкулов, 1992, с. 66, 67) проанализировано два образца: первый (№ 265) представлен уплощенным обломком плотного тяжелого шлака черного цвета с включениями кварца, второй (№ 266) — небольшим обломком бесформенного шлака. Шлак этой группы памятников проанализирован 11 минералогическими анализами и 10 спектральными.

В результате общая андроновская серия составила 95 минералогических анализов под микроскопом, что позволяет, хотя бы, наметить некоторые тенденции развития производства.

Самой незначительной оказалась выборка по финальной бронзе. Редкие образцы происходят из Центрального Казахстана. Это крупный кусок, состоящий из частиц кварца в шлаке (№ 219) с поселения Кафарка саргаринской культуры (раскопки В. В. Варфоломеева в 1986 г.). С поселения Кент происходит кусок тяжелого пористого шлака серого цвета (№ 757) с одной плоской поверхностью и второй бугристой, причем на обеих поверхностях фиксируются поры. Это поселение раскапывалось тем же автором и относится к донгальскому типу, завершающему эпоху бронзы в Центральном Казахстане. На поселении Саргары (раскопки С. Я. Зданович) обнаружена крупная рыхлая и пористая шлаковая лепешка (№ 44). Наконец, на поселении Тельмана XVI обнаружен пористый тяжелый обломок шлаковой лепешки (№ 49).

Выборка с алтайских памятников тоже незначительна. Это образцы поселения Бурла-3, где наряду с валиковой керамикой присутствует бегазинская и гончарная. Поселение датируется, вероятно, финалом II тыс. до н. э. Раскапывалось оно В. С. Удодовым (1991, 1994). В проанализированной коллекции есть ошлакованный кусочек меди (№ 782), ошлакованная керамика желто-зеленого цвета, возможно, вмазка у сопла (№ 783) и кусок азурита (№ 1114). Три образца окисленной руды, азурита и малахита (№ 1115—1117) происходят с аналогичного поселения Кайгородка-3, раскопанного тем же автором. На поселении Калиновка II (раскопки Г. Е. Иванова, 1987—1988 г.) выявлены черкакульские, саргаринские и донгальские материалы (Федорук, 2008, с. 204, 205). На мой взгляд, определять алтайские материалы как черкакульские не вполне оправданно. Однако они безусловно относятся к интересующей нас традиции производства ЕАМП. Образцы с поселения (№ 793—795) представлены бесформенными комочками оплавленного, пористого внутри шлака. Наконец, с поселения Черная Курья VI для анализа взято 9 образцов окисленной руды (№ 1118—1126). Поселение раскапывалось в 1982 г. Г. Е. Ивановым, относится оно к самому финалу бронзового века.

Таким образом, всего с памятников эпохи финальной бронзы сделано 6 минералогических анализов и 16 спектральных.

Наконец, некоторое количество образцов возможно датировать лишь эпохой поздней бронзы в целом. Это образец с поселения Атамановка V в Южном Зауралье (№ 706), который является куском руды, подверженным небольшой термической обработке. На поселении выявлена срубно-алакульская, федоровско-черкакульская керамика и керамика периода финальной бронзы. Небольшие образцы шлака и руды происходят с поселений Николаевка (шлак № 31) и Новобурино (руда № 30). На последнем поселении выявлена алакульская и межовская керамика. Два куска окисленной руды найдены на поселении

Малоокуневское (№ 71, 72). С поселения Камышное II, где обнаружены петровская, черкаскульская, межовская и саргаринская керамика и встречены фрагменты федоровской посуды (Потемкина, 1985, с. 76—103), происходит один образец бесформенного уплощенного шлака с включениями охры и меди (№ 70) и один образец обожженной руды (№ 80). На поселении Новоникольское в Северном Казахстане обнаружена крупная шлаковая лепешка темного цвета с мелкими порами, похожая на синташтинские (№ 46). Там же найден небольшой кусок медной руды (№ 11). Кусок окисленной руды найден на поселении Куропаткино в Северном Казахстане (№ 41).

Из горного центра Кара-Тюбе в Центральном Казахстане происходит обломок бесформенного шлака (№ 267). В районе горного центра Степняк в том же регионе найдена тонкая уплощенная, бесформенная шлаковая лепешка с включениями кварца. Небольшие пробы шлака взяты из центральноказахстанского горного центра Алтын-Тюбе (№ 250, 251), два мелких обломка уплощенного бесформенного шлака с поселения Акимбек в Центральном Казахстане.

С оловорудного рудника Восточные Коинды в юго-восточном Казахстане, на котором обнаружена керамика ПБВ, исследовано семь образцов шлака: два из них (№ 1006, 1007) — бесформенные, легкие, пористые шлаки; остальные (№ 1001—1005) более тяжелый бесформенный шлак. Из района Чистый Яр на Иртыше происходит два образца: один (№ 315) представлен куском пористого неровного шлака с одной гладкой поверхностью; второй (№ 316) является обломком плотного края шлаковой лепешки, толщиной чуть более 1 см, по форме похожей на синташтинские.

Таким образом, шлаки и руды этой группы памятников проанализированы 17 минералогическими анализами и 8 спектральными.

В целом же проанализированная база для ПБВ от Урала до Алтая — 109 минералогических анализов, 141 спектральный, 2 рентгеноструктурных, 13 химических и 7 анализов на микрозонде.

В дополнение к этому сделано 166 спектральных анализов руды с казахстанских рудников Южное Булаттау, Ефимовское, Айдыгарлинское, Кенказган, Талапты, Верхнее Умгурлю, Восточный Курдай, Чатыркуль, Алтын-Тюбе (таб. 11-34).

Форма шлака

При сопоставлении формы шлака разных культурных групп периода поздней бронзы (таб. 11-35) обращает на себя внимание то, что плоские шлаковые лепешки, типичные для синташтинской коллекции, здесь заметно присутствуют (28,6%) лишь на алакульских и саргаринских памятниках. Вероятно, их присутствие в алакульско-федоровских поселениях (Кипель и Коркино) может объясняться тем, что они относятся к алакульскому времени. Но доминируют в алакульской и саргаринской коллекции (52,4 и 71,4%), все же, тяжелые бесформенные шлаки, что объясняется более кислым и вязким составом рудовмещающих пород этого периода. Для федоровско-межовской коллекции характерны тяжелые бесформенные шлаки (54,6%), а более легкие идут на втором месте. Эти различия указывают на существование определенной сырьевой и технологической разницы между алакульской и федоровской металлургией, а также на близость алакульской и саргаринской металлургии.

Однако эти различия могут объясняться и имевшейся в наличии рудной базой. При сравнении форм шлака по регионам мы видим присутствие менее вязкого шлака (шлаковых лепешек и уплощенного шлака) в Казахстане и, в меньшей степени, в Зауралье. Для Восточного Казахстана и Алтая этот шлак менее характерен (таб. 11-36). Но, как мы помним из описания рудной базы региона, руда в кварцевых породах была в равной степени характерна и для Центрального Казахстана и для Алтая. Во втором регионе не существовала алакульская культура. Поэтому вероятно, речь идет о различии культурных традиций.

Спектральный анализ руды казахстанских месторождений (%)

Рудник	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg	
Южное Булағаш	890	0.001	<0.0003	0.0015	0.015	<0.001	0.1	<0.0005	<0.0003	>1	nd	0.15	0.0007	1	0.0015	<0.001	0.03	0.1	<0.01	0.05	<0.001	0.01	0.05	0.01	0.001	>0.03	>0.03	<0.01	0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	891	0.0015	<0.0003	0.0015	0.01	0.007	0.2	0.0005	0.0005	1	0.1	>1	0.00015	1	<0.003	<0.001	0.005	0.03	0.015	0.05	<0.001	0.007	>0.1	0.07	0.003	>0.03	>0.03	<0.01	0.03	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	892	0.0015	<0.0003	0.0015	0.03	0.01	0.1	<0.0005	0.0005	>>1	nd	>1	0.00007	>>1	<0.003	<0.001	0.03	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.15	>0.1	0.02	0.002	>0.1	>0.03	>0.03	<0.01	<0.001		
Южное Булағаш	893	0.0015	<0.0003	0.0015	0.03	0.01	0.2	0.001	0.0005	>>1	nd	1	0.00007	>>1	0.003	<0.001	0.05	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.3	>0.3	0.03	0.015	0.0015	>0.03	>0.03	<0.01	<0.001		
Южное Булағаш	894	0.0015	<0.0003	0.003	0.03	0.05	0.07	0.0005	0.0003	>>1	nd	1	0.00007	>>1	0.0015	<0.001	0.05	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.03	0.003	0.015	0.0015	>0.03	>0.03	<0.01	0.005	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	895	0.0015	<0.0003	0.005	0.03	0.07	0.15	0.0005	<0.0003	1	nd	>1	0.00007	1	<0.003	<0.001	0.02	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.03	0.003	0.015	0.0015	>0.03	>0.03	<0.01	0.005	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	896	0.0015	<0.0003	0.005	0.03	0.07	0.15	<0.0005	<0.0003	>>1	nd	>1	0.00007	>>1	0.0015	<0.001	0.05	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.3	>0.1	0.15	0.01	>0.03	>0.03	<0.01	0.03	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	897	0.001	<0.0003	0.0015	0.02	0.01	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	nd	>1	0.00003	>>1	<0.003	<0.001	>>0.05	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.01	0.01	0.15	0.007	>0.03	>0.03	<0.01	0.01	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	898	0.0015	<0.0003	0.003	0.03	0.01	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	nd	1	0.00007	>>1	<0.003	<0.001	0.05	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.07	0.02	0.15	0.005	>0.03	>0.03	<0.01	0.015	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	899	0.0015	<0.0003	0.0015	0.02	0.007	0.1	<0.0005	<0.0003	1	nd	1	0.0001	>1	<0.003	<0.001	0.03	>0.1	<0.01	0.1	<0.001	0.007	0.002	0.15	0.005	>0.03	>0.03	<0.01	0.015	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	907	0.01	<0.0003	0.005	0.015	0.005	0.07	0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.0015	0.00007	0.0005	<0.003	<0.001	>>0.05	0.0003	<0.01	<0.001	0.005	0.00015	nd	0.0005	0.0015	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	908	0.002	<0.0003	0.005	0.015	0.015	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.003	0.00007	0.0005	<0.003	<0.001	0.015	0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.0002	nd	0.0005	0.0015	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001
Айдырлыңское	909	0.0015	<0.0003	0.01	0.015	0.015	0.2	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.002	0.00007	0.0005	<0.003	<0.001	0.01	<0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	0.003	0.0002	nd	0.0015	0.0015	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001
Айдырлыңское	910	0.0015	<0.0003	0.007	0.03	0.001	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.007	0.00003	0.015	<0.001	<0.001	0.005	<0.0001	0.01	<0.001	<0.001	0.005	0.0002	nd	0.001	0.0015	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001
Айдырлыңское	911	0.0015	<0.0003	0.015	0.015	0.003	0.2	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.002	0.00005	0.0005	<0.003	<0.001	0.015	<0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	0.007	0.00015	nd	0.0015	0.002	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	912	0.005	0.003	0.005	0.05	0.001	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.0015	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	0.03	0.0002	<0.01	<0.01	<0.001	0.005	0.00015	nd	0.001	0.001	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	913	0.002	<0.0003	0.007	0.015	0.005	0.2	<0.0005	0.00015	>>1	0.005	0.0015	0.00015	0.00015	<0.003	<0.001	>0.05	0.0007	<0.01	<0.01	<0.001	0.005	0.00015	nd	0.001	0.002	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	914	0.005	0.002	0.01	0.015	0.01	0.2	<0.0005	<0.0003	1	0.005	0.0007	0.00002	0.0005	<0.003	<0.001	0.03	0.0005	<0.01	<0.01	<0.001	0.007	0.00015	nd	0.001	0.002	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	915	0.002	0.001	0.01	0.015	0.007	0.2	<0.0005	0.00015	>>1	0.003	0.0015	0.00007	0.0005	<0.003	<0.001	0.05	0.0007	<0.01	<0.01	<0.001	0.007	0.00015	nd	0.001	0.002	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	916	0.0015	0.0015	0.002	0.015	0.0015	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.005	0.0007	0.00007	0.0005	<0.003	<0.001	0.005	0.0005	<0.01	<0.01	<0.001	0.001	0.00015	nd	0.0015	0.002	0.0001	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	917	0.003	0.0015	0.005	0.015	0.003	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.003	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	>>0.05	0.0003	<0.01	<0.01	<0.001	0.015	0.00015	nd	0.001	0.001	0.0001	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	918	0.003	0.0015	0.015	0.015	0.007	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	0.005	0.002	0.00007	0.0005	<0.0015	<0.001	>>0.05	0.0002	<0.01	<0.01	<0.001	0.0015	0.00015	nd	0.0015	0.0015	0.0001	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	919	0.002	0.0015	0.002	0.03	0.015	0.07	<0.0005	0.00015	>>1	0.005	0.0007	0.00005	0.0005	0.0015	<0.001	0.001	0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	0.007	0.00015	nd	0.0015	0.002	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Айдырлыңское	920	0.0015	<0.0003	0.01	0.01	0.003	0.1	<0.0005	0.00015	>>1	0.005	0.002	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	0.015	<0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	0.005	0.0003	nd	0.0015	0.002	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	927	0.0015	<0.0003	0.001	0.005	<0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	>1	0.15	>>1	0.0015	>>1	0.007	<0.001	>>0.05	0.1	0.03	0.02	<0.001	0.03	0.0003	nd	0.003	0.002	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001
Южное Булағаш	928	0.001	<0.0003	0.001	0.01	<0.001	0.15	<0.0005	<0.0003	>1	0.3	>>1	0.0015	>>1	0.007	<0.001	>>0.05	0.07	0.01	<0.001	<0.001	0.005	0.0007	nd	0.001	0.015	0.001	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.001	<0.001
Южное Булағаш	929	0.001	<0.0003	0.001	0.01	<0.001	0.1	<0.0005	<0.0003	>1	0.5	>>1	0.0015	>>1	0.0015	>>1	0.001	>>0.05	0.15	0.07	0.015	<0.001	0.05	0.0015	nd	<0.0005	0.005	0.0002	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001
Южное Булағаш	930	0.001	<0.0003	0.001	0.01	0.0015	0.07	<0.0005	<0.0003	>1	2	>>1	0.001	>>1	0.01	<0.001	>>0.05	0.5	0.03	0.015	<0.001	0.015	0.001	nd	0.0005	0.005	0.0002	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	931	0.001	<0.0003	0.001	0.001	<0.001	0.1	<0.0005	<0.0003	>1	0.5	>>1	0.001	>>1	0.03	<0.001	>>0.05	0.2	0.03	0.02	<0.001	0.005	0.001	nd	0.0005	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	932	0.001	<0.0003	0.001	0.005	<0.001	0.1	<0.0005	<0.0003	>1	0.5	>>1	0.0005	>>1	0.005	<0.001	>>0.05	0.1	0.03	0.01	<0.001	0.02	0.0003	nd	0.007	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	938	0.001	<0.0003	0.007	0.01	<0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	>1	0.15	1	0.003	1	<0.003	<0.001	>>0.05	0.05	0.01	<0.001	<0.001	0.02	0.0003	nd	0.002	>0.03	>0.03	<0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	939	0.001	<0.0003	0.005	0.03	<0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.3	>1	0.0007	0.1	>0.003	>0.01	>>0.05	0.005	0.015	<0.001	<0.001	0.01	0.0002	nd	<0.0005	0.015	0.001	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.001	<0.001
Южное Булағаш	940	0.001	<0.0003	0.005	0.015	<0.001	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.007	0.1	0.0003	0.7	<0.003	<0.001	0.05	0.002	0.02	<0.01	<0.001	0.01	0.0002	nd	<0.0005	0.003	0.00015	>0.01	<0.003	<0.01	<0.001	
Южное Булағаш	941	0.0005	<0.0003	0.0015	0.005	0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	>1	0.05	1	0.0015	2	<0.003	<0.001	>0.05	0.0005	<0.01	<0.01	<0.001	0.015	0.0002	nd	0.001	0.015	0.001	>0.0001	>0.0001	<0.01	<0.001	<0.001
Южное Булағаш	942	0.0005	<0.0003	0.005	0.015	0.0015	0.05	<0.0005	<0.0003	>1	0.15	0.7	0.0002	0.5	<0.003	<0.001	0.03	0.00015	<0.01	<0.01	<0.001	0.1	0.0003	nd	<0.0005	0.015	0.0015	>0.0001	>0.0001	<0.01		

Рудник	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg
Кенкаган	969	0.002	<0.0003	0.007	0.07	0.007	0.3	0.001	>0.003	0.07	>0.003	0.01	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.015	<0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.0007	0.007	0.0005	0.001	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Кенкаган	970	0.003	0.0015	0.007	0.3	0.01	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.2	0.007	0.00007	0.05	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.0007	0.05	<0.01	<0.001	0.0003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Кенкаган	971	0.003	0.01	0.007	0.5	0.007	0.15	0.001	<0.0003	>>1	0.15	0.015	0.001	0.15	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.05	<0.01	<0.001	0.001	0.002	0.007	0.0005	0.002	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Кенкаган	972	0.007	0.0015	0.007	0.1	0.005	0.1	0.001	<0.0003	>>1	0.2	0.007	0.0003	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.05	<0.01	<0.001	0.0003	0.001	nd	0.0005	0.0015	0.0001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Кенкаган	973	0.002	<0.0003	0.007	0.1	<0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.07	0.005	>0.003	0.05	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	0.01	0.02	<0.01	<0.001	0.0007	0.001	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Кенкаган	974	0.003	<0.0003	0.007	0.1	0.01	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.15	0.01	0.00015	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.00015	0.0015	<0.01	<0.001	0.0005	0.002	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Кенкаган	975	0.003	0.007	0.007	0.7	0.005	0.15	0.001	<0.0003	>>1	0.5	0.02	0.00007	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.003	nd	0.0005	0.0015	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Кенкаган	976	0.002	<0.0003	0.005	0.07	0.0015	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.15	0.015	0.00003	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.005	<0.01	<0.001	<0.0005	0.003	nd	0.0005	0.0015	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Кенкаган	977	0.002	<0.0003	0.005	0.07	0.0015	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.02	0.007	0.003	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.005	<0.01	<0.001	<0.0005	0.001	nd	0.001	0.0015	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Кенкаган	978	0.003	0.0015	0.003	0.3	0.0015	0.15	0.001	<0.0003	>>1	0.03	0.01	0.00005	0.03	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.03	<0.01	<0.001	<0.0005	0.001	nd	0.0005	0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	984	0.002	0.0015	0.007	0.05	0.003	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	0.01	0.007	0.003	0.015	<0.003	<0.001	0.05	0.0001	0.01	<0.01	<0.001	0.0007	0.0005	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	985	0.005	<0.0003	0.001	0.005	<0.001	0.005	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.0015	0.0015	<0.001	<0.003	<0.001	0.003	0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	986	0.007	<0.0003	0.002	0.005	<0.001	0.005	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.0005	0.00015	<0.01	<0.003	<0.001	0.003	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	987	0.001	<0.0003	0.007	0.02	0.005	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.007	0.005	0.0007	<0.01	<0.003	<0.001	0.02	0.0001	<0.01	<0.01	<0.001	0.0003	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	988	0.007	<0.0003	0.003	0.005	0.003	0.015	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.0007	0.0005	<0.01	<0.003	<0.001	0.003	<0.0001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	989	0.007	<0.0003	0.005	0.03	0.005	0.05	0.0005	<0.0003	>>1	0.017	0.003	0.003	0.003	<0.003	<0.001	0.05	<0.0001	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	990	0.007	<0.0003	0.005	0.03	<0.001	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.015	0.01	0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.05	0.0001	0.015	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	991	0.001	<0.0003	0.003	0.005	0.02	<0.001	<0.0005	<0.0003	>>1	0.007	0.003	0.0007	0.0007	<0.003	<0.001	0.02	<0.0001	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	992	0.0005	<0.0003	0.005	0.005	0.005	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.007	0.007	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.007	0.0002	0.01	0.015	<0.001	0.0003	0.00005	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	993	0.001	<0.0003	0.007	0.05	0.005	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.007	0.007	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.007	0.0002	0.01	0.015	<0.001	0.0003	0.00005	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	994	0.001	<0.0003	0.005	0.03	0.005	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.01	0.005	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.03	0.0002	0.02	<0.01	<0.001	0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	995	0.007	<0.0003	0.007	0.02	0.003	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.007	0.007	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.03	0.0001	0.015	0.015	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	996	0.001	<0.0003	0.005	0.015	<0.001	0.03	0.0005	<0.0003	>>1	0.01	0.0007	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.01	0.0001	<0.01	0.02	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	997	0.003	<0.0003	0.007	0.03	<0.001	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.003	0.005	0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.02	<0.0001	0.01	0.02	<0.001	0.0007	0.00003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	998	0.001	<0.0003	0.002	0.005	<0.001	0.01	<0.0005	<0.0003	>>1	0.005	0.002	0.007	0.005	<0.003	<0.001	0.02	0.0001	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	999	0.007	<0.0003	0.005	0.03	<0.001	0.03	<0.0005	<0.0003	>>1	0.01	0.005	0.0007	0.005	<0.003	<0.001	0.03	<0.0001	0.05	0.15	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	1000	0.0015	<0.0003	0.007	0.02	0.005	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.005	0.003	0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.02	<0.0001	<0.01	<0.001	<0.001	0.0003	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	1001	0.003	<0.0003	0.007	0.05	0.005	0.07	<0.0005	<0.0003	>>1	0.01	0.0015	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	0.02	<0.0001	<0.01	<0.001	<0.001	0.0003	<0.0003	nd	0.0015	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	1002	0.002	<0.0003	0.01	0.03	0.01	0.5	<0.0005	<0.0003	>>1	0.01	0.005	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	0.03	<0.0001	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Талапты	1003	0.001	<0.0003	0.005	0.02	0.003	0.1	<0.0005	<0.0003	>>1	0.015	0.005	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.001	0.0001	<0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Верхнее Умуруло	1009	0.007	<0.0003	0.002	0.005	0.005	0.02	<0.0005	<0.0003	>>1	0.005	0.003	>0.003	0.015	0.0015	<0.001	0.0007	0.0002	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Верхнее Умуруло	1010	0.007	<0.0003	0.005	0.02	0.007	0.05	<0.0005	<0.0003	>>1	0.005	0.007	>0.003	0.015	0.0015	<0.001	0.0007	0.0002	0.01	0.01	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Верхнее Умуруло	1011	0.0015	<0.0003	0.002	0.01	0.005	0.15	<0.0005	<0.0003	>>1	0.02	0.05	0.0005	0.07	<0.003	<0.001	0.002	<0.0001	0.02	0.02	<0.001	<0.0005	0.00015	0.007	0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001
Верхнее Умуруло	1012	0.007	0.0003	0.0015	0.005	0.005	0.02	0.0005	<0.0003	1	0.005	0.01	>>0.003	0.005	<0.003	<0.001	0.0007	0.015	0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Верхнее Умуруло	1013	0.001	<0.0003	0.0015	0.01	0.003	0.1	<0.0005	<0.0003	1	0.005	0.05	0.00015	0.1	<0.003	<0.001	0.005	0.0007	0.01	0.02	<0.001	<0.0005	<0.0003	nd	0.0005	<0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	
Верхнее Умуруло	1014	0.0005	<0.0003	0.0015	0.005	0.003	0.02	0.0005	<0.0003	1	0.005	0.5																			

Окончание Таб. 11-34

Рудник	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ce	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg
Ефимовское	1043	0,007	0,005	0,01	0,15	0,003	0,15	0,001	<0,0003	>>1	0,3	0,03	0,001	0,3	0,03	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,03	0,015	<0,001	0,007	0,007	<0,0005	0,02	0,0015	<0,003	<0,01	<0,001	
Верхнее Ум-гурало	1045	0,007	0,03	0,003	0,15	0,01	0,03	<0,0005	0,00015	>>1	0,1	0,005	0,00005	0,1	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,15	0,1	0,01	0,001	0,0002	nd	0,005	0,0015	0,0015	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1046	0,007	0,02	0,015	0,15	0,015	0,7	0,001	0,00015	>1	0,2	0,005	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,15	<0,01	<0,001	0,0015	0,0005	0,02	0,003	0,005	0,0003	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1047	0,003	0,02	0,003	0,15	0,0015	0,07	<0,0005	<0,0003	>>1	0,3	0,005	<0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,005	0,03	<0,01	<0,001	0,0003	0,00007	0,005	<0,0005	0,0015	0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1048	0,003	0,05	0,005	0,3	<0,001	0,07	<0,0005	0,00015	>>1	0,15	0,02	<0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,03	0,2	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0001	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,003	<0,01	<0,001	
Восточный Курдай	1049	0,007	0,03	0,01	0,3	0,015	1	0,0015	<0,0003	>>1	0,3	0,7	<0,00003	0,01	0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,15	<0,01	<0,001	0,0003	0,0005	0,015	0,00015	0,003	0,00015	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1050	0,005	0,01	0,007	0,15	0,015	0,2	0,0005	0,00015	>>1	0,07	0,05	<0,00003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,2	0,02	0,001	0,003	0,0002	0,01	0,003	0,007	0,001	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1051	0,002	0,01	0,007	0,2	0,003	0,1	<0,0005	<0,0003	>>1	0,2	0,1	0,00005	0,03	0,01	0,001	<0,001	0,002	1	0,01	<0,001	0,0005	0,0002	nd	0,001	0,001	0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1052	0,001	<0,0003	0,001	0,005	<0,001	0,01	<0,0005	<0,0003	>1	0,07	0,015	0,00007	0,015	0,01	<0,001	<0,001	0,0015	0,2	<0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	nd	0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Восточный Курдай	1053	0,015	0,03	0,001	0,1	0,01	0,02	0,001	<0,0003	1	0,15	0,015	<0,00003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	>3	0,15	<0,001	0,001	0,001	nd	0,0015	0,015	0,0015	<0,01	<0,003	<0,01	
Восточный Курдай	1054	0,007	<0,0003	0,001	0,005	0,003	0,01	<0,0005	<0,0003	>1	0,1	0,015	<0,00003	0,03	0,005	<0,001	<0,001	0,0003	0,15	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0001	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Чатыркуль	1059	0,005	<0,0003	0,007	0,1	<0,001	0,07	<0,0005	<0,0003	>>1	0,01	0,01	0,0007	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,015	0,015	<0,01	<0,001	<0,0005	0,003	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,01	
Чатыркуль	1060	0,003	0,002	0,01	1	0,007	0,07	<0,0005	<0,0003	>>1	0,1	0,07	0,0007	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,2	<0,01	<0,001	<0,0005	0,007	nd	<0,0005	0,0015	<0,0001	<0,003	<0,01	0,001	
Чатыркуль	1061	0,001	<0,0003	0,005	0,05	0,02	0,07	<0,0005	<0,0003	>>1	0,01	0,03	0,003	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,02	<0,01	<0,001	<0,0005	0,00007	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,001	
Чатыркуль	1062	0,005	0,01	0,005	0,7	0,05	0,07	<0,0005	<0,0003	>>1	0,3	0,01	0,003	0,2	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,03	<0,01	<0,001	<0,0005	0,01	nd	<0,0005	0,002	0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Чатыркуль	1063	0,007	0,0005	0,005	0,5	0,007	0,05	0,0005	0,0003	>>1	0,15	0,01	0,002	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,03	<0,01	<0,001	<0,0005	0,001	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Чатыркуль	1064	0,005	<0,0003	0,007	0,15	0,015	0,15	0,015	<0,0003	>>1	0,1	0,1	>0,003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,05	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0002	nd	0,001	0,002	0,0001	<0,003	<0,01	0,01	
Чатыркуль	1065	0,005	0,003	0,007	0,7	0,01	0,5	0,005	<0,0003	>>1	0,03	0,007	0,002	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,07	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0007	0,02	0,005	<0,0005	<0,001	<0,003	<0,01	0,0015	
Чатыркуль	1066	0,003	<0,0003	0,007	0,15	0,005	0,07	0,002	<0,0003	>>1	0,1	0,007	>>0,003	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,05	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0002	0,005	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,01	
Чатыркуль	1067	0,015	<0,0003	0,005	0,1	0,03	0,1	0,002	<0,0003	>>1	0,2	0,03	0,003	0,07	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,02	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0002	0,005	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Чатыркуль	1068	0,005	<0,0003	0,007	0,1	0,005	0,05	0,0015	0,0007	>>1	0,15	0,015	>0,003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0002	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,03	
Чатыркуль	1069	0,005	<0,0003	0,01	0,1	0,005	0,1	0,0015	<0,0003	>>1	0,07	0,007	>>0,003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,015	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0003	nd	0,0015	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,01	
Чатыркуль	1070	0,003	<0,0003	0,007	0,5	<0,001	0,07	<0,0005	<0,0003	>>1	0,05	0,01	0,0007	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,02	<0,01	<0,001	<0,0005	0,003	nd	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,005	
Чатыркуль	1071	0,007	0,015	0,003	0,7	0,01	0,05	0,0015	<0,0003	>>1	0,15	0,02	0,0007	0,1	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,03	<0,01	<0,001	<0,0005	0,003	nd	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,001	
Чатыркуль	1072	0,001	<0,0003	0,007	0,15	<0,001	0,1	0,0015	0,0005	>>1	0,015	0,015	0,003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,03	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0002	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,002	
Чатыркуль	1073	0,003	0,001	0,007	0,3	0,01	0,15	0,0015	0,0003	>>1	0,07	0,1	>0,003	0,07	<0,003	<0,001	0,001	0,002	0,15	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0007	nd	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,001	
Чатыркуль	1074	0,005	<0,0003	0,015	0,1	0,01	0,05	0,001	<0,0003	>>1	0,15	0,005	0,003	0,02	0,0015	0,001	<0,001	0,0001	0,02	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0002	nd	<0,0005	<0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,02	
Чатыркуль	1075	0,01	<0,0003	0,007	0,15	<0,001	0,15	<0,001	0,003	>>1	0,2	0,015	>0,003	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,015	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0003	0,007	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Чатыркуль	1076	0,005	<0,0003	0,007	0,2	0,003	0,05	0,002	<0,0003	>>1	0,07	0,015	>0,003	0,02	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0005	nd	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,03	
Чатыркуль	1077	0,007	<0,0003	0,007	0,3	<0,001	0,05	0,0015	<0,0003	>>1	0,1	0,01	>0,003	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0001	0,02	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0003	nd	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	0,03	
Алтаны-Тюбе	1082	0,01	<0,0003	0,007	0,1	0,015	0,05	0,0015	<0,0003	>>1	0,03	0,005	0,00003	0,07	<0,003	<0,0005	<0,001	<0,0001	0,01	<0,001	<0,001	<0,0005	0,003	nd	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Алтаны-Тюбе	1083	0,03	<0,0003	0,007	0,07	0,0015	0,07	0,0015	<0,0003	>>1	0,7	0,1	0,00003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0001	0,03	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0015	0,007	<0,0005	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Алтаны-Тюбе	1084	0,03	0,003	0,01	0,2	0,003	0,3	0,0015	<0,0003	>>1	0,5	0,7	0,00003	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0001	0,05	0,01	<0,001	<0,0005	0,001	0,007	<0,0005	0,002	0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Алтаны-Тюбе	1085	0,02	<0,0003	0,007	0,2	0,07	0,05	<0,0005	<0,0003	>>1	0,3	0,01	0,00003	0,1	<0,003	<0,001	<0,001	<0,0001	0,02	<0,01	<0,001	<0,0005	0,002	nd	<0,0005	0,0015	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Алтаны-Тюбе	1086	0,001	<0,0003	0,002	0,015	0,015	0,15	<0,0005	<0,0003	>1	0,007	0,007	0,00005	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,03	<0,01	<0,001	0,0003	0,00015	nd	0,001	0,001	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Алтаны-Тюбе	1087	0,007	<0,0003	0,007	0,15	0,07	0,05	<0,0005	<0,0003	>>1	0,1	0,03	0,0001	0,2	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,07	<0,01	<0,001	<0,0005	0,02	nd	<0,0005	0,0015	<0,0001	<0,003	<0,01	<0,001	
Алтаны-Тюбе	1088	0,007	0,003	0,007	0,1	0,1	0,2	0,0015																							

Таб. 11-35

Форма шлака периода поздней бронзы

Период \ Форма	Шлаковые лепешки	Уплотненный	Бесформенный тяжелый	Бесформенный легкий	Прочее
Берсуат XVIII					1
Убаган II	1		1		
Шандаша			3		
Купухта	1		2	1	
Байту	1		1		1
Ак-Мустафа	1			1	
Атасу			4		
Мыржик	2				
Алакульская	6 28,6%		11 52,4%	2 9,5%	2 9,5%
Грауртлы			1		
Павловка		2			
Усть-Кенетай			5	14	
Ильяска			26		
Ново-Байрамгуловское			2		
Архангельский Прииск			19	16	17 Ошлаковка обмазки
Федоровско-межовская		2 1,9%	59 54,6%	30 27,8%	17 15,7%
Кипель	1				
Язево III			1		
Коркино	1		1	4	1
Ак-Мая		1	1		
Андроновская КИО	2 18,2%	1 9,1%	3 27,2%	4 36,4%	1 9,1%
Кафарка			1		
Кент			1		
Тельмана XVI	1				
Саргары	1				
Калиновка II			3		
Финальная бронза	2 28,6%		5 71,4%		
Атамановка V					1
Камышное II		1			1
Кара-Тюбе			1		
Новоникольское	1				
Степняк		1			
Восточные Коинды			5	2	
Чистый Яр	1		1		
Алтын-Тюбе					2
Акимбек		2			
Икпень I					5
Николаевка					1
ПБВ	2 3,9%	4 7,9%	33 64,7%	2 3,9%	10 19,6%
Итого:	12 6,1%	7 3,5%	111 56,1%	38 19,2%	30 15,1%

Таб. 11-36.

Распределение форм шлака по регионам

Период \ Форма	Шлаковые лепешки	Уплотненный	Бесформенный тяжелый	Бесформенный легкий	Прочее
Зауралье	5 4,7%	1 0,9%	57 53,3%	21 19,6%	23 21,5%
Северный и Централь- ный Казахстан	6 14,6%	4 9,8%	14 34,1%	15 36,6%	2 4,9%
Алтай и Восточный Казахстан	1 5,9%		9 52,9%	2 11,8%	5 29,4%
Итого:	12 7,3%	5 3%	80 48,5%	38 23%	30 18,2%

Химизм шлака

Осуществленный химический анализ отдельных образцов шлака ПБВ Казахстана выявил его существенное отличие от синташтинского шлака (таб. 11-37). В первую очередь, бросается в глаза крайне высокое содержание меди в шлаке атасуских поселений Центрального Казахстана Атасу и Мыржик (от 29 до 60%)¹. Выше мы упоминали, что в ямах-кладовых в Милыкудук, в этом районе, в руде, предназначенной для плавки, содержалось 8—10% меди. В шихте же печи с поселения Атасу содержание меди составляет около 18%. То есть, как о стандарте, мы можем говорить о содержании меди в пределах 10—20%. Все это достаточно парадоксальные цифры, так как в том шлаке, который попал на анализ, содержание меди близко ее содержанию в малахите, и превышает содержание ее в подготовленной для плавки руде или шихте. В старых спектральных полуколичественных анализах (Маргулан, 2001, таб. 4) содержание меди в шлаке обычно не превышает 5%. Поэтому нельзя исключать, что в нашу выборку с поселений Атасу и Мыржик (она слишком мала) попали результаты бракованных плавок, но это тоже неподтверждаемое предположение. Наш анализ шлака с Новоникольского и Ак-Мустафы показал потери меди менее 1%.

Неполный характер химического анализа лишает смысла проведение расчетов основности шлака или его вязкости. Но бросается в глаза незначительное количество оксидов железа. То есть, шлак был, скорее всего, кислого состава. Это хорошо видно из таблицы соотношения $\text{SiO}_2/\text{FeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$ в шлаке и шихте (таб. 11-38). При таком составе шлака высокое содержание меди вполне объяснимо. Руде этого региона характерен силикатный компонент, но не характерны оксиды железа (таб. 11-25). В шлаке они, хотя и в небольшом количестве, но, все же, есть. Для поселений Центрального Казахстана (Атасу, Мыржик, Саргары) суммарное количество оксидов железа колеблется в пределах 5,48—17,15%. Только на североказахстанском поселении Новоникольское их содержание достигает 42,27%, но это совершенно другая зона. Поэтому преднамеренные добавки какого-то количества оксидов железа не исключены, но добавки незначительные, так как в шлаке по сравнению с рудой содержание железа должно расти и без специальных добавок.

Кроме того, в шихте поселения Атасу оксид кальция не установлен, в то время, как в шлаке этого поселения он присутствует в количестве 1,76 и 3,27%. Как мы помним, возле печей были обнаружены кальцинированные кости, но содержание оксида кальция в шлаке, все же, не столь велико, чтобы можно было говорить о существенном флюсовании. Часть этого компонента могла переходить в шлак из золы.

Были проведены также химические анализы межовских шлаков из Южного Зауралья (таб. 11-39). Во всех этих образцах обращает на себя внимание высокая доля силикатного компонента. Один из проанализированных образцов (2358), возможно, является рудной породой. В нем содержание кремнезема достигает 63,46%, а содержание оксида железа совершенно незначительно. При этом содержание всех компонентов в шлаках не слишком отличается от их содержания в этой породе. Таким образом, несмотря на территориальные и культурные различия, здесь мы тоже наблюдаем очевидное предпочтение руд из пород кислого состава. Но в данном случае было необходимо выяснить использовались ли тигли поселения Архангельский Прииск II при плавке руды или они остатки металлообработки. Поэтому были проведены расчеты усредненного химического состава рудовмещающей породы, плотного шлака и ошлаковки тиглей (таб. 11-40). Эти расчеты принципиальной разницы между плотным и тигельным шлаком не выявили. Визуально плотный шлак производил впечатление более сбалансированного и жидкотекучего. В химическом составе это проявляется в виде некоторого снижения

¹ Следует обратить внимание на то, что анализ не выявил всех компонентов, так как общее содержание далеко от 100%. Это не позволяет делать на основе этих анализов какие-то точные расчеты. Они носят лишь оценочный характер.

Таб. 11-37

Химический анализ шлака (%) с памятников ПБВ Казахстана, выполненные в химической лаборатории Челябинской геолого-съёмочной экспедиции

Образец	Памятник	Материал	SiO ₂	FeO	CaO	Cu	Fe ₃ O ₄
18	Атасу	шлак	27,26	6,23	3,27	28,93	0,77
19	Атасу	шлак	18,96	4,98	1,76	42,00	0,50
21	Атасу	шихта	3,36	0,14	н/о	17,67	0,16
26	Мыржик	шлак	14,96	9,25	2,18	60,00	0,34
27	Мыржик	шлак	24,36	12,90	2,60	40,00	4,25
44	Саргары	шлак	33,34	7,56	6,12	14,40	2,52
46	Новоникольское	шлак	29,62	39,42	10,39	0,36	2,85
53	Ак-Мустафа	шлак	10,16	0,36	1,33	0,05	0,42

Таб. 11-38

Соотношение SiO₂/FeO + Fe₃O₄ в шлаке и шихте поселений Казахстана

Образец	Памятник	Материал	SiO ₂ /FeO + Fe ₃ O ₄
46	Новоникольское	шлак	0,7
27	Мыржик	шлак	1,42
26	Мыржик	шлак	1,56
44	Саргары	шлак	3,3
19	Атасу	шлак	3,45
18	Атасу	шлак	3,89
21	Атасу	шихта	11,2
53	Ак-Мустафа	шлак	13

Таб. 11-39

Химические анализы шлака и руды межовских поселений, выполненные в химической лаборатории Челябинской геолого-съёмочной экспедиции (%)

№	Памятник	Материал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	K ₂ O	S	Cu	CuO	Сумма
2231	Ново-Байрамгуловское	шлак	49,76	0,53	20,36	8,28	11,50	1,45	0,05	0,02	0,02	91,90
2358	Архангельский Прииск	Ошлакованная порода	63,46	0,26	13,67	4,03	6,80	3,90	0,05	0,73	0,91	92,85
2422	Архангельский Прииск	Плотный шлак	52,18	0,66	16,86	12,53	5,87	2,36	0,05	2,60	3,25	93,71
2429	Архангельский Прииск	Плотный шлак	46,00	0,74	20,94	15,49	3,52	1,94	0,05	3,08	3,85	92,48
2451	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	54,24	0,35	10,33	19,09	2,58	2,08	0,05	2,66	3,33	92,00
2467	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	63,58	0,66	13,17	3,96	8,22	2,30	0,05	0,17	0,21	92,20
2477	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	63,92	0,66	12,90	4,18	8,92	2,30	0,05	0,10	0,12	93,00

Таб. 11-40

Усредненный химический состав рудовмещающей породы, плотного шлака и ошлаковки тиглей поселения Архангельский Прииск (%)

Материал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	K ₂ O	S	Cu	CuO
Ошлакованная порода	63,46	0,26	13,67	4,03	6,80	3,90	0,05	0,73	0,91
Плотный шлак	49,09	0,7	18,9	14,01	14,01	2,12	0,05	2,84	3,55
Ошлаковка тигля	60,58	0,56	12,13	9,08	9,08	2,23	0,05	0,98	1,22

доли кремнезема за счет классических шлаковых компонентов: оксидов железа, кальция и алюминия. При этом у нас нет оснований предполагать, что имели место добавки флюсов, содержащих кальций и калий (например, кальцит или кости животных), так как содержание оксида калия не растет, а некоторый рост содержания кальция может объясняться его переходом из золы, а для шлака Ново-Байрамгуловского его присутствием в рудной породе. Но, независимо от того, как попали в шлак эти компоненты, из золы или из флюсов, применительно к ошлаковке тиглей можно говорить о том, что маловероятно, чтобы такие концентрации формировались при плавке меди. Более характерно это, все же, для рудного шлака.

Общие потери меди и ее оксидов в шлаке составляют 2—6%. Это сравнительно много, но в пределах стандартов для эпохи бронзы.

Были проведены расчеты коэффициента основности для межовского шлака. И рудовмещающая порода, и шлаки на основании этих коэффициентов были отнесены к ультракислой группе (таб. 11-41). Принципиальной разницы этих коэффициентов между обычными металлургическими шлаками и ошлаковками тиглей нет. Соответственно, шлак этого состава не может хорошо кристаллизоваться и должен быстро отвердевать после снижения температуры. Почти наверняка руда добыта из месторождения в кислых породах, вероятно, в кварцевых жилах. При этом железосодержащие флюсы не использовались.

Таб. 11-41

Коэффициенты основности шлака межовских памятников

№	Памятник	Материал	Основность	Группа
2231	Ново-Байрамгуловское	шлак	0,3	ультракислый
2358	Архангельский Прииск	Ошлакованная порода	0,19	ультракислый
2422	Архангельский Прииск	Плотный шлак	0,3	ультракислый
2429	Архангельский Прииск	Плотный шлак	0,31	ультракислый
2451	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	0,37	ультракислый
2467	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	0,19	ультракислый
2477	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	0,2	ультракислый

Все проанализированные межовские шлаки оказались очень вязкими — от 13,92 до 28,84 Pa·s (таб. 11-42). Такой шлак не мог быть жидкотекучим и достаточно быстро застывал. Поэтому возможности выпустить этот шлак из печи или слить из тигля не существовало. В данном случае вязкость этого шлака намного выше вязкости синташтинского, и близко (а относительно некоторых памятников и выше) вязкости оренбургских шлаков, где это имело следствием очень высокие потери меди, оставшейся в шлаке.

Таб. 11-42

Вязкость шлаков межовских памятников при температуре 1400 °С

№	Памятник	Материал	Pa·s
2231	Ново-Байрамгуловское	шлак	16,47
2358	Архангельский Прииск	Ошлакованная порода	33,63
2422	Архангельский Прииск	Плотный шлак	17,30
2429	Архангельский Прииск	Плотный шлак	16,16
2451	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	13,92
2467	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	28,84
2477	Архангельский Прииск	Ошлаковка тигля	26,91

Рентгеноструктурный анализ

Проведенный рентгеноструктурный анализ (таб. 5-17; 11-43) показывает, что с началом эпохи поздней бронзы, в отличие от синташтинского времени, в шлаке присутствует высокотемпературное перерождение кварца — кристобалит. Поскольку он образуется при остывании от температуры 1470 °С, речь идет о том, что в этот период достигнуты высокие температуры плавок, хотя это, возможно, и не обязательно распространяется на все памятники, так как количество сделанных анализов ограничено. То есть, при дальнейшем обсуждении этой проблемы, речь идет о принципиальной возможности столь высоких температур.

Рентгеноструктурный анализ шлака ПБВ Казахстана

Поселение	Образец	кварц	тридимит	кристобалит	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	Cu
Петровка II	12	*	*	*	*	?		?
Атасу	19				*			
Мыржик	27	*	*	*	*	*	?	*
Саргары	44	*	?	*		?		*
Новоникольское I	46	*		*		?		*
Тельмана XVI	49	*	*	*	*	?	*	?
Вишневка I	54		?	*	*	*		

Минералогия шлака**Алакульская металлургия**

Шлаки, которые можно надежно связать с алакульской культурой, обнаружены, по большому счету, в двух регионах: на поселениях Домбаровского района Оренбуржья и в Центральном Казахстане.

Минералогическая группа IV

Купритизированные шлаки наиболее типичны для алакульской культуры (рис. 11-III; 11-IV; 11-V.1—4). В шлаке хорошо представлена рудовмещающая порода — чаще это кусочки кварца (Купухта, обр. 1846, 2022, Шандаша, обр. 90, 91, Байту, обр. 2024, 2024-1, 2026, 2028, Берсуат XVIII, обр. 165). Образец 2028 (Байту) оказался кварцевой породой, в которой заключены прожилки малахита (рис. 11-III.1). Иногда фиксируются фрагменты кварцсодержащей песчаниковой породы, состоящей из мелких гранул (Купухта, обр. 2023, 2023-2, рис. 11-V.3). Поэтому, в Западном Казахстане какая-то часть алакульской руды наверняка происходила из медистых песчаников. При этом в тех случаях, когда эти характерные структуры не зафиксированы, руда тоже могла происходить из песчаников. Надежно это различить на статистическом уровне не представляется возможным. Принципиальным является вывод о предпочтении руд из кварцевых пород и кварцсодержащих песчаников, что подтверждается включениями руды в кварце или песчанике, или включениями песчаника в зернах малахита (Купухта, обр. 2023).

Несколько мелких зерен хромита (Купухта, обр. 2023) явно не указывают на плавку основной породы. Видимо, они попали в плавку вместе с оксидами железа. Поэтому иногда в стекле фиксируются скопления мелких частиц магнетита в виде октаэдров или выпадающих из расплава тонких скелетов (рис. 11-III.4). Октаэдры в этом образце слегка темнее, но по их краям может формироваться чуть более светлая кайма, вероятно, фиксирующая начало восстановления до вюстита. В образцах 2024 и 2026 (Байту) тоже отмечены мелкие скелеты и дендриты магнетита, кристаллизующиеся из расплава. Количество их не очень велико.

Кристаллизация фаялита для этого шлака не характерна. Только в образце 2024 встречено небольшое скопление его зародышей.

В стекле встречается довольно много корольков меди. Часть из них очень мелкая и растворена в шлаковом расплаве. В этих случаях стекло имеет красную окраску, заметную в скрещенных николях. Вокруг крупных корольков меди может образовываться кайма из куприта, а в образцах 2023, 2023-2 (Купухта) и из медного сульфида. В этих же образцах зафиксированы корольки или расплав халькозина и ковеллина, а также оплавленные зерна малахита и хризоколлы. Сульфидный расплав может также заполнять маленькие трещины в шлаке. Следовательно, застывание шлака произошло до того, как температура опустилась до точки затвердевания ковеллина. Сульфидная кайма в одном

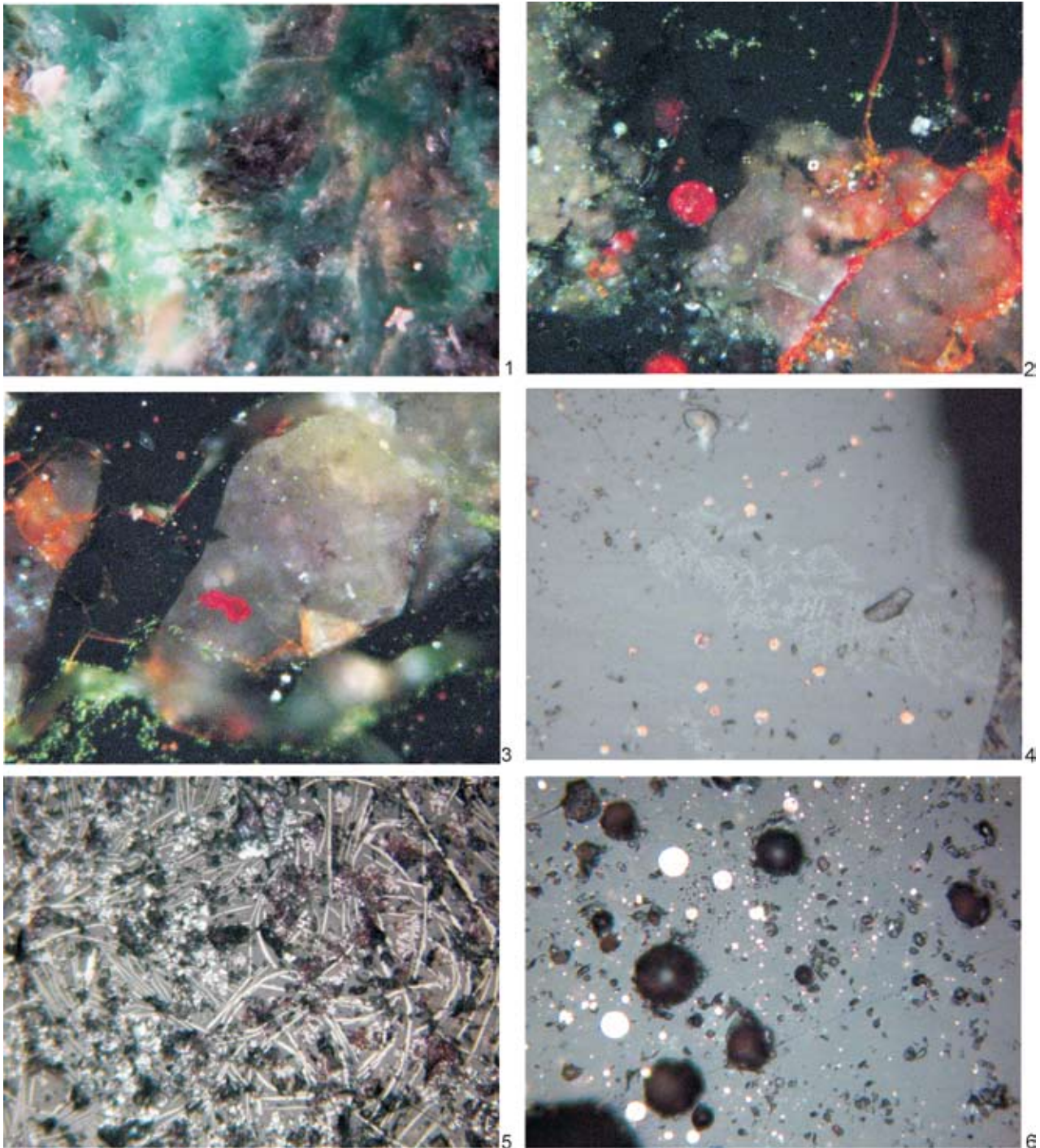


Рис. 11-III. Руда и шлаки IV минералогической группы алакульской культуры Домбаровского района Оренбургской области (длина снимков 0,62 мм): 1—5 — пос. Байту, 6 — пос. Купухта: 1 — обр. 2028 — Малахит в кварцевой породе; 2 — обр. 2024 — Стекло, в котором присутствуют мелкие корольки меди и более крупные куприта в стеклянной матрице. Заполнение трещин в стекле и кварце купритом; 3 — обр. 2024 — Зерна кварца в стекле (черная матрица). В кварце включение куприта (красное); 4 — обр. 2024 — Корольки меди и скопление тонких дендритных скелетов магнетита в стекле; 5 — обр. 2026 — Тонкие и изогнутые иголки делафоссита, между которыми фиксируются дендриты и корольки куприта, гидроокислы железа; 6 — обр. 1846 — Корольки меди и поры в стеклянной матрице

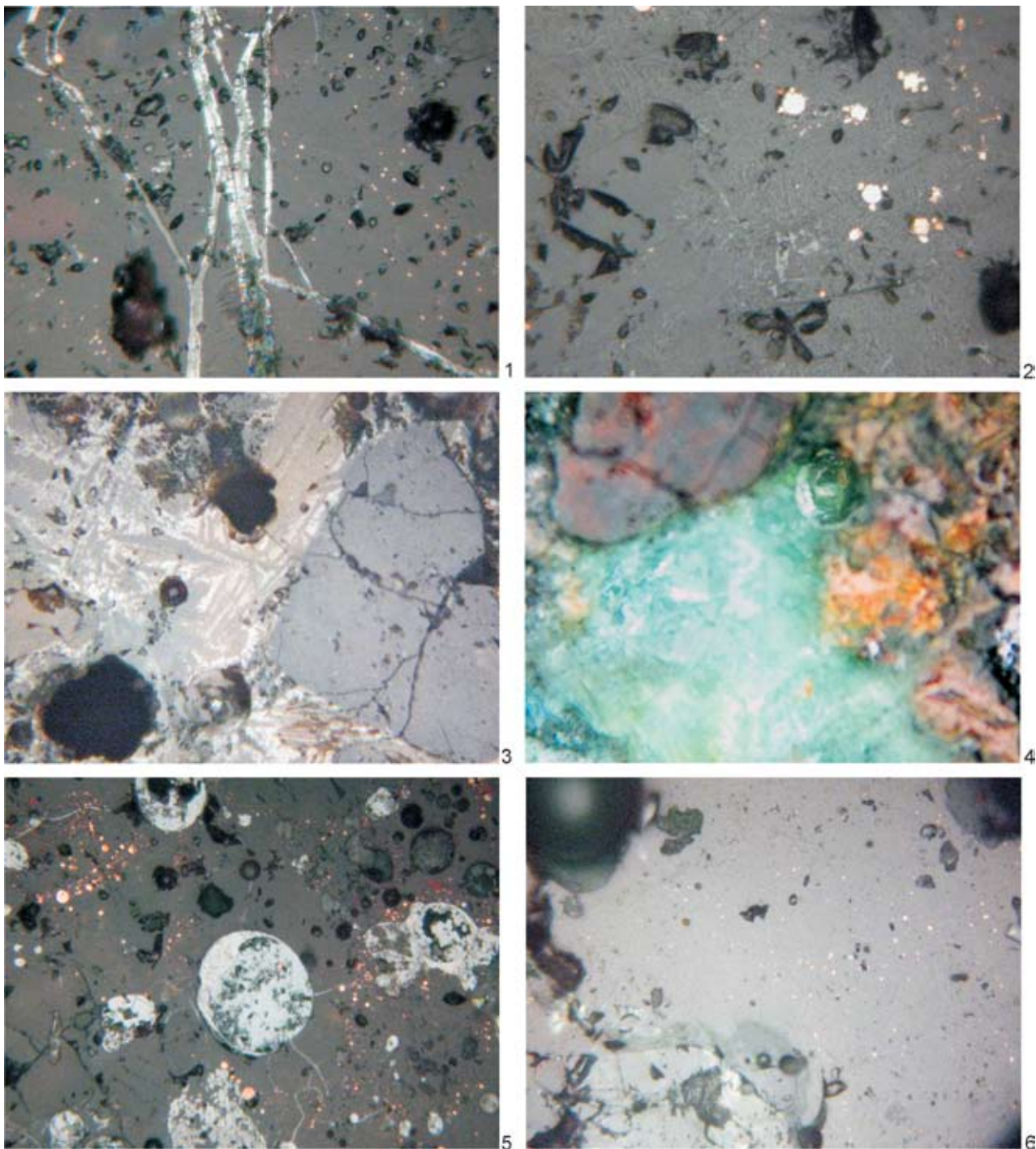


Рис. 11-IV. Шлаки IV минералогической группы поселения Купухта алакульской культуры Домбаровского района Оренбургской области: 1 — обр. 1846 — Поры, куприт в трещинах и мелкие корольки меди в стеклянной матрице (длина снимка 0,46 мм); 2 — обр. 2022 — Корольки меди и тонкие скелеты магнетита (длина снимка 0,46 мм); 3 — обр. 2023 — Зерна кварца, дендриты гидроокислов железа и поры (длина снимка 0,62 мм); 4 — обр. 2023 — Гидроокислы железа и кварц в ассоциации с малахитом (длина снимка 0,62 мм, николи скрещены); 5 — обр. 2023 — Крупный корольек сульфида с включениями меди и купритовой каймой, корольки куприта и меди, заполнение мелких трещин купритом, поры (длина снимка 0,62 мм); 6 — обр. 2023 — Мелкие корольки меди и поры в стекле (длина снимка 0,62 мм)

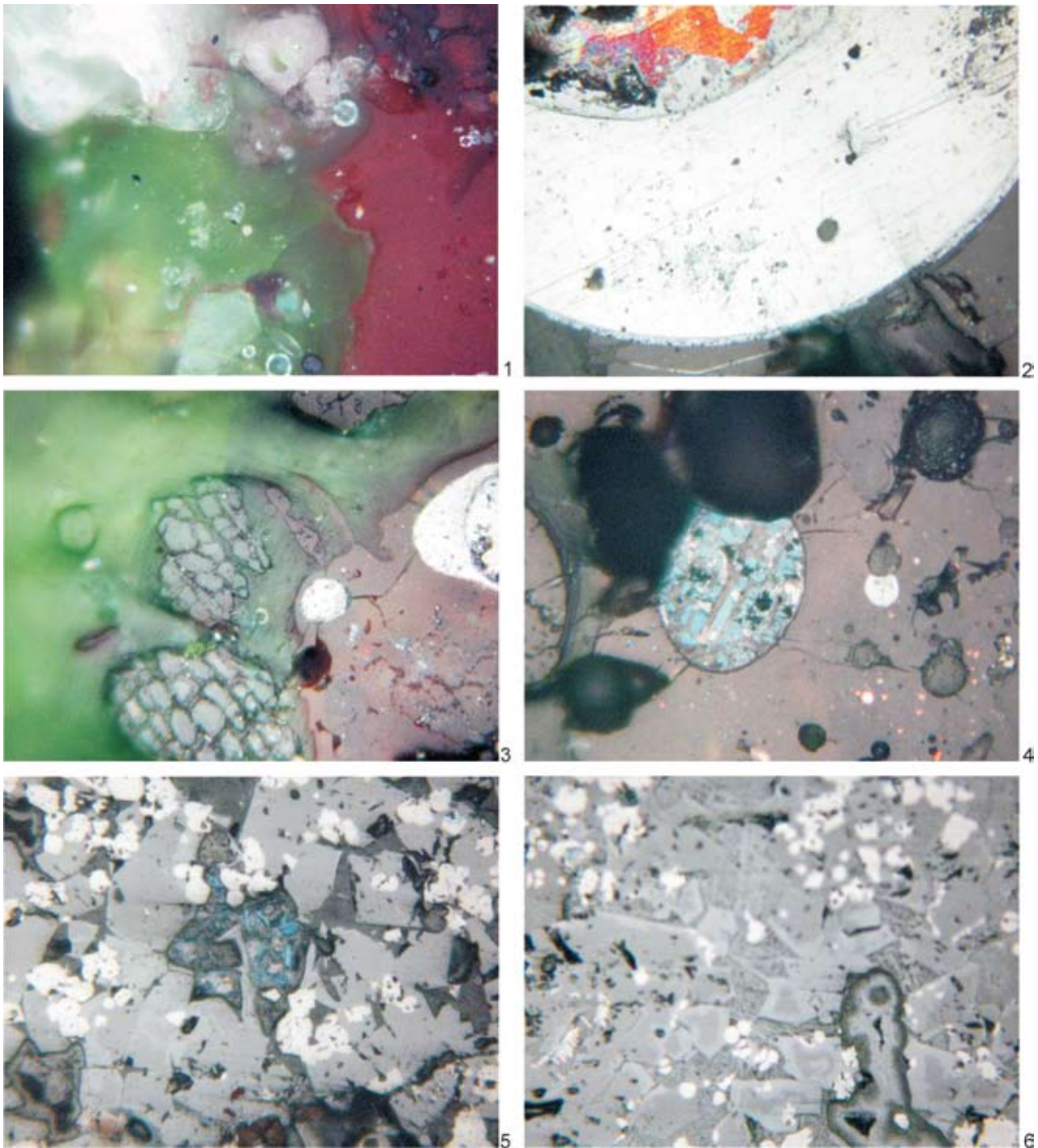


Рис. 11-V. Шлаки IV (1—4 — обр. 2023) и I (5, 6 — обр. 2021) минералогических групп поселения Купухта алакульской культуры Домбаровского района Оренбургской области: 1 — Зерна кварца, малахита и хризоколлы в стекле, окрашенном в красный цвет мелкими частицами куприта (длина снимка 0,62 мм, николи скрещены); 2 — Крупный королёк сульфида, окруженный купритовой каймой. Внутри ядро меди, отделенное от сульфида ободком куприта (длина снимка 0,62 мм); 3 — Королёк из меди и малахита, окруженный сульфидной каймой в окрашенном купритом стекле. Рядом оплавленное зерно малахита и кварцевые частицы, образующие песчаниковую структуру (длина снимка 0,62 мм николи скрещены); 4 — Королёк ковеллина (сине-голубой), куприта (белый), мелкие корольки меди и поры в окрашенном купритом стекле (длина снимка 0,46 мм); 5 — Таблитчатые кристаллы оливина (серые), и сформировавшиеся раньше октаэдры магнетита (белые). В центре фотографии голубое зерно ковеллина (длина снимка 0,46 мм); 6 — Мелкие дендритные скелеты и октаэдры магнетита, кристаллы оливина с зональной структурой: внешняя часть светлее (длина снимка 0,46 мм)

случае зафиксирована и вокруг королька куприта. При расплавлении сульфид часто переходит в куприт, образуя расплав. Многие расплавленные корольки ковеллина или сульфида деформированы. Следовательно, к моменту их застывания вязкость шлака была уже очень высокой. В образце 1846 (Шандаша) сульфиды не выявлены. Оруденение в нем представлено малахитом.

Зафиксированы и зерна куприта. Наряду с ними встречаются корольки и расплав этого минерала, заполняющий трещины в шлаке. На окислительную атмосферу в печи указывает и наличие на отдельных участках шлаков мелких иголок делафоссита, однако количество их в шлаке из Зауралья невелико. Некоторые иголки делафоссита изогнуты. Видимо, к моменту их кристаллизации расплав был очень вязок. В пользу высокой вязкости говорит и то, что в образцах 2024 и 2024-1 из Байту стекло на некоторых участках окрашено красными полосами, оно насыщено мелкими частицами меди и куприта.

Количество куприта зависит от соотношения в шихте окисленной и сульфидной руды. Поэтому в образцах с Шандаши, где выявлен только малахит, куприта намного больше, часто он представлен хорошо развитыми дендритами, а не только корольками. Дендриты этого минерала отмечены и в обр. 2026 из Байту. Образец с Берсуата не содержит делафоссита или дендритов куприта, но много его корольков или зерен. Здесь плавка тоже шла в окислительной атмосфере, хотя вместе с малахитом и азуриком ощущимо присутствуют сульфиды, но процесс, по каким-то причинам, не был нормально закончен, и в шлаке осталось много рудных включений, куприта и меди.

Шлаки с атасуских поселений Центрального Казахстана (Ак-Мустафа, Атасу, Мыржик) целиком соответствуют этим характеристикам. Они тоже связаны с кварцевыми породами, а в шлаке с поселения Мыржик зафиксированы песчаниковые структуры. Руда тоже представлена, главным образом, малахитом, хризоколлой и азуриком, а доля вторичных сульфидов явно меньше, чем на зауральских памятниках. Вероятно, за счет этого потери меди и степень купритизации шлака здесь значительно выше. Для этого шлака более характерны кристаллизация иголок делафоссита¹ и дендритов куприта. Последние образуются как за счет кристаллизации из расплава, так и за счет объединения в дендриты мелких корольков куприта. Иногда образование куприта идет вокруг медных корольков за счет их окисления. Чаше встречается и окраска стекла красным цветом, благодаря большому количеству мелкой растворенной меди и куприта². В этих образцах хорошо видно, что медь восстанавливается непосредственно из куприта.

Не исключено, что часть корольков куприта имеет вторичный характер, и они сформировались уже в слое поселения, в результате заполнения пор. В особенности это касается корольков, имеющих правильную форму или содержащих включения хлорида, который неустойчив при высоких температурах (таб. 11-44, ан. 262.1, рис. 11-45). Медь не имеет заметных примесей (таб. 11-44, ан. 262.а,с, рис. 11-45) и, судя по тому, что медь заполняет часто трещины в шлаке, стекло начало затвердевать при более высокой температуре, чем температура плавления меди.

Выводы:

Таким образом, в плавке использована смесь окисленных и сульфидных руд из кварцевых пород. Но содержание окисленной руды было заметно выше, чем сульфидной. Необходимость расплавлять кварцевую породу приводила к достаточно интенсивному дутью и окислительной атмосфере плавки, в результате чего наблюдалась интенсивная купритизация и сопровождающие ее высокие потери меди в шлаке.

¹ Они здесь диагностированы также анализом на СЭМ (таб. 11-44, ан. 262,е, рис. 11-45).

² Содержание растворенной меди в стекле бывает очень высоко. Так анализ стекла с помощью сканирующего электронного микроскопа выявил 18,15% меди, ее примесь есть даже в кристаллизующемся из расплава магнетите (таб. 11-44, ан. d, 2, рис. 11-45).

Анализ шлаков казахстанских поселений с помощью сканирующего электронного микроскопа (анализ выполнен в Горной Академии Фрайберга)

Весовой процент													
Поселение	Образец	Анализ	Вещество	O	Si	Cu	Fe	Mg	Al	Ca	Cl	Mn	Zn
Атасу	262	a	медь			X							
		b	куприт	мало		X							
		1	медный хлорид	16,68		67,6					15,72		
		c	медь			X							
		d	магнетит	X		мало	X					мало	мало
		2	стекло	28,17	24,12	18,15	7,33	0,43	3,36	4,7		8,24	4,89
Усть-Кенетай		e	делафоссит	X		X	X						
	236	a	фаялит	X	X		X						
		b	вюстит	X	мало		X		мало				
		c	вюстит	X			X						
	1	вюстит	21,8	0,6		77,6							
Атомарный процент													
Поселение	Образец	Анализ	Вещество	O	Si	Cu	Fe	Mg	Al	Ca	Cl	Mn	Zn
Атасу	262	1	медный хлорид	40,89		41,73					17,39		
		2	стекло	49,71	24,84	8,07	3,71	0,49	3,52	3,31		4,23	2,11
Усть-Кенетай	236	1	вюстит	49,14	0,77		50,09						

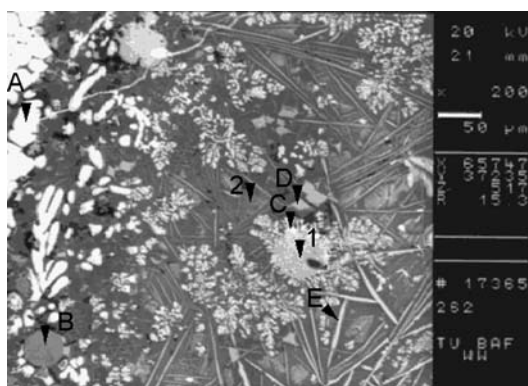


Рис. 11-45. Микроструктура шлака обр. 262 поселения Атасу и СЭМ анализы: в стекле присутствуют игольчатые кристаллы делафоссита, дендриты куприта, корольки меди (белое), октаэдры магнетита (серое). А — медь, В — куприт, С — медь, D — магнетит, E — делафоссит, 1 — медный хлорид, 2 — стекло

В какой-то степени на поселениях Центрального Казахстана с этим удавалось отчасти бороться благодаря конструкциям печей, пристроенных к колодцам, где в результате дутья из колодца более интенсивно формировался восстанавливающий газ — монооксид углерода, что было характерно для синташтинской металлургии. В Южном Зауралье проблема несколько снижалась благодаря более активному использованию вторичных сульфидов. Но проблема сохранялась везде.

Сложно сказать — какие достигались температуры. Застывание делафоссита происходит при температуре 1175—1200 °С (Трофимов, Михайлов, 2002, рис. 2). Ковеллин плавится при температуре 1127 °С, медь — 1084 °С, температура плавления куприта выше — 1232 °С. Все эти компоненты расплавлены, следовательно, плавка велась при температурах минимум 1200—1300 °С. Но температуры были явно выше, так как стекло местами начало застывать до застывания куприта. Фазовая диаграмма системы FeO—Al₂O₃ + SiO₂—CaO для стекла в шлаке обр. 262 поселения Атасу, построенная на основе анализа на СЭМ (табл. 11-44, ан. 262.2) показывает, что стекло этого состава будет плавиться при температуре около 1300 °С (рис. 11-46). Можно допускать, что из-за силикатного состава плавку приходилось вести продолжительное время. Но затем,

по мере снижения интенсивности дутья и переработки компонентов, оседания меди, расплав становился очень вязким, и стекло достаточно быстро затвердевало. Рентгеноструктурный анализ шлака поселения Мыржик выявил кристобалит, поэтому не исключено достижение температуры 1470 °С. С другой стороны, расплавленный магнетит не встречен, и температуры были ниже 1530 °С. Исходя из всего этого, наиболее вероятным температурным диапазоном для большинства плавков является 1200—1400 °С.

Здесь следует вернуться к той проблеме, которую мы обсуждали на основе химических анализов шлака — это крайне высокие потери меди, сохраняющейся в шлаке, сопоставимые с ее содержанием в малахите. Визуально, на основе анализа под микроскопом, для всей этой серии можно говорить о потерях в пределах 7—50%. Поэтому шлак с высокими потерями, в принципе, можно рассматривать как сырье, нуждавшееся в дополнительной переплавке. Однако шлака, фиксирующего эти переплавки в этих сериях нет, хотя ниже мы и будем разбирать иные минералогические группы, но они не типичны для этих памятников. С другой стороны, как мы видели, такая промежуточная плавка на получение куприта не имела никакого смысла: куприт достаточно тугоплавок, к тому же, формировалось силикатное стекло, для расплавления которого требовались температуры более 1300 °С. Поэтому плавка велась на получение меди сразу. Единственным возможным объяснением является то, что количество пустой породы, переходившей в шлак, было незначительным. И стремление создать шлаковый расплав отсутствовало. Основные компоненты поступавшего в плавку малахита ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), за исключением меди, возгонялись. Подобные плавки возможны лишь в случае эксплуатации достаточно богатых руд. Эти черты проявились и в шлаках II минералогической группы.

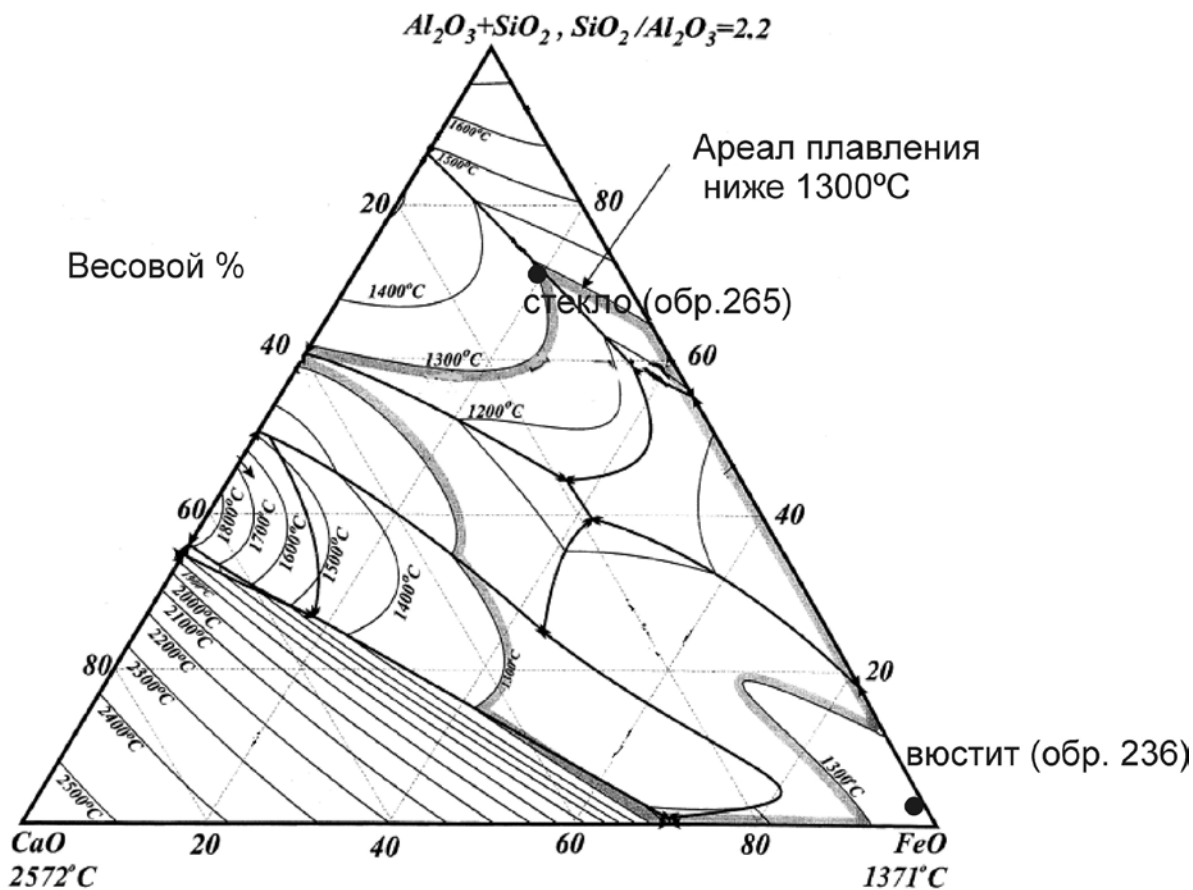


Рис. 11-46. Фазовая диаграмма системы $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2-\text{CaO}$ для стекла в шлаке обр. 262 поселения Атасу

Минералогическая группа II

В алакульской серии зафиксировано лишь два образца шлака, которые можно отнести ко II минералогической группе, характеризующейся плавкой руды из кварцевой породы в условиях восстановительной атмосферы. Это образцы № 82 с поселения Убаган II в Притоболье и № 89 с поселения Шандаша в Добаровском районе Оренбуржья. Восстановительная атмосфера в данном случае обеспечивалась тем, что в плавку поступали, главным образом, вторичные сульфиды типа ковеллина и халькозина. В шлаке присутствуют зерна кварца и хорошо представлены расплавы сульфида, причем видно, что медь формируется непосредственно из этого сульфида. Количество расплавленного сульфида достаточно велико, а рудовмещающей породы незначительно. В шлаке с поселения Шандаша отмечены и мелкие зародыши оливиновой кристаллизации. При плавке тоже явно не стремились создать нормальный фаялитовый шлаковый расплав. Плавка велась с расплавом сульфида. Потери меди в виде оставшегося в шлаке сульфида, в меньшей степени меди и куприта, здесь несколько ниже, но тоже достаточно велики. То есть, в принципе, основные параметры плавки близки к вышеописанным, но, благодаря плавке сульфидов, не происходили купритизация и такие непомерно высокие потери металла. Поэтому не исключено, что эти шлаки отражают не некий отдельный технологический тип, а случайную плавку руды иного состава.

Минералогическая группа I

Столь же редки для алакульской серии типичные для синташты шлаки I минералогической группы, связанные с плавкой породы основного состава (рис. 11-V.5, 6; 11-VI.1—3). Это обр. 2021 с поселения Купухта и обр. 2025 с поселения Байту. Микроструктура этих шлаков различается.

В образце 2021 основным включением являются кристаллы оливина. Многие кристаллы оливина имеют зональную структуру. Их внешняя часть более светлая. Не исключено поэтому, что центр кристалла более магнезиальный. Подобное возможно при использовании в плавке ультраосновной серпентинизированной породы, как это имело место в синташтинской металлургии, однако характерные для этих пород зерна хромита анализом не выявлены. Кроме того, большая часть оливина все же одного оттенка, более светлого, вероятно, это фаялит. Магнетит представлен очень хорошо в виде октаэдров сравнительно крупных размеров. Частицы магнетита образуются, распадаясь из более крупных зерен. Изредка встречаются крайне мелкие дендритные скелеты магнетита, кристаллизующиеся из расплава. Из рудных минералов в образце зафиксированы зерна малахита, ковеллина и куприта. Иногда по малахиту фиксируется ковеллиновая кайма. То есть смешивания руд различных источников не происходило, все типы руды происходят из одного источника.

Таким образом, в плавку поступала рудная смесь из окисленной руды и вторичных сульфидов. Характер рудовмещающей породы не ясен, однако не исключено, что это железистые оксиды. Во всяком случае, включения кварца в шлаке не обнаружены. Плавка велась при температуре около 1200 °С или немного выше. Это позволило сформироваться фаялиту. Однако даже ковеллин не всегда расплавлен. Остывание шлака сравнительно медленное, вероятно, непосредственно в печи, поэтому кристаллы фаялита имеют таблитчатые формы.

Лучше магнетит представлен в образце 2025, где, наряду с мелкими кристаллизующимися скелетами, встречаются мелкие зерна и скопления частиц, распадающиеся из более крупного зерна. Примечательно, что в нем же встречены мелкие и очень редкие зернышки хромита. Магнетит этого образца иногда имеет зональную структуру — более светлую окантовку. Не исключено, что окантовка — относительно чистый магнетит, а внутри состав более хромистый. Примечательно и то, что в этом образце отсутствуют

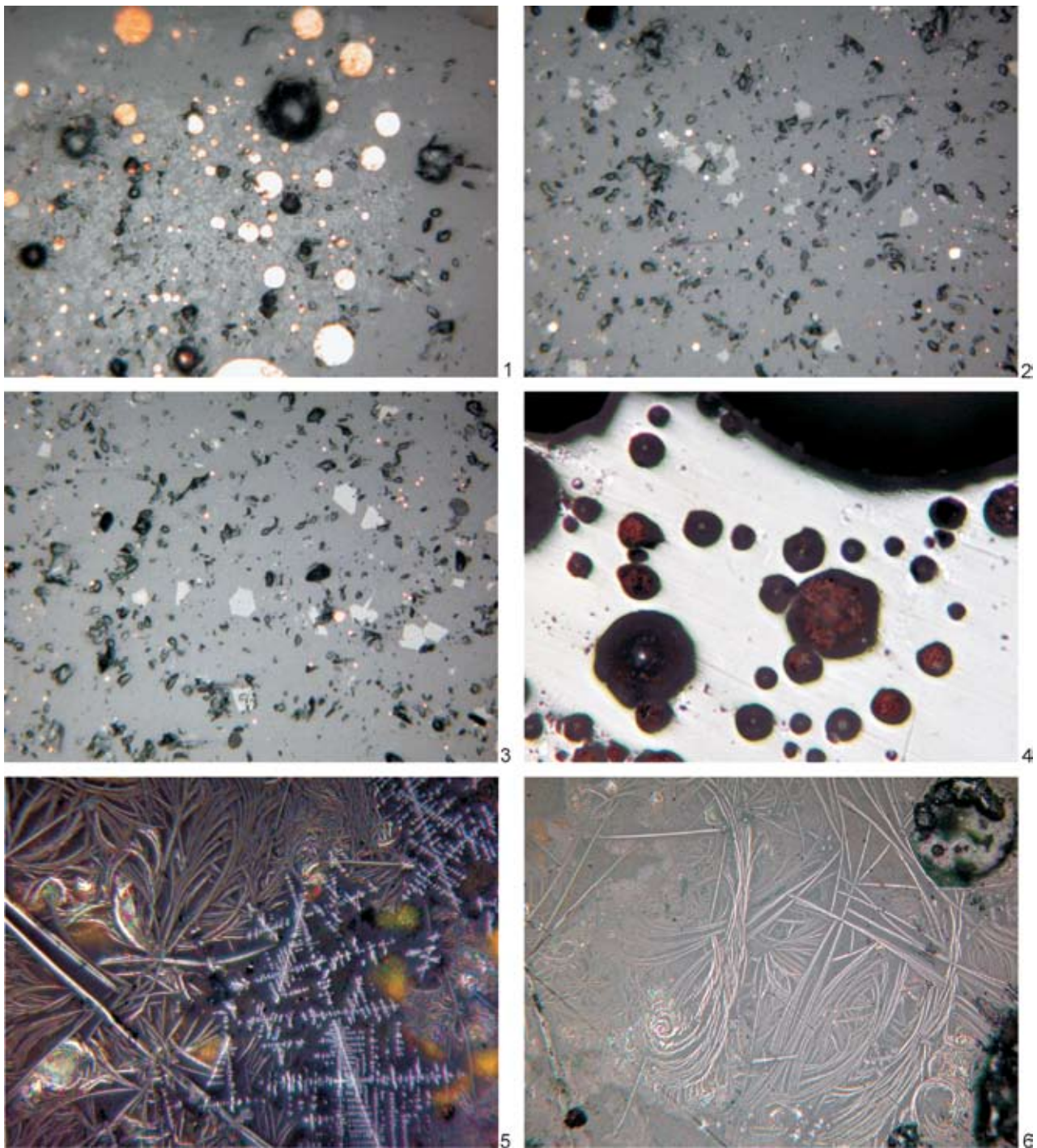


Рис. 11-VI. Шлаки I (1—3), VII (4) и IV минералогических групп (5, 6), длина снимков 0,62мм: 1 — обр. 2025, пос. Байту — Скопление частиц магнетита, распадающееся из более крупного зерна. В нем корольки меди; 2— обр. 2025, пос. Байту — Октаэдры магнетита, корольки меди и поры в стекле; 3 — обр. 2025, пос. Байту — Октаэдры магнетита, корольки меди и поры в стекле. Один медный королек заключен в магнетит; 4 — обр. 2218, пос. Ильяска I — Пористое стекло без кристаллизации; 5, 6 — обр. 793, пос. Калиновка II — изогнутые иголки делафоссита, мелкие корольки меди и дендриты магнетита в стекле

зерна кварца. Вместе с тем, куприт не отмечен. Обнаружен крупный медный королек, окруженный каймой сульфида. Поэтому не исключено, что руда здесь была из другого источника, преимущественно, из гидроокислов железа. Потери меди минимальны, составляя 2—3%.

Таким образом, в обоих случаях в плавку поступала смесь сульфидной и окисленной руды из ожелезненных пород. Это способствовало созданию восстановительной атмосферы и низкой вязкости расплава. Но в образце из Купухты атмосфера была чуть более окисленная, а скорость остывания более высокой. Поскольку эти образцы происходят с памятников, где доминируют шлаки, полученные при плавке руды из кварцевой породы в условиях окислительной атмосферы, трудно сказать, насколько целенаправленно отбиралась для плавки именно эта руда и является ли это продолжением синташтинской традиции. О целенаправленной плавке характерной для синташты руды из месторождения в ультраосновных серпентинизированных породах тут говорить не приходится. Более вероятно случайное попадание подобной руды из-за ее ограниченного присутствия на месторождении в кварце.

Минералогическая группа VI

Один образец шлака с поселения Убаган II в Притоболье (№ 76) отличается от всех описанных образцов. В его микроструктуре преобладает очень пористое светлое стекло, в котором фиксируется несколько мелких королеков железа и в некоторых местах ничтожное количество фаялитовой кристаллизации. Таким образом, шлак сформировался в восстановительной атмосфере и застыл очень быстро. Температура плавки была несколько выше, чем у других алакульских шлаков, поскольку фиксируются корольки железа (вероятно, сформировавшиеся из расплавленного вюстита). Это позволяет допускать, что основной температурный предел был около 1300—1400 °С. Быстрое застывание шлака произошло, вероятно, по причине очень кислого состава, но непонятны низкие потери меди и восстановительная атмосфера при высоких температурах. Шлак очень близок шлаку с Верхней Алабуги и Коршуново I. Поэтому вероятнее, руда происходила из кварцевой породы, но в ней была высока доля сульфидов, что и обеспечило восстановительную атмосферу. Поэтому с большой осторожностью (учитывая единичность образца и малое количество компонентов в шлаке) можно отнести его к промежуточной минералогической группе II—VII/VI. Как мы увидим далее, подобный шлак характерен и для межовской культуры.

Таким образом, в шлаке алакульских памятников Зауралья и Казахстана резко доминирует IV минералогическая группа (таб. 11-47). Шлаки I и II минералогических групп, возможно, являются свидетельством наследия синташтинско-петровской металлургии, но скорее всего, их присутствие вызвано случайностью. Один образец, отнесенный к минералогической группе II—VII, возможно, является свидетельством контактов с одиновско-крохалевскими и вишневыми популяциями или с металлургами межовской культуры.

Объемы плавок

К сожалению, в отличие от синташтинской ситуации, определить объемы загрузки по шлаку на памятниках в районе Атасу не представляется возможным. Однако не исключено, что исследованный в раскопе 2 поселения Мыржик комплекс может прояснить этот вопрос. Здесь рядом с очагом диаметром 1,6 м обнаружены две ямки диаметрами 0,3 и 0,4 м, глубиной 0,15 и 0,2 м. Одна заполнена мелкодробленной рудой. Возможно, это и есть объем одной загрузки. Объем этих ям составляет соответственно 3375 и 8000 см³. Поскольку удельный вес карбонатных руд (а именно такие использовались на Атасу) мо-

Минералогические группы шлака алакульских поселений Зауралья и Казахстана

Минералогическая группа Памятник	I	II	IV	II—VII/VI	VII
Купухта	1		4		
Шандаша		1	2		
Байту	1		4		
Берсуат XVIII			1		
Ак-Мустафа			2		
Атасу			5		
Мыржик			2		
Убаган II				1	1
Алакульская культура	2 8%	1 4%	20 80%	1 4%	1 4%

жет колебаться в пределах 2,8—3,5 г см³, объемы загрузки могли колебаться в пределах 10—24 кг. Это значительно больше того, что имело место на синташтинских памятниках. Правда, в описании не сказано, насколько полно заполнено это углубление. К тому же данный расчет произведен для монолитного куска. Поэтому мы вправе снизить эти объемы в два раза, до 5—12 кг. Как уже говорилось, соотношение объема руды к объему древесного угля должно составлять 2:1 (Bamberger, 1992, p. 157; Bamberger, Wincierz, 1990, p. 123). Соответственно, каждая плавка на атасуских памятниках требовала 2,5—6 кг древесного угля. Это приблизительно соответствует объему 8400—20 000 см³. Следовательно, объем печей должен был колебаться в пределах 7375—28 000 см³. Если высота печных сооружений составляла 30—40 см, их минимальная площадь колебалась в пределах 245—700 см², что соответствует диаметру 16—27 см. Однако необходимо учитывать, что металлургическая печь не может быть заполнена плотно. В этом случае воздух не будет проходить через нее, и печь не будет прогреваться. Поэтому допустимым в данном случае диаметром печи я считаю 30—60 см. Это, в целом соответствует данным конструкциям на атасуских памятниках, поскольку иногда их очертания фиксируют внешний контур и не учитывают толщины стенок и обмазки.

Для получения этого количества угля требовалось 0,01—0,03 м³ древесины, при условии хорошей технологии выжигания (Агапов и др., 1989, с. 101, 102). Это соответствует 5—20 кг древесины².

Очень трудно сказать, сколько меди производилось в результате одной плавки на Атасу. Малахит содержит 57,4% меди. Поэтому чисто теоретически в ходе одной плавки могло быть получено 2,5—6 кг металла. Однако атасуские шлаки перенасыщены медью и купритом. В них оседало 30—40% металла. Кроме того, в плавку не поступал идеально чистый малахит. Были и фрагменты породы. Судя по отвалам на металлургических комплексах и рудным складам, руда, отбирившаяся для плавки, содержала 8—10% меди. Поэтому выход конечного продукта в пределах 0,2—1 кг представляется мне вполне вероятным.

Федоровская металлургия

Федоровские шлаки были получены всего на четырех поселениях: Усть-Кенетай в Центральном Казахстане, Павловка в Северном Казахстане, Ильяска I и Грауртлы в Зауралье. Это не удивительная ситуация, поскольку однослойные федоровские поселения почти не встречаются. К этой культурной группе близки межовские материалы

¹ Плотность березового угля составляет 380 кг/м³, соснового — 300 кг/м³.

² Плотность березы составляет 630 кг/м³, сосны — 500 кг/м³.

с поселений Архангельский Прииск II и Ново-Байрамгуловское, хотя они и занимают относительно более позднюю хронологическую позицию, отражая, скорее, развитие федоровской традиции.

Минералогическая группа VI

Самая большая коллекция происходит с поселения Усть-Кенетай (19 образцов: № 228—246). Большинство исследованных образцов характеризует достаточно слабая оливиновая кристаллизация. Как правило, оливин представлен либо зародышами кристаллизации, либо небольшими призмами и скелетами. Лишь в отдельных образцах выявлены более крупные, в том числе, таблитчатые формы оливина, которые, как показывает анализ на СЭМ, являются фаялитом (таб. 11-44; рис. 11-48.а). Однако на очень многих участках кристаллизация оливина прошла слабо, и заметна только при большом увеличении (рис. 11-48.б). Это может иметь причиной как высокую скорость остывания расплава, так и отсутствие необходимых для образования оливина компонентов. Та же ситуация наблюдается в шлаке с Грауртлов (№ 218), где в пористом стекле силикатного состава оливиновые кристаллы, практически, отсутствуют.

Оруденение связано с кварцевой породой. Кварц представлен дроблеными зернами различных размеров; лишь в одном образце зафиксированы структуры в виде спаянных гранул, что может указывать на происхождение руды из месторождения типа медистых песчаников. Однако в целом для исследованной серии это не типично.

В кварце присутствуют включения железных оксидов. Вероятно, в большей степени железистые оксиды были приурочены к границам кварцевых жил. Поэтому часть железа была привнесена в шихту вместе с рудовмещающей кварцевой породой. Вместе с тем, есть основание предполагать, что в ряде случаев, когда количества железа в породе было слишком мало, применялись железосодержащие флюсы, которые брались из другого места, чем руда. На это указывают редкие включения хромитов, но эти включения отсутствуют там, где содержание оксидов железа очень высоко и добавлять их в плавку не имело смысла.

Третьим источником железа в шихте была медная руда. В плавку поступала руда из зоны цементации, на что указывает довольно пестрый ее состав. Из окисленных руд зафиксированы малахит и куприт, из вторичных сульфидов — ковеллин и халькозин, из первичных — халькопирит, изредка борнит. Причем, роль первичных сульфидов была достаточно велика. Плавка руды велась в условиях восстановительной атмосферы, чему способствовало присутствие серы, забиравшей часть кислорода из окисленной руды.

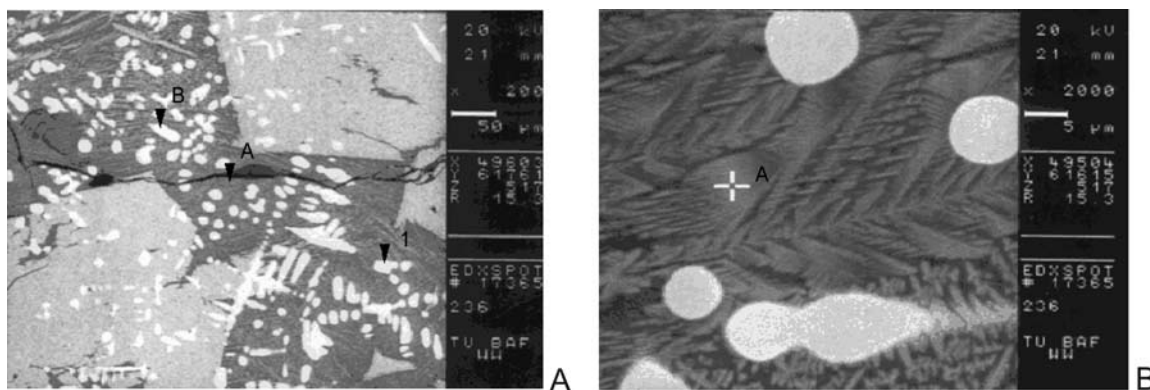


Рис. 11-48. Микроструктура шлака обр. 236 поселения Усть-Кенетай и СЭМ анализы: А) в стекле (темно-серая матрица) присутствуют крупные таблитчатые кристаллы оливина и его удлинённо-скелетные структуры (серое). Вторым компонентом являются оплавленные дендриты вюстита (белое). В) Кристаллизующиеся удлинённые скелеты фаялита (серое) и корольки вюстита (белое) в стекле (темно-серая матрица)

Нельзя исключать и целенаправленную компоновку шихты таким образом, чтобы в ней присутствовала, как окисленная, так и сульфидная руда, что значительно облегчает процесс плавки, но строгих доказательств этому нет.

В результате плавки халькопирита, происходило разделение сульфида меди и сульфида железа. Последний довольно быстро переходил в вюстит в процессе окисления, что вело к образованию корольков вюстита или его оплавленных дендритных структур. В шлаке из Усть-Кенетая в вюстите присутствуют небольшие примеси Si и Al (таб. 11-44; рис. 11-48.а). Особенно много дендритов и частиц вюстита в шлаке с Павловки (№ 216), но он, крайне редок в шлаке Грауртлов (№ 218). Впоследствии они восстанавливались до железа, которое присутствует в определенных количествах в шлаке. Часть железа, впрочем, формировалась непосредственно из частиц магнетита. Последние представлены неоплавленными частицами. Медные сульфиды (в том числе ковеллин и халькозин) утрачивали часть серы и образовывали изотропный сульфид меди, замещаемый далее медью и купритом. Дальнейшие реакции куприта с монооксидом углерода и серой вели к восстановлению меди. Этот процесс происходил достаточно полно, поскольку содержание куприта в шлаке очень невелико. На восстановительную атмосферу указывают и частицы железа. В шлаке Грауртлов есть корольки, имеющие промежуточные оптические характеристики между медью и железом, вероятно, сплав этих металлов.

Температура плавки осуществлялась в интервале 1300—1400 °С, иногда поднимаясь выше. Это можно заключить на основании перегрева куприта, образующего достаточно правильные корольки, и на основании присутствия корольков и оплавленных частиц железа. Наиболее вероятно их формирование из вюстита, поэтому предполагать более высокие температуры, достигавшие точки плавления железа, не следует. Тем более что магнетит образует, как правило, нормальные кристаллические формы или зерна и оплавленные его дендриты встречены только в одном образце. Последнее тоже может объясняться формированием из вюстита. Еще одна возможная причина появления оплавленного железа — насыщение его углеродом.

Плавка велась, по-видимому, довольно продолжительное время. Во всяком случае, все компоненты хорошо переработаны, и медь успела почти вся осесть. Шлак обычно не производит впечатление вязкого, что подтверждается осевшими частицами меди. Вместе с тем, не вполне ясно, почему оливин плохо выкристаллизовался. Подобная ситуация возможна лишь в случае очень высоких температур и отсутствия необходимых железистых компонентов.

Минералогическая группа IV

Один образец шлака с Павловки (№ 217) получен при плавке окисленной руды, главным образом малахита, происходящего из кварцевых пород. Кварц расплавляется, формируя стекло силикатного состава. Железистого компонента немного, поэтому фаялит не сформировался. Стекло насыщено расплавленными медными и купритовыми частицами.

Медь может образовываться непосредственно из малахита. Часто корольки меди окружены каймой куприта, от которой отделяются многочисленные корольки, которые постепенно деформируются. Видимо, температуры лишь незначительно превышали точку плавления куприта. Иногда происходит частичное растворение куприта, в результате чего вокруг формируются более мелкие его корольки и корольки меди, что сильно окрашивает все стекло. Более крупные корольки меди редки. Видимо, они оседают в шлаке. Часть этих мелких корольков формируется из расплавленного малахита. Растворенные в стекле медь (редко) и куприт (чаще) формируют густую сеть мелких дендритов. На некоторых участках встречены иголки делафоссита. Выявлены и крупные деформированные оплавленные зерна куприта, сформировавшиеся из зерен какой-то

окисленной руды.

Таким образом, шлак очень купритизирован, сформировался в окислительной атмосфере, при температуре около 1200—1300 °С. Остывание происходило быстро, в силу силикатного состава расплава. Таким образом, шлак соответствует минералогической группе IV, характерной для алакульских памятников. Но это единственный образец В целом же федоровской серии безусловно доминирует минералогическая группа VI (таб. 11-49).

Таб. 11-49

Минералогические группы шлака федоровских поселений Зауралья и Казахстана

Минералогическая группа	IV	VI
Памятник		
Усть-Кенетай		19
Павловка	1	1
Грауртлы		1
Федоровская культура	1 4,5%	21 95,5%

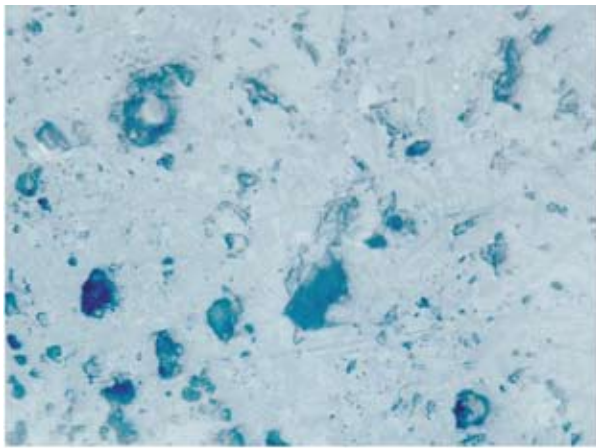
Межовская металлургия

Несмотря на то, что межовская культура является продолжением федоровской линии развития, шлаковые материалы межовской культуры решено выделить в отдельное описание, чтобы показать возможное развитие или изменение традиции.

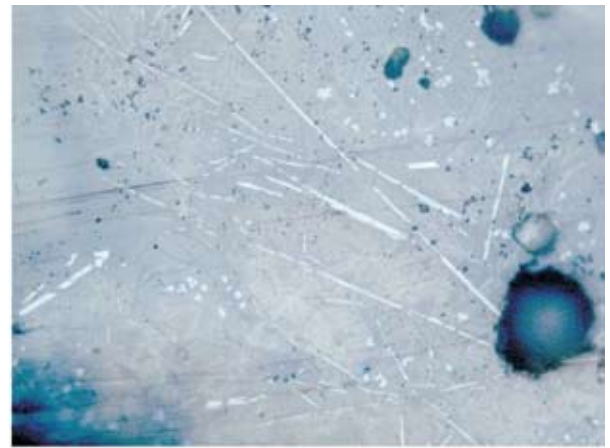
В шлаке Ильяски I (№ 2217—2221, 2218-1, обр. 2222 оказался лимонитом) и Ново-Байрамгуловского (№ 2231) кристаллизация прошла очень плохо: доминирует сравнительно пористое стекло силикатного состава, местами кристаллизация не прошла вовсе (рис. 11-VI.4). Иногда встречаются очень мелкие зародыши фаялитовой кристаллизации в виде иголок. В шлаке Ново-Байрамгуловского его чуть больше, иногда присутствуют небольшие призматические формы, но общее содержание не превышает 25% (рис. 11-VII.1, 2). Изредка отмечена мелкая магнетитовая сыпь. Из включений в шлаке Ильяски отмечены лишь редкие зерна кварца и очень мелкие редкие корольки меди, в единичных случаях железа. Некоторые корольки меди значительно светлее, возможно, они содержат примесь железа. В шлаке же Ново-Байрамгуловского корольки меди полностью отсутствуют, и на плавку медной руды указывает лишь присутствие на периферии шлака небольшого скопления игл делафоссита (CuFe_3O_2) (рис. 11-VII.2), который образуется в условиях окислительной атмосферы при низких концентрациях железа, при температурах около 1200 °С (Трофимов, Михайлов, 2002). Но в целом, атмосфера плавки была явно восстановительная. В данном случае, как и с федоровской металлургией, тоже до конца не ясна высокая скорость застывания шлака на фоне ничтожных потерь меди.

Ее удалось прояснить благодаря исследованию большой серии шлака поселения Архангельский Прииск II, где химическими анализами установлен ультракислый состав, обеспечивавший высокую вязкость (см. выше). Как уже говорилось, интересной особенностью памятника было сочетание плотного тяжелого шлака со шлаком на обмазке. Последние образцы (№ 2352—2354, 2357, 2358) имели ярко выраженную зональную структуру, в которых часть шлака представлена керамической массой. Ее сменяет ошлакованная пористая керамзитовая масса, в которой изредка встречаются мелкие зародыши фаялитовой кристаллизации, небольшие игольчатые кристаллы фаялита и мелкая магнетитовая сыпь. То есть, это керамика, подвергнутая воздействию температуры.

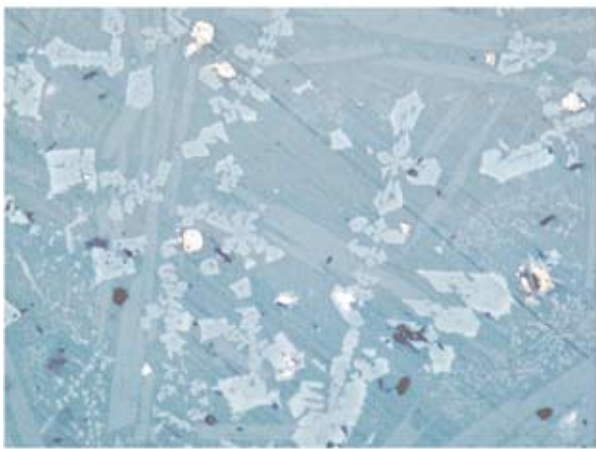
Собственно шлаковая масса этих ошлаковок (рис. 11-VII.5, 6) принципиально не отличается от плотных металлургических шлаков (рис. 11-VII.3, 4) (№ 2420—2422, 2424—2431,



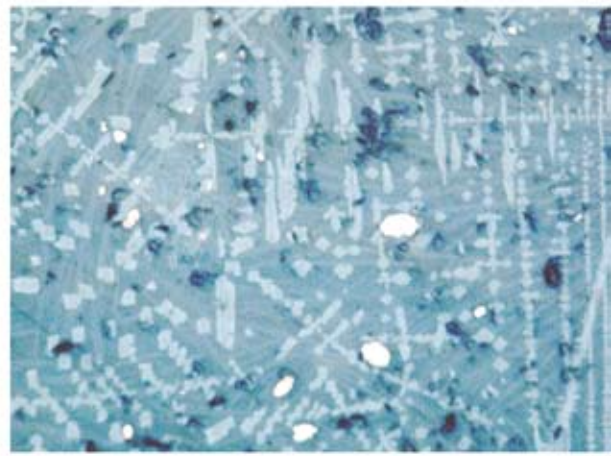
1



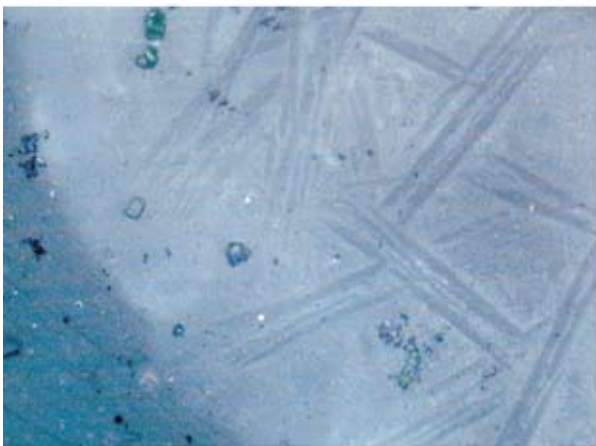
2



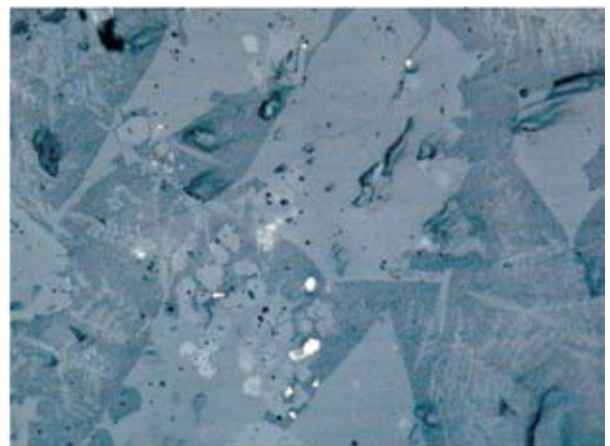
3



4



5



6

Рис. 11-VII. Микроструктура шлака межовских поселений: 1, 2 — Ново-Байрамгуловское (№ 2231), 3—6 — Архангельский Прииск II: 1 — зародыши фаялитовой кристаллизации (более светлые кристаллы); 2 — кристаллы делафоссита (длинные иголки) и мелкие октаэдры магнетита (светлые кристаллы). 3 — обр. 2431, шлак: удлиненно-призматические кристаллы фаялита, дендриты и скелеты магнетита, корольки меди; 4 — обр. 2431, шлак: игольчатые кристаллы фаялита (основной фон), дендриты магнетита и корольки меди. 5 — обр. 2353, ошлакованная обмазка: игольчатые кристаллы фаялита и корольки меди; 6 — обр. 2354, ошлакованная обмазка: таблитчатые кристаллы фаялита, между которыми прорастают его мелкие иголки, корольки меди, кристаллизующиеся октаэдры магнетита (светло-серые)

2436, 2440, 2442). Она представлена, преимущественно, пористым шлаковым стеклом, в котором фаялитовая кристаллизация в виде мелких зародышей, иголок или небольших удлиненных призм прошла лишь на отдельных участках. Местами встречаются группы игольчатых кристаллов, ориентированных в разном направлении, что указывает на то, что охлаждение при остывании шлака осуществлялось равномерно с разных сторон. Изредка встречается магнетит в виде тонкой сыпи, мелких скелетов и дендритов или октаэдров, выкристаллизовавшихся из расплава. Иногда по краю кристаллов магнетита присутствует окантовка из вюстита, что является признаком восстановительной атмосферы. Обращает на себя внимание то, что вюстит не расплавлен, и даже не оплавлен. Следовательно, с момента его формирования температура не поднималась выше 1360 °С.

В обеих группах шлака есть по образцу (№ 2431, 2354), в которых фаялитовая кристаллизация прошла хорошо (50—60%), фаялит представлен удлиненно-призматическими, игольчатыми и скелетными формами, но есть и таблитчатые кристаллы (рис. 11-VII.3, б). В обр. 2354 встречается зональный оливин, с более светлой внешней частью. Скорее всего, эта часть фаялитовая, а внутренняя более магнезиальная, насколько нам позволяют судить аналогичные синташтинские микроструктуры. Соответственно, не исключено, что эти образцы происходят из ультраосновных или основных пород.

Все это указывает на две вещи: в шихте явно не хватало железистого компонента, расплав затвердевал довольно быстро, а остывание происходило с разных сторон, то есть, скорее всего, в печи, этот шлак не изливался. В последнем случае кристаллизация фаялита вряд ли бы происходила, а если бы мелкие иглы и формировались, они были бы ориентированы в одном направлении: сверху вниз.

В шлаке часто встречаются корольки меди, но они очень мелкие, и их общее содержание колеблется обычно от 0,1 до 1%, хотя химические анализы показывают и более высокое содержание. В трех образцах (2422, 2424, 2436) обнаружены скопления корольков, сохранивших форму расплавленного рудного тела. Поскольку малахит при плавке переходит сначала в куприт, который потом восстанавливается в медь, то при этом более длительном процессе, сопровождающемся дутьем, эта форма вряд ли бы сохранилась. Более вероятно, что был расплавлен какой-то вторичный сульфид.

Куприт в этом шлаке вообще, практически, не представлен. Единичные окантовки медных корольков могли сформироваться позже. Это тоже указывает на восстановительную атмосферу плавки. То же подтверждает и обнаружение в отдельных образцах единичных корольков железа, восстановившегося или из оплавленной частицы вюстита или оплавившегося вследствие науглероживания.

В некоторых образцах зафиксированы зерна кварца. Рудные включения в них не обнаружены, но на связь руды с кварцевыми породами достаточно надежно указывает химический состав (таб. 11-39). Рудные минералы вообще почти не выявлены, за исключением сульфидов типа халькозина, изредка образующих небольшие корольки, каемку вокруг меди и в одном случае, заполняющих трещину в стекле.

Таким образом, температурные пределы плавки находились между температурами плавления фаялита и вюстита. Построение фазовой диаграммы системы $\text{FeO—Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2\text{—CaO}$ (рис. 11-50) для вюстита из шлака поселения Усть-Кенетай, сделанные на основе анализа на СЭМ, для трех шлаков и трех ошлаковок тиглей, сделанные на основе общего химического анализа (таб. 11-39, 11-44), позволили выяснить температуру, при которой вещество этого состава плавится. В принципе, подобные расчеты по общему химическому составу не вполне корректны, так как в шлаках бывает много нерасплавленных включений. Однако минералогический анализ показал их достаточную гомогенность и отсутствие крупных частиц кварца или иных тугоплавких включений.

Здесь следует сделать еще одну оговорку. Судя по химическому составу, два образца ошлаковки тигля (2467, 2477) содержат меньше собственно металлургического шлака

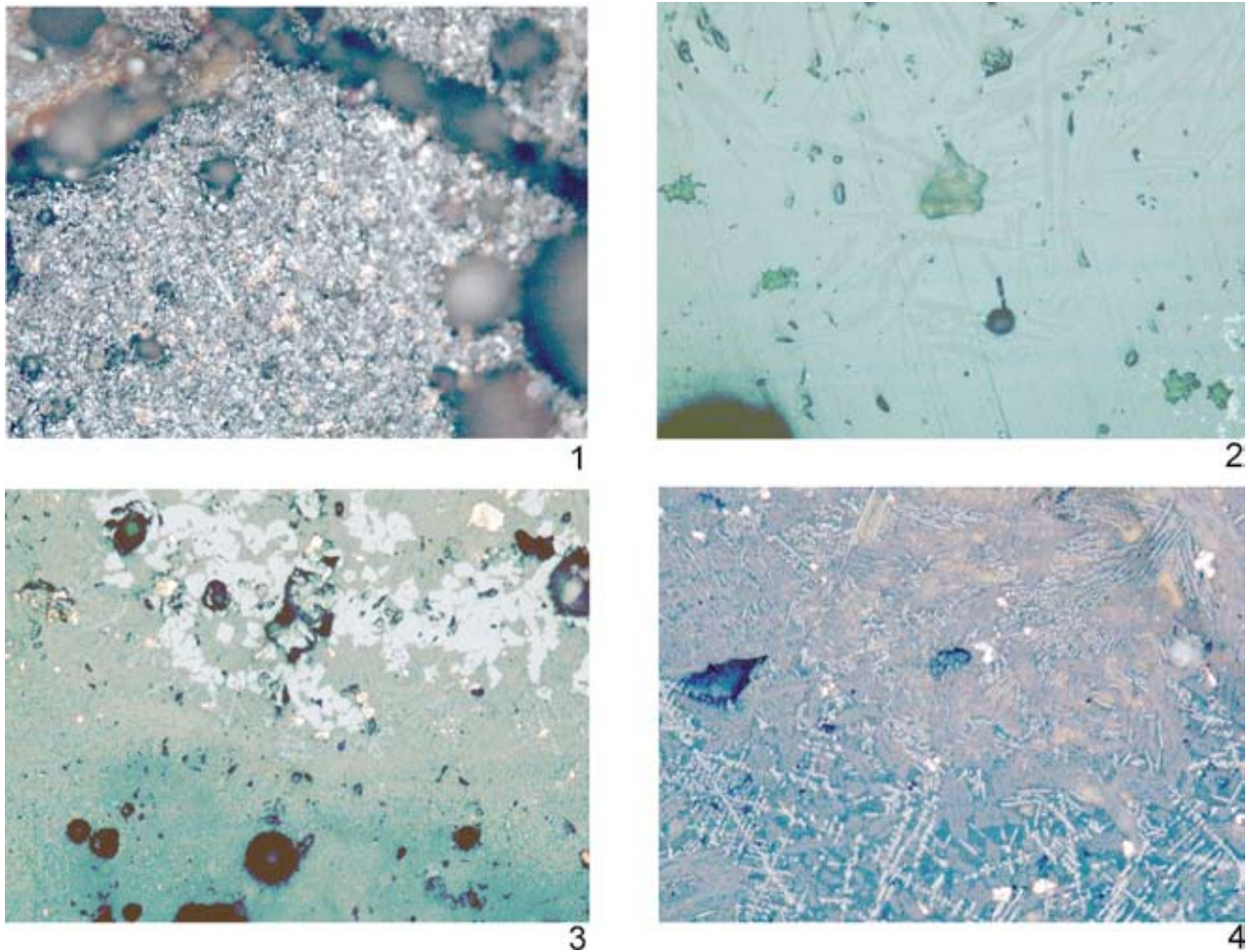


Рис. 11-VIII. Микроструктура ошлаковок тиглей поселения Архангельский Прииск II: Тигли-шлак: 1 — обр. 2479, корольки меди в керамзитовой ошлаковке, 2 — обр. 2467: мелкие игольчатые кристаллы фаялита в стекле; 3 — обр. 2455, корольки меди, частицы магнетита, отделяющиеся от более крупного зерна и мелкие дендриты магнетита; 4 — обр. 2455: корольки меди, дендриты магнетита и иглы делафоссита в подкрашенном купритом стекле

(крайне низкое содержание оксида железа и меди), а один образец (2451) представлен именно шлаком. В результате, все шлаки лежат в области температур плавления около 1200—1300 °С (обр. 2231, 2422, 2429), в то время, как температура плавления тигельной массы находится в пределах 1400—1500 °С. То есть, тигли могли выдерживать очень высокие температуры, а их оплавление происходило уже за счет контакта со шлаковой массой и расплавленным металлом или когда температура приближалась к 1400 °С. Расплавленный вюстит образца Усть-Кенетай (обр. 236) плавится при температуре около 1360—1370 °С.

Поскольку, несмотря на ультракислый состав межовского шлака, вся медь из него осела, вязкость его в течение почти всей плавки была незначительной, поэтому температура расплава была выше. Но присутствующий в этом шлаке вюстит не расплавлен, следовательно, температура не превышала температуру его плавления. Соответственно, наиболее вероятный температурный диапазон плавки был 1200—1360 °С. Высоким температурам способствовали не только небольшие объемы печи, но и экзотермальная реакция горения серы. После расплавления и восстановления руды, сера выгорала, прогорала и значительная часть угля, что вело к снижению температуры и быстрому

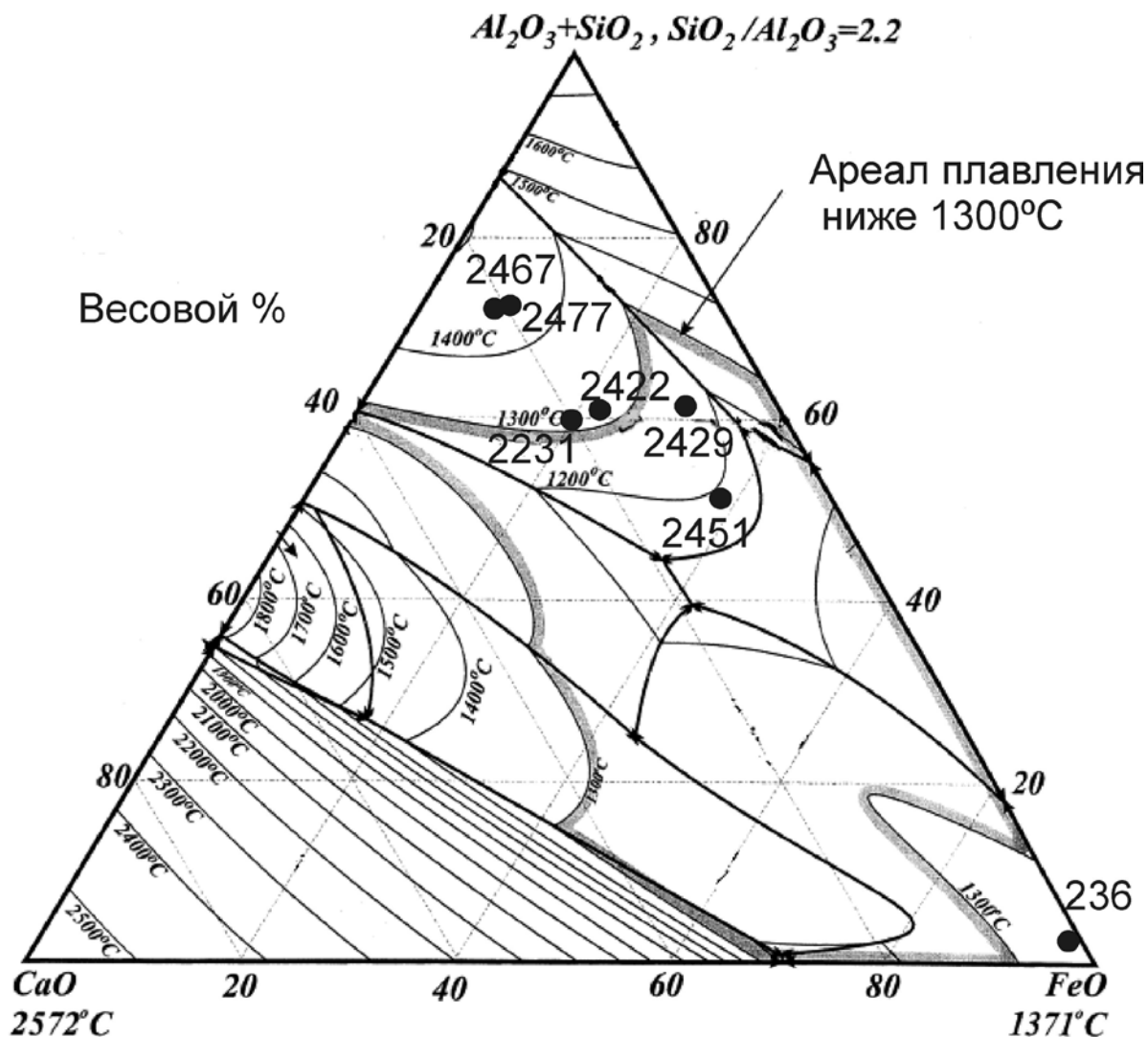


Рис. 11-50. Фазовая диаграмма системы FeO—Al₂O₃+SiO₂—CaO для вюстита в шлаке поселения Усть-Кенетай (обр. 236), шлака (обр. 2422, 2429) и ошлаковок тиглей (обр. 2451, 2467, 2477) поселения Архангельский Прииск II и шлака поселения Ново-Байрамгуловское (обр. 2231)

отвердеванию шлака при температуре около 1100—1200 °С, на что указывает наличие фаялитовой кристаллизации.

Выводы по химизму и микроструктуре шлака

Описанный шлак достаточно парадоксален. При ярко выраженном кислом составе он демонстрирует совершенно ничтожные потери меди. Все рудные компоненты шихты были переработаны полностью, а вся восстановленная медь смогла успешно осесть. Это было возможно лишь при высоких температурах, позволявших снизить вязкость. Но для этого требовалось интенсифицировать дутье, что должно было вести к формированию окислительной среды, но этого не происходило. Следовательно, либо речь должна идти о какой-то специфической конструкции печи, но более вероятно, об использовании в плавку вторичных сульфидов, что позволяло при высокой температуре создавать восстановительную атмосферу. К тому же, их присутствие снижало вязкость расплава. Но после того как они расплавились и восстановились в медь, шлак почти сразу затвердевал.

Основная масса шлака представлена шлаком, полученным при плавке руды из кварцевой породы в условиях восстановительной атмосферы. Для Северной Евразии это II минералогическая группа, но активное использование сульфидных руд сближает этот шлак с минералогической группой VII. Тем не менее, в этих плавках доминировали, все же, вторичные сульфиды. Поэтому более правильно говорить о промежуточной группе II—VII. Вместе с тем, в обеих группах, выделенных по форме, присутствует шлак (№ 2431, 2354), в котором была высока доля железистого компонента, и который по формальным признакам может быть отнесен к шлаку I минералогической группы. К той же группе II—VII относятся, вероятно, шлаки Ильяски I и Ново-Байрамгуловского (таб. 11-51). В принципе, близки им и приуральские межовские шлаки с Юкалекулево и Новокизганово, но там в плавке более активно использовался халькопирит, что позволило отнести все эти образцы к VII минералогической группе. То есть, о преимущественной плавке сульфидных руд из кварцевых пород можно говорить, как о межовском технологическом стандарте, восходящем к федоровской металлургии. Различия наблюдаются лишь в степени использования первичных сульфидов типа халькопирита или борнита, но судить о значимости этих различий пока невозможно из-за ограниченности проанализированной серии. Присутствие в федоровской и межовской сериях единичных образцов иных групп крайне ограничено, и не выбивается за рамки нормальных отклонений.

Именно плавка сульфидов позволяла сохранять восстановительную атмосферу при более высоких температурах, чем это практиковалось в синташтинское время. Это имело следствием и шлакование обмазки печи, не характерное для синташтинского времени. Это выводит нас на еще одну проблему, а именно — использование тиглей, обнаруженных на межовских памятниках. Большинство этих тиглей довольно плоские, что для плавки меди не функционально. Но поместить в них руду с углем тоже невозможно. Поэтому были проведены также исследования ошлаковок тиглей.

Таб. 11-51

Распределение минералогических групп шлака межовской культуры

Памятник \ Минералогическая группа	I	II—VII
Ильяска I		6
Ново-Байрамгуловское		2
Архангельский Прииск II	2	17
Межовская культура	2 7,4%	25 92,6%

Как следует из химического анализа, принципиальной разницы состав ошлаковки тигля и шлак не демонстрируют (таб. 11-39, 11-40). Анализ под микроскопом выявил вполне ожидаемую зональную структуру, с керамической массой, в почерневшей верхней части которой встречаются медные включения, и собственно ошлаковкой, в которой иногда попадаются участки с мелкой кристаллизацией фаялита, дендритов и октаэдров магнетита, хотя в целом кристаллизация прошла крайне слабо. В одном из образцов (№ 2455) в ошлаковке присутствуют чуть оплавленные распадающиеся тела какого-то железного оксида, из которых формируются оплавленные октаэдры магнетита. Следовательно, в тигле присутствовал железный оксид, который вряд ли связан с ошлаковкой самого тигля, а тем более, с переплавляемым металлом. Видимо, тигли использовались для плавки руды. В том же образце обнаружены очень мелкие иглы делафоссита, оксида меди и железа, формирующегося в окислительной среде. Этот минерал обычно тоже формируется в шлаках, связанных с плавкой руды. Наконец, во всех этих шлаках присутствуют очень небольшие корольки меди, чаще в крайне незначительном количестве,

иногда они образуют небольшие скопления. Лишь в образце 2455 их чуть больше, и встречаются участки стекла, слегка подкрашенные красным цветом, что указывает на обилие в этих местах крайне мелких медных корольков, подкрашивающих стекло, но не различимых при этом увеличении. Таким образом, в ошлаковках тиглей присутствует тот же минеральный набор, что и в обычных шлаках, что позволяет предполагать, что, во всяком случае, часть этих тиглей использовалась при плавке руды.

Это предположение было проверено с помощью спектрального анализа (таб. 11-52). При обработке данных спектрального анализа на первом этапе была сделана попытка увидеть химические различия между шлаками разного типа. Было высчитано среднее значение каждого химического элемента для каждой группы шлака (таб. 11-53). При этом необходимо помнить об определенной условности данной процедуры, так как в тех случаях, когда какой-то элемент был более 1, например, за используемое значение принималась 1. Данная процедура для сопоставления шлаков разных групп сама по себе бессмысленна, так как в случае присутствия в какой-то из групп шлака (например, шлака на обмазке) двух групп шлака разных по происхождению или технологии с полярным содержанием отдельных элементов, их среднее значение может соответствовать среднему значению элементов в другой группе шлака. При анализе шлака на обмазке или на керамическом тигле мы старались отбирать именно шлаковую массу, а не керамическую составляющую. Но это слабо контролируемый процесс, так как керамическая составляющая при расплавлении могла попасть в шлаковую массу. Но то же относится и к обычному плотному шлаку, в который могла попасть протекшая обмазка, и это могло сказаться на составе микропримесей. Поэтому данная процедура была необходима для оценки возможности изменения состава микропримесей под воздействием данного фактора.

Анализ данной таблицы показывает, что принципиальных изменений, по сравнению с керамическими массами, в шлаке не демонстрируют следующие элементы: Ni, Cr, Mn, V, Ti, As, Sn, Sb. Содержание некоторых элементов в шлаке выше, но не значительно: Co. Более заметно (на полпорядка или на порядок) повышение содержания Cu, Zn, Pb, Ag, Ba. При сопоставлении групп шлака между собой хорошо заметно, что в плотных шлаках выше содержание Cu, Zn, Pb, Ag, чем в шлаках с тиглей или обмазки. Поэтому не исключено, что снижение доли этих элементов обусловлено именно обмазкой. В шлаках с тиглей чуть выше содержание Ti, но в пределах нормальных отклонений. Однако уменьшается содержание Sb, сближаясь с содержанием этого элемента в керамзитовых шлаках. Но принципиальных отклонений в этой группе шлака не происходит, и нельзя сказать, что в их формировании обмазка принимала очень активное участие. В шлаках на обмазке заметно небольшое (приблизительно в 2 раза) снижение содержания Ni, Co, As. Но принципиальных отклонений тоже не наблюдается, что позволяет применять ко всем этим шлакам статистические процедуры, поскольку, если обмазка и оказывала воздействие на химический состав шлаков, оно было достаточно равномерно относительно каждой отдельно взятой группы.

Эти закономерности были затем подтверждены построенными частотными диаграммами и диаграммами соотношения пар элементов-примесей. По большинству элементов тигельные шлаки оказались в тех же полях, что и шлак, сформировавшийся на обмазке. Поэтому это не ошлаковка тигля при переплавке металла, это тоже шлак, полученный при плавке руды. Здесь мы проиллюстрируем полученный результат лишь диаграммой Pb—Zn, так как эти элементы должны в большей степени отражать именно рудный шлак, а не состав глиняной массы (рис. 11-54). Мы видим, что все образцы располагаются по одной прямой. В рудном шлаке содержание этих элементов выше, а в керамзите оно минимально. В тигельных ошлаковках содержание этих элементов увеличиваются, а в ошлакованной обмазке их содержание среднее между содержанием в керамзите и обычном

Спектральный анализ шлака поселения Архангельский Прииск II

Обр	Материал	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Bi	Mo	Ba	Sn	Sb
2402	керамзит	0,01	0,002	0,07	0,09	0,015	0,2	0,02	0,01	0,002	0,00005	0,015	<0,001	0,0015	0,07	0,005	<0,003
2403	керамзит	0,01	0,003	0,07	0,09	0,015	0,2	0,15	0,01	0,002	0,00007	0,015	<0,001	0,0015	0,07	0,0005	<0,003
2451	тигель	0,07	0,05	0,03	0,09	0,005	0,15	>1	nd	0,02	0,001	0,07	<0,001	>0,03	0,05	0,0015	0,005
2455	тигель	0,01	0,003	0,07	0,09	0,01	0,4	0,9	0,01	0,007	0,0007	0,02	<0,001	0,002	0,07	0,0015	0,0015
2457	тигель	0,01	0,002	0,05	0,07	0,01	0,4	0,05	0,01	0,003	0,00005	0,007	<0,001	0,001	0,07	0,0005	<0,003
2466	тигель	0,015	0,005	0,05	0,07	0,01	0,4	>1	0,02	0,005	0,002	0,01	<0,001	0,03	0,09	0,005	<0,003
2467	тигель	0,015	0,003	0,05	0,1	0,01	0,3	0,15	0,01	0,003	0,00015	0,015	<0,001	0,002	0,1	0,0005	<0,003
2473	тигель	0,015	0,005	0,05	0,09	0,01	0,4	0,1	0,01	0,002	0,00015	0,005	<0,001	0,0007	0,07	0,0007	0,0015
2477	тигель	0,01	0,003	0,05	0,07	0,01	0,4	0,15	0,01	0,003	0,00015	0,01	<0,001	0,003	0,07	0,0005	0,0015
2479	тигель	0,1	0,04	0,03	0,09	0,015	0,3	>>1	nd	0,03	0,002	0,15	<0,001	0,015	0,07	0,01	0,01
2480	тигель	0,015	0,005	0,03	0,09	0,01	0,3	0,7	0,07	0,007	0,0004	0,03	<0,001	0,01	0,07	0,0005	0,0015
2439	шлак	0,03	0,01	0,07	0,07	0,01	0,2	>1	0,1	0,05	0,001	0,05	<0,001	0,01	0,07	0,03	0,007
2445	шлак	0,07	0,1	nd	>1	>0,1	0,3	0,3	0,1	0,03	0,0015	0,01	<0,001	0,002	0,1	0,001	0,0015
2352	шлак на обмазке	0,015	0,003	0,1	0,07	0,01	0,2	0,3	0,007	0,003	0,0001	0,01	<0,001	0,001	0,07	0,0005	<0,003
2353	шлак на обмазке	0,015	0,005	0,07	0,07	0,01	0,1	0,7	0,03	0,015	0,0009	0,03	<0,001	0,003	0,07	0,0007	0,003
2354	шлак на обмазке	0,015	0,003	0,05	0,09	0,01	0,1	0,5	0,04	0,007	0,0002	0,015	<0,001	0,007	0,07	0,0007	<0,003
2356	шлак на обмазке	0,015	0,003	0,07	0,07	0,015	0,2	0,3	0,02	0,003	0,0002	0,03	<0,001	0,005	0,06	0,0005	<0,003
2357	шлак на обмазке	0,015	0,003	0,04	0,07	0,01	0,15	0,3	0,03	0,005	0,00015	0,015	<0,001	0,01	0,07	0,0005	<0,003
2358	шлак на обмазке	0,01	0,003	0,05	0,07	0,01	0,1	0,1	0,03	0,01	0,0015	0,02	<0,001	0,002	0,03	0,0005	<0,003
2416	шлак на обмазке	0,015	0,007	0,1	0,1	0,015	0,2	>1	0,04	0,02	0,0015	0,04	<0,001	0,0015	0,03	0,0005	<0,003
2440	шлак на обмазке	0,007	0,003	0,07	0,07	0,01	0,3	0,3	0,015	0,007	0,0002	0,015	<0,001	0,002	0,05	0,0005	<0,003
2442	шлак на обмазке	0,02	0,01	0,05	0,09	0,015	0,3	>1	0,15	0,05	0,0015	0,03	<0,001	0,007	0,07	0,0005	0,003
2443	шлак на обмазке	0,01	0,003	0,1	0,1	0,015	0,3	0,2	0,015	0,03	0,0001	0,007	<0,001	0,001	0,07	0,0005	<0,003
2444	шлак на обмазке	0,03	0,015	0,1	0,1	0,003	0,3	>1	0,09	0,015	0,0015	0,01	<0,001	0,02	0,03	0,0005	0,007
2420	шлак	0,02	0,007	0,07	0,1	0,015	0,3	>1	0,15	0,07	0,0015	0,04	<0,001	0,005	0,07	0,0005	0,003
2421	шлак	0,02	0,007	0,07	0,1	0,015	0,3	>1	0,2	0,07	0,0015	0,04	<0,001	0,005	0,07	0,0005	0,003
2422	шлак	0,02	0,007	0,05	0,1	0,015	0,3	>1	0,2	0,07	0,0015	0,05	<0,001	0,007	0,07	<0,0005	0,005
2423	шлак	0,02	0,007	0,15	0,1	0,015	0,3	>>1	0,05	0,015	0,0007	0,05	<0,001	0,007	0,07	<0,0005	0,005
2424	шлак	0,02	0,007	0,07	0,1	0,015	0,3	>1	0,15	0,1	0,0015	0,04	<0,001	0,007	0,05	0,0005	0,003
2425	шлак	0,02	0,007	0,05	0,1	0,015	0,3	1	0,1	0,05	0,0015	0,03	<0,001	0,005	0,07	0,0003	0,0015
2426	шлак	0,03	0,007	0,05	0,1	0,015	0,2	1	0,1	0,05	0,0015	0,03	<0,001	0,005	0,05	0,0003	0,0015
2427	шлак	0,05	0,015	0,07	0,1	0,015	0,2	>1	0,1	0,05	0,0015	0,06	<0,001	0,01	0,07	0,0003	0,003
2428	шлак	0,015	0,01	0,07	0,1	0,015	0,2	>1	0,1	0,05	0,002	0,03	<0,001	0,005	0,05	0,0003	0,0015
2429	шлак	0,03	0,01	0,05	0,09	0,015	0,4	>1	0,15	0,05	0,002	0,04	<0,001	0,005	0,05	0,0005	0,0015
2430	шлак	0,02	0,01	0,07	0,1	0,015	0,2	>1	0,15	0,05	0,0015	0,02	<0,001	0,005	0,09	0,0003	0,0015
2431	шлак	0,05	0,015	0,07	0,1	0,015	0,2	>>1	0,3	0,1	0,002	0,15	<0,001	0,03	0,05	0,0005	0,01
2432	шлак	0,02	0,005	0,07	0,1	0,015	0,2	>1	0,07	0,05	0,0015	0,07	<0,001	0,015	0,03	0,0003	0,007
2433	шлак	0,03	0,01	0,07	0,1	0,015	0,2	>1	0,15	0,05	0,002	0,05	<0,001	0,007	0,07	0,0003	0,003
2434	шлак	0,05	0,01	0,1	0,09	0,01	0,3	>1	0,1	0,05	0,001	0,05	<0,001	0,007	0,07	0,0005	0,003
2435	шлак	0,02	0,01	0,07	0,1	0,015	0,2	>1	0,09	0,03	0,001	0,05	<0,001	0,01	0,09	0,0005	0,003
2436	шлак	0,02	0,01	0,07	0,09	0,01	0,3	>1	0,07	0,03	0,001	0,03	<0,001	0,005	0,06	0,0003	0,003
2437	шлак	0,02	0,007	0,07	0,09	0,015	0,2	>1	0,07	0,03	0,0009	0,03	<0,001	0,003	0,06	0,0007	0,0015
2438	шлак	0,03	0,007	0,15	0,1	0,01	0,2	>1	0,07	0,03	0,001	0,07	<0,001	0,004	0,09	0,0007	0,005
Чувствительность анализа		0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,001	0,003	0,0003	0,00003	0,01	0,001	0,0001	0,01	0,0005	0,003

Усредненное содержание элементов-примесей для разных группы шлака поселения Архангельский Прииск II

Материал	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Ba	Sn	Sb
керамзит	0,01	0,003	0,07	0,09	0,015	0,2	0,09	0,01	0,002	0,00006	0,015	0,0015	0,07	0,0028
шлаки на тиглях	0,029	0,013	0,05	0,08	0,01	0,34	0,56	0,02	0,009	0,00073	0,035	0,0104	0,07	0,0023
шлак на обмазке	0,015	0,005	0,07	0,08	0,011	0,2	0,6	0,0425	0,015	0,00071	0,02	0,0054	0,06	0,0006
шлак плотный	0,027	0,009	0,08	0,1	0,014	0,25	1	0,1179	0,05	0,00143	0,049	0,0077	0,06	0,0004
Шлак неопределенный	0,05	0,055	0,07	0,54	0,055	0,25	0,65	0,1	0,04	0,00125	0,03	0,006	0,09	0,0155

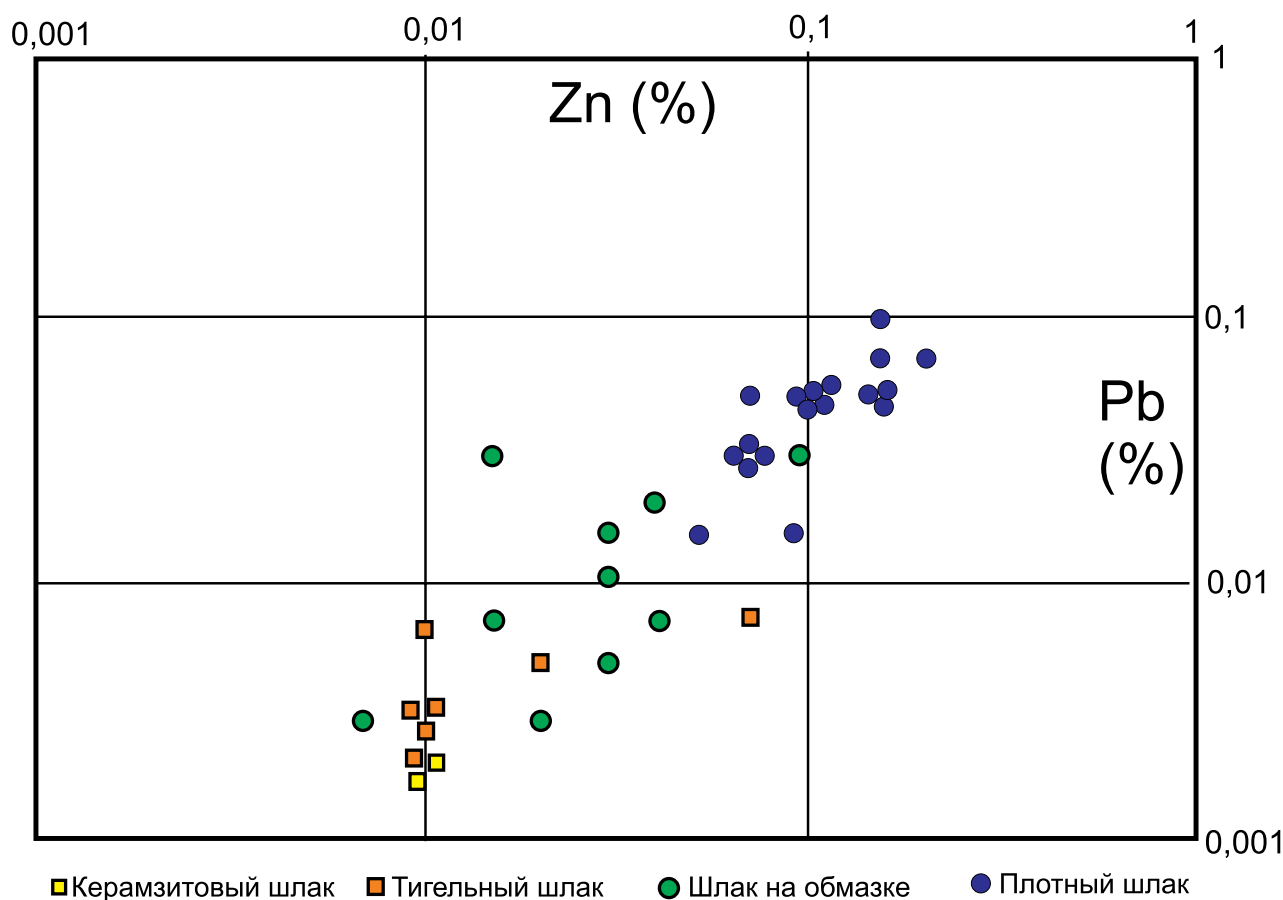


Рис. 11-54. Диаграмма соотношения Zn-Pb в шлаке поселения Архангельский Прииск II

шлаке. Это вполне ожидаемая картина, которая показывает дрейф химического состава ошлаковок тиглей от состава керамических масс к составу рудного шлака. Соответственно, по меньшей мере, часть этих тиглей использовалась при плавке руды, несмотря на кажущуюся бессмысленность этого. Наиболее вероятной причиной помещения тиглей в печь было стремление защитить под печи от протекающей меди и шлака. В этих плавках мы фиксируем высокие температуры и, вероятно, достаточно продолжительный период плавки (хорошо осевшая медь и полностью переработанные компоненты шихты), что приводило к интенсивному шлакованию стенок печи. Но если обмазку печи нужно было удалять лишь иногда, прикипание шлака к поду печи является более негативным, так как при извлечении меди, тоже опускающейся вниз, было необходимо отколачивать шлак от пода, что вело бы к полному разрушению пода печи и повреждению ее основания.

Шлаки андроновских памятников

Часть шлака происходит с памятников, имеющих алакульские, федоровские или черкасульские слои. На этих памятниках выделяется несколько минералогических групп шлака.

Минералогическая группа I

Три образца с поселения Коркино (№ 815, 818, 820) относятся к I минералогической группе, связанной с плавкой руды в ультраосновной породе. В шлаке очень хорошо прошла кристаллизация оливина в виде относительно крупных таблитчатых кристаллов, между которыми прорастают мелкие удлиненно-призматические и игольчатые кристаллы. Часто внешняя кайма кристаллов светлее. Вероятно, эта часть содержит больше оксида железа, а внутренняя часть более магнезиальная. Исключением является образец 815, в котором фаялит представлен мелкими игольчатыми кристаллами.

Встречаются зерна хромита средних размеров, в одном случае с толстой магнетитовой каймой. Иногда они вместе с небольшими медными частицами заключены в зернах серпентинита. Вокруг таких расплавляющихся зерен часто идет формирование оливиновых кристаллов. Магнетит представлен мелкой редкой сыпью.

Рудные минералы представлены мелкими корольками или расплавом сульфида в заполнении трещин, мелкими редкими зернами куприта, изредка малахитом. Потери меди в шлаке (в виде мелких редких корольков) крайне незначительны и не превышают 1%.

В данном случае в плавку поступила руда (вторичные сульфиды с примесью окисленных минералов) из ультраосновных серпентинизированных пород. Температура держалась в промежутке 1200—1300 °С. Благодаря сульфидам атмосфера плавки была восстановительная. Не исключено, что этому способствовало использование печей, пристроенных к колодцам. Остывание происходило медленное, в печи. По своим параметрам плавка идентична синташтинской.

Минералогическая группа II

К этой минералогической группе относится всего несколько образцов. Это зауральские обр. 81 с поселения Язево III, обр. 32 с поселения Кипель, обр. 268 и 816 с поселения Коркино и один образец (№ 266) с центральноказахстанского поселения Ак-Мая.

Рудные минералы в шлаке этой группы явно связаны с кварцем, который представлен небольшими, иногда расплавляющимися зернами. В кварце могут присутствовать небольшие включения меди или кусочков руды. Рудные минералы представлены малахитом, зернами халькозина, хризоколлы, изредка мелкими включениями халькопирита.

Вторичный сульфид (халькозин) чаще представлен корольками или расплавом, заполняющим трещины. Во многих случаях этот расплав замещается расплавом куприта. Последний также замещает зерна малахита, формирует расплавленные корольки или заполняет трещины в стекле. Но количество куприта невелико. Несколько лучше представлены корольки меди, но чаще они мелкие и их количество невелико. Наиболее крупные могут иметь сульфидную кайму, замещаемую купритом. На некоторых участках фиксируется скопление мелких медных корольков, которые объединяются в более крупные (эти крупные включения, вероятно, затем оседают вниз). Изредка участки стекла подкрашены множеством мелких растворенных медных и купритовых корольков. Отдельные частицы куприта не расплавлены, но это встречается не столь часто.

Количество включений меди выше количества включений куприта. Атмосфера плавки была, преимущественно, умеренно окислительная и восстановительная. Последнее подчеркивается тем, что изредка и в небольших количествах в шлаке присутствуют мелкие частицы восстановленного железа. Железо зафиксировано и внутри отдельных зерен магнетита.

Количество магнетита обычно невелико, шлак насыщен мелкими скелетами магнетита только в обр. 268 из Коркино. В остальных же магнетит представлен мелкими октаэдрами, сыпью или очень мелкими скелетами или дендритами, выпадающими из расплава.

Фаялитовая кристаллизация прошла очень слабо и далеко не во всех образцах, видимо сказывался недостаток железистого компонента и отсутствие устойчивой восстановительной атмосферы. Большая часть шлака представлена силикатным стеклом, в котором происходит кристаллизация фаялита в виде мелких зародышей, иголок, и только в шлаке Кипели присутствует фаялит в форме вытянутых скелетных призм, от крупных до мелких, между которыми прорастают его игольчатые структуры.

Таким образом, в плавку поступала руда из кварцевых пород, и шлак был достаточно кислого состава. Вероятно, попытки изменить эту ситуацию добавками флюсов не практиковались. В плавку поступали окисленные руды и вторичные сульфиды. Доля сульфидов была не слишком велика, но, благодаря им, удавалось достигать восстановительной атмосферы и избегать больших потерь меди в виде куприта. Но после ослабления дутья отвердевание шлака проходило очень быстро. Наиболее вероятным температурным диапазоном является 1200—1300 °С.

Минералогическая группа VII

Выявлена и небольшая группа шлака, маркирующего активное использование в плавке халькопирита. В данном случае нет ни одного образца, где бы плавил чистый халькопирит без примеси окисленной руды, доля его в отдельных шлаках различается, но по формальным признакам этот шлак все же относится к данной группе. Это обр. 269 и 270 поселения Коркино в Зауралье и обр. 265 поселения Ак-Мая в Центральном Казахстане.

Как уже сказано, в этих шлаках чистый халькопирит в плавку не поступал. Бралась руда из зоны цементации, в которой вместе с окисленными минералами присутствовало достаточное количество халькопирита. Это хорошо видно из анализа куска ошлакованной рудовмещающей породы (обр. 270), где в силикатной породе имеются очень редкие частицы меди, куприта, хризоколлы, халькопирита, пирита, железа и магнетита. В образцах собственно шлака отмечены отдельные зернышки кварца, поэтому не исключено, что кварц был рудовмещающей породой. В коркинском шлаке отмечено одно мелкое зернышко хромита в кайме магнетита, но это не основание для отнесения шлака к I минералогической группы из-за его единичности.

Из рудных минералов в шлаке Коркино (в шлаке Ак-Мая они все переработаны) встречаются небольшие зерна хризоколлы, малахита, куприта, ассоциации малахита и ковеллина, мелкие зернышки халькопирита. Вторичные сульфиды присутствуют в виде расплава, расплавляется по краям зерен и хризоколла. Встречается расплав куприта, причем он образуется за счет окисления расплава сульфида. Куприт образуется и за счет расплавления хризоколлы, но иногда из руды фиксируется непосредственное образование меди. Благодаря наличию сульфидных минералов создавалась восстановительная атмосфера, что делало это возможным. Эта восстановительная атмосфера подтверждается также наличием отдельных частиц восстановленного железа.

Присутствует много оплавленных зерен, корольков и дендритов вюстита крупных размеров. Часто они образуют решетчатую структуру. Видимо сформировались они при расплавлении первичного сульфида, халькопирита. Вместе с тем часто заметно, что эти дендриты формируются и при отделении корольков от крупных расплавляющихся зерен вюстита.

В шлаке из Ак-Мая хорошо прошла кристаллизация фаялита. Это крупные кристаллы и призмы, между которыми прорастают иголки, мелкие скелеты и другие структуры.

Вязкость расплава была невысокой, так как шлак был явно основного состава; в

результате потери металла совершенно незначительны: выявлено лишь несколько очень мелких частиц меди.

Таким образом, в плавку поступала естественная смесь сульфидной (включая халькопирит) и окисленной руды из месторождения в кварцевой породе. Температуры, достигаемые в процессе плавки, благодаря экзотермальной реакции горения серы, были достаточно высоки. Судя по расплавленному вюстититу, они колебались в промежутке 1200—1400 °С. Благодаря хорошему присутствию сульфидов формировалась более восстановительная атмосфера, чем в шлаке II минералогической группы. Некоторые особенности микроструктур обусловлены и использованием в плавке халькопирита. Поэтому в данном случае возможно отнесение этого шлака ко II минералогической группе. Оставляя его в VII группе, мы следуем лишь формальным признакам.

Как видим, в этой группе памятников преобладает шлак II минералогической группы (таб. 11-55). Доля его составляет 46%, но, поскольку эта минералогическая группа формируется благодаря восстановительной атмосфере плавки за счет примеси вторичных сульфидов, а также выше оговоренной возможности объединения с ней шлака VII группы, то общая доля этого шлака в выборке составит 73%. Остальной шлак представлен I минералогической группой, характерной для синташтинских памятников.

Таб. 11-55

Минералогические группы шлака андроновских поселений Зауралья и Казахстана

Минералогические группы	I	II	VII
Памятники			
Коркино	3	2	2?
Язеве III		1	
Кипель		1	
Ак-Мая		1	1?
		5 46%	3? 27%
Итого:	3 27%	8 73%	

В принципе, для зауральских памятников (Коркино, Язеве) более вероятно отнесение шлака к алакульскому времени.

Финальная бронза

В рамках этого времени наиболее ранней культурой является саргаринская, формирующаяся в XIV в. до н. э., а следом (с XIV/XIII в. до н. э.) возникают, сосуществующие с ней родственные культуры — бегазы-дандыбаевская, карасукская и ирменская (Grigoriev, 2002, p. 283, 287, 288). Эпоха финальной бронзы отличается значительным количеством массивных металлических предметов, что указывает на большие объемы производства.

С учетом скудости использованных шлаковых источников, очень сложно сказать что-то определенное о дальнейшем развитии металлургического производства в эту эпоху, тем более что для Алтайского региона не вполне очевидны и историко-культурные процессы этого времени. Во всей степной зоне в этот период происходит определенная культурная нивелировка, связанная с формированием культур валиковой керамики (Могильников, 1976; Черных, 1983). Но если для Казахстана или степного Зауралья проблема формирования этих культур относительно проста, они связаны, прежде всего, с алакульской культурой (Григорьев, 2000б, с. 399), то на востоке, где алакульские памятники представлены крайне слабо, возникают проблемы. Для нас не очевидно, что памятники Алтая этого времени следует рассматривать в качестве саргаринских, а не трушниковских, как это предлагалось С. С. Черниковым (Черников, 1960). Доля

федоровского компонента в их формировании была явно выше. К сожалению, присутствие поселенческого федоровского керамического материала с валиками часто сбивает с толку исследователей. Так, при исследовании поселения Советский Путь — 1 были выявлены федоровская и саргаринская посуда, которые стратиграфически и планиграфически не разделяются (Ситников, 1998, с. 71). Однако, как правило, саргаринские слои на многослойных памятниках выделяются предельно четко. На наш взгляд, выделяемая 5 группа саргаринской керамики является, по-видимому, поселенческой федоровской. Присутствие в этом комплексе валиковой посуды и создало впечатление того, что слои стратиграфически не разделяются. Тем не менее, все эти культурные типы являются составляющими ЕАМП, и могут рассматриваться именно в этих рамках.

Однако ситуация осложняется появлением на памятниках бегазы-дандыбаевской и ирменской керамики, чье соотношение с саргаринской тоже является серьезной проблемой. Поэтому на специфику производства в эпоху финальной бронзы могли оказать влияние слишком многие компоненты: алакульский, федоровский, саргаринский, ирменский и бегазы-дандыбаевский. При этом могли появляться технологические традиции, обусловленные взаимодействием этих компонентов. С учетом возможных локальных специфик, связанных с особенностями рудной базы, проблема на данном этапе становится просто неразрешимой, что крайне досадно на фоне того, что именно восток Евразийской провинции, по-видимому, оказал огромное влияние на дальнейшее развитие металлургического производства.

К сожалению, шлаки этого времени происходят лишь с единичных памятников. В Центральном Казахстане это саргаринские поселения Кафарка, Тельмана XVI и Саргары, а также донгальское поселение Кент, на Алтае — шлаки поселения Калиновка II.

Однако эта скудость источников отражает лишь ограниченность выборки, а не истинное состояние дел с металлургическим производством. На многих поселениях Алтая с саргаринским слоем (Советский Путь — I, Чекановский Лог — I, Гилево-II, Новошульбинское, Рублево VI) встречены металлургические шлаки, что указывает на то, что в этот период Алтай был важным горно-металлургическим центром. На поселении Новошульбинское было обнаружено 115 кг шлака, 4,5 кг руды и слитков, на поселении Советский Путь — I — 100 кг шлака, руда, всплески бронзы (Ситников, 2006, с. 150; Панин и др., 2006, с. 107—109). Это указывает на довольно крупные объемы производства.

По мнению исследователей, в плавку поступали окисленные руды. На поселении Советский Путь — I вся руда представлена окисленными образцами: малахитом и азуритом, и в одном случае ковеллином. В составе рудовмещающей породы содержится много оксидов железа: лимонита, гетита, гематита (Ситников, 2006, с. 151, 152). Шлак с поселения Рублево VI представлен стекловидными лепешками с включениями металла, с плоским верхом и выпуклой нижней частью, на которой фиксируются отпечатки структуры пода печи или литейной чаши (Панин и др., 2006, с. 109). Из этого следует, что плавка велась непосредственно в печи без выпуска шлака. Для плавки применялся древесный уголь, но использовался и костный, что реконструируется по наличию фосфора в бронзовых изделиях и фрагментах кальцинированных костей, которые встречены на всех памятниках (Ситников, 2006, с. 153).

Этому не противоречат анализы остальных шлаков этой эпохи.

Форма шлака

С поселения Калиновка II происходит два образца (№ 793,794), представленные бесформенными комочками оплавленного, пористого внутри шлака. Образец с поселения Кафарка (№ 219) представлен крупным бесформенным куском, состоящим из частиц кварца в шлаке. С поселения Кент происходит кусок тяжелого бесформенного

пористого шлака серого цвета (обр. 757), одна его поверхность плоская, вторая бугристая, поры фиксируются на всех поверхностях. На поселениях Тельмана XVI (обр. 49) и Саргары (обр. 44) обнаружены крупные тяжелые и пористые шлаковые лепешки, что указывает на меньшую вязкость этого шлака. Таким образом, в эту эпоху представлены оба основных типа шлака (таб. 11-56), можно ставить вопрос о преобладании тяжелого бесформенного, но количество материала слишком мало.

Таб. 11-56

Форма шлака периода финальной бронзы

Памятник	Бесформенный шлак	Шлаковые лепешки
Калиновка II	2	
Кафарка	1	
Кент	1	
Тельмана XVI		1
Саргары		1
Итого:	4 66,6%	2 33,3%

Химический и рентгеноструктурный анализ

Химический анализ для шлака был сделан только для поселения Саргары (таб. 11-37). В шлаке силикатный компонент резко преобладает над железистым, присутствует 6,12% оксида кальция, поэтому добавки костей в качестве флюса не исключены, но оксид железа в качестве флюса вряд ли применялся. Все это вызывало вязкость расплава, что сказалось на высоком содержании меди в шлаке (14,4%). Температуры плавки были, видимо, достаточно высокие, так как в шлаке отмечен кристобалит (таб. 11-43).

Минералогия шлака

Минералогическая группа I

К минералогической группе I, связанной с плавкой пород основного состава, в выборке финальной бронзы отнесен образец с поселения Тельмана XVI (№ 49). Шлак перенасыщен октаэдрами магнетита различных размеров, которые образуются из более крупных магнетитовых тел. На некоторых участках присутствуют скопления довольно крупных скелетов и не оплавленных дендритов магнетита.

Это вызвало значительные потери металла в виде корольков меди, порой довольно крупных. Часто эти корольки деформированы магнетитом. Много меди растворено в стекле, подкрашивая его практически повсюду. Медь непосредственно восстанавливается из вторичного сульфида. Некоторые включения сульфида крупные и окружены медью. Есть и включения сульфида в медных корольках. Изредка встречается куприт в одних корольках с медью. Встречаются и не оплавленные частицы куприта, но редко.

Выводы:

Таким образом, использованы вторичные сульфиды в основных породах. Температура плавки в пределах 1200—1300 °С. Атмосфера умеренно окислительная и восстановительная, расплав вязкий из-за большого количества магнетита.

Минералогическая группа II

Вторая группа связана с плавкой руды из кварцевых пород. Образец с поселения Кафарка (№ 219) насыщен кварцем. Часто его расплавляющиеся растрескавшиеся зерна почти неотличимые на фоне стекла. Изредка заметна мелкая кристаллизация зародышей магнетита и фаялита. Рудных включений нет, выявлено лишь одно мелкое зернышко меди.

Образец с поселения Саргары (№ 44) отличается чуть лучшей кристаллизацией компонентов. Стекло довольно пористое, силикатного состава. На его фоне растрескавшиеся зерна кварца слабо различимы. Фаялита сравнительно много, но это очень мелкие иголки, и присутствуют они не на всех участках. Изредка встречены скопления мелких октаэдров магнетита.

Встречены расплавы ковеллина, халькозина и меди, иногда малахит и хризоколла замещаются медью и купритом, и куприт плавится. Имеются многочисленные ассоциации сульфида, куприта, малахита, ковеллина. Это отражает спектр руды, поступавшей в плавку, причем, эти руды шли на месторождении вместе, их присутствие в шихте не является результатом целенаправленного смешивания. Медь из этого состава восстанавливается сразу.

Выводы:

Таким образом, плавил хризоколлу и малахит с примесью ковеллина и халькозина в кварцевой породе. Судя по расплавлению куприта, температура была около 1300 °С, но не исключено, что она могла быть выше, так как кварц сильно оплавлен. Остывание после уменьшения дутья проходило быстро из-за силикатного состава. Потери меди большие, до 14%. Как следует из химического анализа, железистые флюсы не применялись, но не исключено использование костей. Следовательно, восстановительная атмосфера обеспечивалась, главным образом, использованием смеси сульфидных руд с окисленными.

Минералогическая группа IV

Образцы группы IV выявлены на поселениях Кент (№ 757) и Калиновка II (№ 793, рис. 11-VI.5, 6). Рудовмещающей породой является кварц, в котором фиксируются включения малахита (в шлаке из Калиновки изредка и халькозин) или железного оксида (магнетит). Последний в шлаке из Калиновки встречается не часто, а для шлака Кента очень типичен. При этом магнетит представлен октаэдрами, реже дендритами и скелетами, выпадающими из расплава. Встречаются зерна расплавляющегося малахита, который растворяется в стекле и переходит в медь и куприт. Мелкие корольки меди и куприта подкрашивают стекло. Встречаются и иглы делафоссита. Лишь на некоторых участках шлака из Калиновки присутствуют игольчатые кристаллы оливина.

Выводы:

В плавку была использована окисленная, в меньшей степени вторичная сульфидная руда в кварцевой породе. В ходе плавки достигались температуры, по меньшей мере, 1200—1300 °С, на что указывает расплавившийся халькозин, куприт и кристаллизация делафоссита. Атмосфера плавки окислительная. О скорости остывания судить сложно, так как слабая кристаллизация могла быть вызвана также силикатным составом расплава.

Таким образом, хотя количество проанализированного шлака периода финальной бронзы невелико, общие черты у него есть: в плавку поступали руды из кварцевой породы. Чаще это окисленная руда, но иногда вместе с ней используются вторичные сульфиды, благодаря чему окисление шлака идет не так интенсивно, что и вызывает разницу в минералогических группах (таб. 11-57). В целом, это сохранение алакульских тенденций в металлургическом производстве, что подтверждается и сохранением алакульских типов металлургических печей.

Минералогические группы шлака эпохи финальной бронзы

Минеральные группы	I	II	IV
Памятники			
Тельмана XVI	1 100%		
Кафарка		1 100%	
Саргары		1 100%	
Кент			1 100%
Калиновка II			1 100%
Итого:	1 20%	2 40%	2 40%

Шлаки эпохи бронзы без четкой культурной привязки

Часть образцов происходят из подъемных сборов или с поселений, где встречены слои всех периодов ПБВ. Несмотря на эту неотчетливость, некоторые образцы оказались интересны.

Минералогическая группа I

Особенно примечательны два образца (№ 315, 316) из Прииртышья из района Чистого Яра в Семипалатинской области, сборы В. Каменского в 1910 г. Они визуально были похожи на синташтинские шлаки, что подтвердилось и при изучении их микроструктуры.

Руда происходила из ультраосновных пород, что маркируется включениями в шлаке хромитов и серпентинита, хотя присутствуют и зерна кварца. Зерна хромита иногда оторочены магнетитовой каймой. Чаще магнетит представлен мелкими зародышами кристаллизации и дендритами. В плавку поступал малахит и вторичные сульфиды, корольки которых выявлены в стекле. Самым частым включением является оливин, формирующий таблитчатые, призматические и игольчатые кристаллы. Изредка встречаются корольки меди. По своим параметрам шлаки идентичны синташтинским, поэтому можно говорить и об идентичной технологии.

Минералогическая группа II

Несколько образцов отнесены ко второй минералогической группе. Это куски обожженной сульфидной руды (халькозин и борнит) с включениями кварцевой породы (Атамановка V, № 706, Камышное II, № 80, Степняк). Есть и образец шлака, выплавленного из этой руды (Камышное II, № 70). Шлак представлен, главным образом, куском вторичного сульфида (зерна и расплав в трещинах), внутри которого значительные участки замещены медью. В меди присутствуют мелкие включения этого сульфида. Зафиксировано три мелких зерна малахита. Но плавил, главным образом, ковеллин или халькозин. На одном маленьком участке зафиксирована кристаллизация оливина в виде мелких удлиненно-призматических кристаллов. Окислы железа присутствуют иногда в породе, но могут происходить и из борнита. Температуры невелики, и могли достигать 1100—1200 °С. Остывание шлака произошло достаточно быстро. Отчасти это вызвано сравнительно невысокими температурами.

В принципе, к этой группе относится и два образца с поселения Акимбек, хотя в них и наблюдаются отличия, вызванные плавкой малахита из кварцевой породы. Фая-

литовая кристаллизация в них практически не прошла, присутствует много магнетита, представленного крупными неоплавленными кристаллами (октаэдры, скелеты, реже дендриты), сформировавшимися из расплава. Между ними фиксируется очень мелкая, еле заметная кристаллизация дендритов магнетита. Изредка встречаются более крупные распадающиеся тела, состоящие из отдельных октаэдров. Наряду с этим встречаются зерна кварца, в которых фиксируются рудные включения. Много малахита и куприта отмечено и в стекле. Хорошо фиксируется расплавление зерен куприта, в результате чего он начинает заполнять трещины. Довольно много корольков меди. Медь также иногда заполняет трещины. Флюсы не употреблялись, во всяком случае, железистые. Температура могла достигать 1300 °С. Остывание происходило быстро, что не позволяло сформироваться фаялиту. Плавка велась не слишком продолжительное время, поскольку рудные включения плохо переработаны, и в шлаке осталось много меди, куприта и руды. Потери металла сравнительно велики.

Минералогическая группа VI

К образцам, полученным при плавке халькопирита из кварцевых пород, относятся шлак из Новоникольского (№ 46) в Северном Казахстане, из Кара-Тюбе (№ 267) в Центральном Казахстане и с оловорудного рудника Восточные Коинды (№ 1001—1007) в Восточном Казахстане. Последние образцы примечательны тем, что указывают на плавку руды на рудниках, причем, в данном случае, оловянных.

Химический анализ образца с Новоникольского (таб. 11-37) показывает незначительное присутствие меди, наличие 10,39% оксида кальция, что позволяет допускать употребление флюсов, и резкое преобладание оксида железа над оксидом кремния. В результате, рассчитанный для этого шлака коэффициент основности составляет 1,78, то есть, шлак относится к основной группе, что позволяет хорошо кристаллизироваться всем компонентам.

Тем не менее, фаялитовая кристаллизация в различных образцах прошла очень неравномерно. Фаялит представлен иглами различных размеров, короткими призмами, реже крупными призматическими и таблитчатыми кристаллами. Поэтому можно допускать относительно быстрое остывание расплава по каким-то причинам.

Рудонесущей породой был кварц. Его достаточно много в шлаке и он может ассоциировать с рудными минералами. В одном образце выявлен хромит. Но его немного.

Магнетита мало. Это октаэдры или мелкие дендриты и скелеты, выпадающие из расплава. Иногда заметен переход магнетита в вюстит. В этом случае сразу наблюдается его оплавление. Вюстита очень много. Он может формировать крупные оплавленные дендриты или оплавленные решетчатые структуры. Иногда вокруг таких структур наблюдается расплав медного сульфида. Такие структуры не могли кристаллизироваться из расплава или формироваться из зерен железистого минерала. Сочетание их в ряде случаев с сульфидами указывает на плавку халькопирита, когда он распадается на сульфид меди и железа, сульфид меди вытекает, а железа — окисляется, переходя в вюстит и формируя решетчатые, а затем дендритные структуры. Образование подобных дендритов вюстита происходило раньше кристаллизации фаялита. Сульфид меди иногда переходит в куприт, который представлен зернами, расплавом и корольками. Однако наличие расплавленного куприта является свидетельством не столько высоких температур, сколько окисления расплавленного медного сульфида.

Равным образом, встречающиеся мелкие корольки железа были наверняка сформированы из корольков вюстита. Есть и мелкие медные корольки. Чаше встречаются корольки желтоватого металла, вероятно сплав меди и железа, что характерно для плавки халькопирита. Отдельные зерна малахита, куприта и хризоколлы встречены, но плавка базировалась, все же, на сульфидных рудах.

Потери металла в шлаке очень незначительны. Это объясняется тем, что рассчитанная для температуры 1400 °С вязкость этого шлака (Новоникольское) составляла всего 2,29 Pa·s.

Таким образом, плавил, преимущественно, халькопирит, происходящий из кварцевых пород. В результате, в шихте был хороший баланс кислотных и основных окислов, а атмосфера плавки была восстановительная. Температура плавки возможна в пределах 1300—1400 °С. Могли достигаться на каком-то этапе и более высокие температуры (до 1500 °С), так как в шлаке с Новоникольского установлен кристобалит (таб. 11-43).

Не вполне ясно, почему на этом фоне кристаллизация фаялита прошла неравномерно во всех образцах. Не исключено, что шлак частично выпускался.

Выводы:

В принципе, данную группу шлака из многослойных поселений и сборов можно гипотетически привязать к определенным культурным группам, так как некоторые закономерности в распределении этого шлака прослеживаются (таб. 11-58, 11-59). Несколько удивляет присутствие в этой выборке минералогической группы I, так как эти образцы происходят из Прииртышья, а этот шлак характерен для синташтинской культуры и, в незначительной степени, для западных алакульских комплексов, формирующихся на синташтинской основе. Присутствие подобного шлака так далеко на востоке, где нет не только синташтинских, но и алакульских памятников, не объяснимо. Распределение шлака II минералогической группы, характерной для алакульских и саргаринских памятников по поселениям Зауралья и Центрального Казахстана позволяет допускать, что металлургические комплексы этих поселений связаны с одной из этих традиций. Шлак VI минералогической группы типичен, в первую очередь, для федоровских памятников. Он, практически, не встречается в алакульских и саргаринских комплексах. Присутствие этого шлака на руднике Восточные Коинды в Восточном Казахстане вполне объяснимо: алакульская культура так далеко не простиралась, и шлак (и, возможно, разработка олова там) относятся к федоровской культуре. Фиксируется и ограниченное проникновение этой традиции в Северный и Центральный Казахстан (Новоникольское, Кара-Тюбе).

Но в целом этот регион характеризуется новыми чертами производства. Доля плавков руды в основных породах незначительна (таб. 11-59). Предпочтение отдается руде из кварцевых пород. При этом доля купритизированного шлака, полученного при плавке окисленной руды, очень невелика (17,3%). В плавке активно используются вторичные сульфиды. Но главное новшество — использование первичных сульфидов (чаще в смеси с вторичными сульфидами), доля плавков которых в данной выборке составляет 42,3%. Но территориальное распределение этих особенностей примечательно.

Таб. 11-58

Минералогические группы шлака памятников эпохи бронзы без четкой культурной привязки

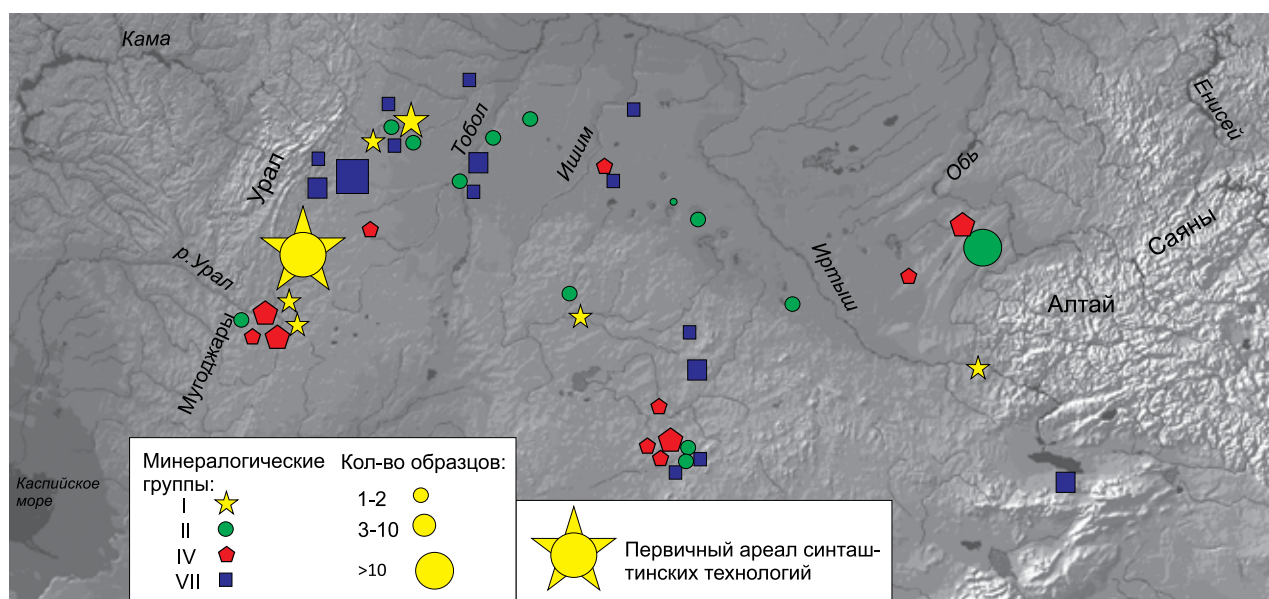
Минеральные группы	I	II	IV	VI
Памятники				
Чистый Яр	2			
Атамановка V		1		
Камышное II		2		
Степняк		1		
Акимбек		2		
Новоникольское				1
Кара-Тюбе				1
Восточные Коинды				7
Итого:	2 11,8%	6 35,3%		9 52,9%

**Распределение минералогических групп шлака эпохи ПБВ
Зауралья, Казахстана и Алтая**

Минеральные группы / Культурные группы	I	II	IV	VI—VII	II—VII	Керамзит
Елунинская культура		26 62%	4 9,5%			12 28,5%
Памятник вишнево-одиновского типа				7 100%		
Алакульская культура	2 8%	2 8%	20 80%	1 4%		
Федоровская культура			1 4,5%	21 95,5%		
Межовская культура	2 7,4%				25 92,6%	
Андроновские памятники	3 27%	5 46%		3? 27%		
Финальная бронза	1 20%	2 40%	2 40%			
ПБВ	2 11,8%	6 35,3%		9 52,9%		
Итого:	10 6,4%	41 26,3%	27 17,3%	41 26,3%	25 16%	12 7,7%

Если обратиться к карте распределения минералогических групп (рис. 11-60), то проявляются некоторые закономерности, которые, впрочем, требуют осторожного подхода и обсуждения. В предыдущее синташтинско-петровское время основной группой шлака в степном Зауралье была I, что отражает предпочтение руды из ультраосновных пород. Наблюдается постепенное снижение доли этой традиции от синташты к петровке. При этом она фиксируется в тех петровских комплексах, которые, по-видимому, сосуществовали с поздними синташтинскими. Эта тенденция сохраняется и в эпоху поздней бронзы. Единичные образцы шлака этой группы присутствуют в Оренбуржье, Центральном и Восточном Казахстане. Редкость этих образцов не позволяет уверенно говорить о приходе этой традиции из степного Зауралья. Но в алакульскую среду лесостепного Зауралья эта традиция наверняка проникает.

Кроме того, в синташтинской металлургии использовалась руда из кварцевых пород, которая плавилась в условиях восстановительной атмосферы, что давало шлак II ми-



нералогической группы. К петровскому времени доля этой группы снижается до 4,4%, поскольку растет доля минералогической группы IV, отражающей плавку окисленной руды в условиях окислительной атмосферы. В то же время II минералогическая группа хорошо представлена на Алтае, в елунинских комплексах. Для эпохи поздней бронзы в целом баланс этих групп зависел от предпочтения плавки окисленных руд или их смеси с сульфидными. В это время в Оренбуржье и Казахстане присутствуют лишь единичные образцы II минералогической группы. Большая часть образцов обнаруживается в андроновских комплексах Притоболья. Поскольку это сопровождается и распространением сюда традиции плавки руд из ультраосновных пород, мы можем поставить вопрос о привнесении сюда синташтинской традиции плавки, причем именно синташтинской, не опосредованной петровской традицией.

В противоположность этому, шлаки IV минералогической группы присутствуют в единичных экземплярах везде, но ощутимо представлены в Оренбуржье и Центральном Казахстане. Эта группа не характерна для синташтинских памятников. Она известна лишь на петровских памятниках или на памятниках, имеющих синташтинские и петровские слои. Следовательно, можно предполагать, что в Оренбуржье и Центральный Казахстан приходят позднесинташтинская или петровская традиции металлургического производства.

Наиболее интересна ситуация с распределением шлака VI и VII минералогических групп, отражающих плавку халькопирита и близкой им группы II—VII (на карте они не выделены в отдельные группы). Для степного Зауралья в синташтинское время это не характерно. Нет этого и в елунинской культуре. Зато этот тип плавки резко доминирует в вишнево-одиновско-крохалевских и федоровских комплексах. То есть, корни этого типа — восточные, а распространяется он в западном направлении. Шлаки этого типа не встречаются в степном Зауралье. Исключением являются межовские поселения Ильяска и Ново-Байрамгуловское, расположенные недалеко от предгорий, а также Архангельский Прииск II, который находится на границе степи и лесостепи. Этот тип представлен в Восточном и Центральном Казахстане и по лесостепной полосе от Зауралья до Северного Казахстана, что, в целом, соответствует районам локализации всех вышеназванных культурных комплексов. Поэтому, скорее всего, в тех случаях, когда этот шлак происходит из многослойных поселений, он относится к этим, в первую очередь, федоровским комплексам.

Таким образом, судя по характеру распределения минералогических групп шлака, как по территории, так и по культурным группам, можно предполагать следующую динамику развития металлургического производства от Зауралья до Алтая. Еще на синташтинском этапе синташтинские технологические импульсы распространяются на север, в лесостепное Зауралье. В конце этого этапа и в петровское время идет трансформация этой традиции, выражающаяся в отказе от использования руд в ультраосновных породах и переход на плавку руды в кварцевых породах в условиях окислительной атмосферы. В это время наблюдается расширение традиции южнее, до Мугодзар, и восточнее — до Центрального Казахстана. Параллельно идет другой процесс: на востоке появляется традиция плавки халькопирита. Она распространяется на запад, прежде всего, по югу лесной и лесостепной зоне до Урала, а также в район Центрального Казахстана. Однако в саргаринское время эта традиция не представлена, здесь сохраняется доминирование прежней алакульской традиции производства: в плавку поступают, преимущественно окисленные руды из кварцевых пород.

Шлаки и руды карасукско-ирменского времени

Вероятно, с некоторым запаздыванием относительно формирования саргаринской культуры возникают карасукская, лугавская, ирменская и бегазы-дандыбаевская куль-

туры. Это новое явление в регионе, лишь отчасти связанное с прежними культурными образованиями, обязанное своему появлению миграциям из какого-то отдаленного района Передней Азии, или прилегающего к Передней Азии (Членова, 1972, с. 131—135; Григорьев, 1999, с. 284, 285). В бегазы-дандыбаевском комплексе Алтая исследователи видят два слагающих компонента: переднеазиатский и андроновский (Бобров, 2002, с. 12). Анализ керамики ирменской культуры Кузнецкой котловины тоже позволяет проследить два компонента: андроновидный корчажкинский и пришлый, представленный посудой с округлым или уплощенным дном и обедненной орнаментацией (Ковалевский, 2002, с. 67). А. А. Ковалев, указал на то, что многие из приведенных Н. Л. Членовой западноиранских параллелей карасукскому металлу датируются концом III тыс. до н. э. Поэтому миграция (которую он определял в то время как тохарскую) произошла в этот период (Ковалев, 2004). Но это не подтверждается поздней датой появления этого комплекса металла в Сибири.

Проанализированные материалы, связанные с этими комплексами, совсем незначительны. В первую очередь, это восемь образцов окисленной руды с поселения Черная Курья VI, которые были проанализированы с помощью спектрального анализа. На поселении исследователями выявлено два слоя. Первый из них датируется VIII в. до н. э. и содержит позднюю ирменскую керамику. Второй относится к раннему железному веку и датируется III—II вв. до н. э. Руда связана, по всей вероятности, со слоем эпохи финальной бронзы. Судя по высоким концентрациям свинца и цинка, руда происходит с типичных для Алтая полиметаллических месторождений.

Наконец, в выборку попали ограниченные материалы с поселений Бурла-3 и Кайгородка-3, где обнаружена черкаскульская, бегазинская и среднеазиатская гончарная посуда (Удодов, 1991, 1994; Федорук, 2008, с. 204). С поселения Кайгородка-3 происходит три образца руды, определенные как кусочки азурита, один с примесью малахита. Спектральным методом проанализировано два образца, один из которых показал более высокие концентрации полиметаллических примесей. Видимо, использовалась типичная для Алтая руда с полиметаллического месторождения, а относительная чистота одного из исследованных образцов объясняется большей степенью окисления. С поселения Бурла-3 происходят ошлакованный кусок меди, ошлакованная керамика желто-зеленого цвета, возможно, вмазка у сопла, и кусочек азурита.

Эти данные совершенно недостаточны для выводов о характере металлургического производства эпохи финальной бронзы Алтая, однако складывается ощущение, что в металлургическом производстве активно использовались окисленные минералы типа малахита и азурита. Не исключено использование и вторичных сульфидов, например, блеклых руд, которые на поверхности достаточно легко окисляются. Это, в целом, сопоставимо с традицией ЕАМП региона, которую мы обсуждали выше, но резко отличается от федоровской традиции, активно использовавшей первичные сульфидные руды. Подобная ситуация, по-видимому, характерна и для Хакасско-Минусинской котловины, где на древних медеплавильнях найдены только окисленные руды (Сунчугашев, 1975, с. 114). Многие медеплавильни относятся, конечно, к раннему железному веку, но часть к рассматриваемой эпохе. Это подтверждается, например, обнаружением рядом с двумя металлургическими печами на горе Посельщик капель меди, фрагментов литейных форм, сопел, шлака, окисленной руды и керамики каменоложского этапа карасукской культуры. Исследованные здесь печи имеют очень крупные размеры 2,35×0,58×0,35 м и 2,85×1,25×0,9 м. Перекрыты они массивными гранитными плитами. Предполагается, что плавка в них осуществлялась в тиглях, а шлак сливался из тигля в ямку (Сунчугашев, 1975, с. 85—89). Если это действительно так, то на фоне предшествующих плавок эпохи поздней бронзы непосредственно в печах, это еще один признак разрыва с прежней технологической традицией.

С этими минералогическими группами связан еще один важный аспект. Мы прекрасно видим, что по сравнению с СБВ, где примесь вторичных руд в шихте чувствуется, но она явно была не более трети шихты, в ПБВ ситуация меняется: вторичные сульфиды употребляются, но начинается активное использование халькопирита. Долю вторичных сульфидов в ПБВ оценить тоже сложно. В купритизированных шлаках IV минералогической группы они почти не представлены. Можно предположить, что в шлаках II группы они составляли в общей сложности половину, благодаря чему и формировалась восстановительная атмосфера плавки. Поэтому, если проиллюстрировать эту ситуацию условной диаграммой (рис. 11-61), то мы увидим даже снижение доли вторичных сульфидов в ПБВ по сравнению с СБВ. Но эта доля снижается отчасти за счет заметного использования халькопирита (вероятно, и борнита), отчасти за счет неравномерного распределения использования вторичных сульфидов по разным территориям: в Оренбуржье и Центральном Казахстане плавил, преимущественно, окисленные руды. Это повышает долю вторичных сульфидов иных ареалов.

Но при более активном использовании сульфидов растет продолжительность и температура плавки. Парадоксально то, что это происходит и там, где их не используют, так как в плавку, в первую очередь, используют более тугоплавкие руды из кварцевых пород. Доля шлака, полученного при плавке руды из основных пород, в синташтинское время составляла 81,6% (минералогические группы I и III), а в ПБВ (минералогическая группа I) ее доля лишь 5,9%. В результате всего этого мы видим, что в синташтинское время температуры находились в интервале 1200—1300 °С, а теперь интервал чаще составляет 1200—1400 °С, а во многих случаях можно допускать температуры до 1500 °С.

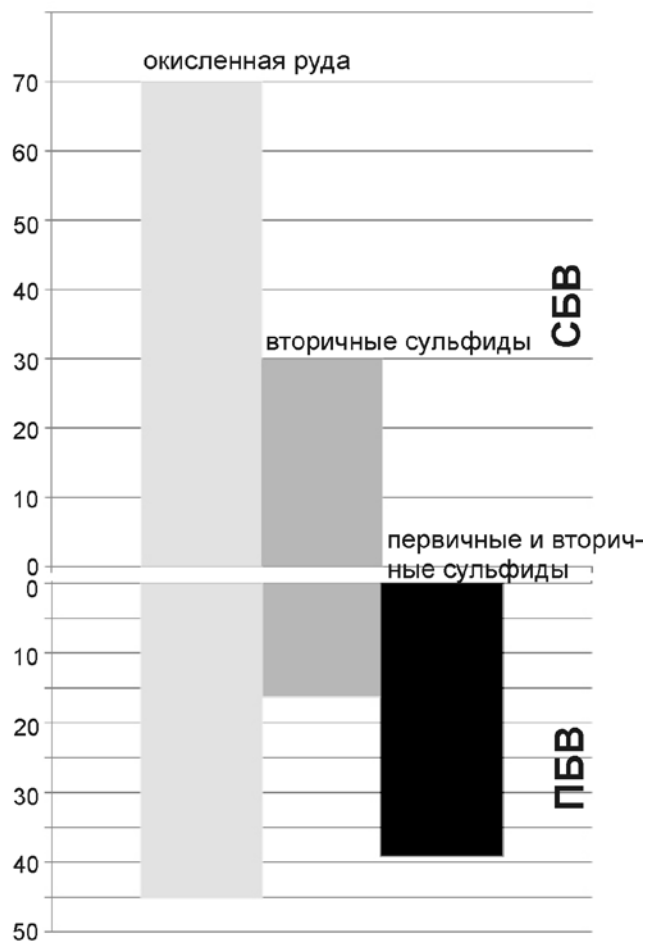


Рис. 11-61. Соотношение окисленных и сульфидных руды, использовавшихся в СБВ и ПБВ

Таб. 11-62
Спектральный анализ (%) руды и шлака андроновских памятников и памятников финальной бронзы азиатской зоны ЕАМП

Памятник	Мгс-руда	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Gc	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg	
Новоникольское	руда	11	0,0005	<0,0003	0,003	0,005	<0,001	0,1	<0,0005	<0,0003	>1	0,003	0,003	0,003	<0,1	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,03	0,01	<0,001	<0,0005	0,00005	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Атаку	руда	15	0,001	<0,0003	0,001	0,03	<0,001	0,15	0,0005	<0,0003	>>1	>1	>1	0	0,03	0,0015	<0,001	<0,001	0,0001	<0,01	<0,01	<0,001	<0,0005	0,0007	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Атаку	руда	16	0,003	<0,0003	0,005	0,05	0,015	0,15	0,0005	<0,0003	>>1	>1	>1	0,0015	0,05	0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,015	<0,01	<0,001	0,0015	nd	nd	0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Атаку	руда	17	0,0015	0,0003	0,002	0,02	0,0015	0,15	0,0007	<0,0003	>>1	0,1	0,0007	0,0007	0,015	0,003	0,0005	<0,001	0,0001	0,015	<0,01	<0,001	0,002	nd	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Атаку	руда	22	0,001	0,0015	0,001	0,3	0,0015	0,07	<0,0005	<0,0003	0,7	0,07	0,2	0,003	0,015	<0,003	<0,001	0,02	0,0001	0,02	<0,01	<0,001	0,002	0,00015	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Атаку	руда	23	0,001	0,001	0,001	0,2	0,0015	0,015	<0,0005	<0,0003	>1	0,05	0,2	>3	0,02	<0,003	>0,05	0,00015	0,01	0,01	0,01	<0,001	0,007	0,00003	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Атаку	руда	24	0,001	0,0015	0,0015	0,2	0,0015	0,02	<0,0005	<0,0003	>>1	0,15	0,1	>3	0,07	<0,003	0,0015	>>0,05	0,0001	0,015	0,01	<0,001	0,015	0,00005	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Мыражик	шлак	26	0,007	0,003	0,005	>1	0,015	0,07	0,0005	0,0015	>>1	>1	0,5	0,00005	0,05	0,01	0,0003	0,0003	0,3	<0,01	<0,001	<0,0005	0,003	nd	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Мыражик	руда	28	0,01	<0,0003	0,005	0,2	0,007	0,05	<0,0005	0,0015	>>1	>>1	0,07	0,003	0,07	0,0015	0,005	<0,001	0,0003	0,01	0,01	<0,001	0,0005	0,007	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Новобурно	руда	30	0,003	0,002	0,005	0,05	0,015	0,05	0,002	0,00015	>1	0,15	0,0015	0,001	0,05	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,03	0,01	<0,001	0,00005	0,00007	nd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
Николаевка	шлак	31	0,01	0,015	0,005	0,15	0,015	0,5	0,001	<0,0003	>1	0,03	0,05	0,001	0,01	0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,01	0,01	<0,001	0,00015	0,01	0,001	0,002	0,00015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Копель	шлак	32	0,0007	0,0005	0,005	0,1	0,007	0,5	<0,0005	<0,0003	0,2	0,01	0,002	0,00003	<0,001	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,05	0,01	<0,001	0,02	0,0002	0,02	0,0005	0,0015	0,00015	<0,001	<0,001	<0,001	
Курогаткино	руда	41	0,0015	0,0003	0,001	0,03	0,01	0,02	<0,0005	<0,0003	>>1	1	>>1	>3	0,3	1	0,02	<0,001	0,00015	>>3	0,5	<0,001	<0,0005	0,00003	nd	0,0015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Саргара	шлак	44	0,02	0,07	0,005	0,15	0,003	0,2	<0,0005	0,001	>>1	1	0,3	>>3	0,15	0,7	<0,001	0,005	0,0003	0,05	0,01	<0,001	>>1	0,00015	nd	0,01	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Петровка	шлак	58	0,1	0,01	0,002	0,05	0,005	0,2	<0,0005	<0,0003	0,7	0,01	0,015	0,001	0,005	0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,05	0,01	<0,001	0,0001	nd	0,0005	0,001	0,00015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Малокучево	руда	71	0,005	0,003	0,001	0,02	0,015	0,5	0,0015	<0,0003	0,5	0,005	0,007	0,001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,01	0,015	<0,001	0,0005	0,002	0,15	0,0015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Малокучево	руда	72	0,03	0,0015	0,005	0,15	0,007	0,1	<0,0005	<0,0003	>>1	>>1	0,03	0,0002	0,1	0,01	0,005	<0,001	0,00015	0,015	0,01	0,001	0,0003	0,001	nd	<0,0005	0,0015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Верхняя Алабуга	шлак	73	0,007	0,002	0,007	0,2	0,007	0,15	0,0005	<0,0003	0,05	0,007	0,002	0,00007	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,07	0,05	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,0005	0,0015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Яжево	руда	79	0,003	0,01	0,005	0,03	0,02	0,03	<0,0005	<0,0003	>>1	0,1	0,03	>>3	0,2	0,015	<0,001	0,03	0,0005	0,015	0,01	<0,001	0,015	0,00005	nd	<0,0005	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Граургуля	шлак	218	0,002	0,001	0,005	0,1	0,007	0,5	0,001	<0,0003	0,02	0,01	0,002	0,00003	0,01	<0,003	<0,001	0,0001	0,3	0,5	0,0015	0,0005	0,0003	0,015	0,0005	0,0005	0,0003	<0,001	<0,003	<0,001	<0,001	
Алтын-Тюбе	шлак	250	0,001	0,02	nd	>1	<0,001	0,05	<0,0005	<0,0003	1	nd	0,002	0,0007	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,1	0,02	<0,001	0,0015	0,0002	0,001	<0,0005	0,005	0,0002	<0,001	<0,003	<0,001	
Алтын-Тюбе	шлак	251	0,0015	0,03	nd	>1	<0,001	0,15	<0,0005	<0,0003	1	nd	0,007	0,0007	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,1	0,02	<0,001	0,003	0,0003	0,002	<0,0005	0,015	0,0007	<0,001	<0,003	<0,001	
Коржано	шлак	269	0,002	0,0005	0,005	0,1	0,001	0,1	<0,0005	0,00015	0,3	0,03	0,01	0,0003	<0,001	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,05	0,015	<0,001	0,0005	0,007	0,001	0,0005	0,003	0,00015	<0,001	<0,003	<0,001	
Чистый Яр	шлак	316	0,003	0,02	0,001	0,07	0,0015	0,15	<0,0005	<0,0003	>1	1	0,1	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,02	0,01	<0,001	0,05	<0,0003	nd	0,005	<0,001	0,0001	<0,001	<0,003	<0,001	
Никольское	шлак	467	0,007	0,002	0,02	0,07	0,007	0,5	0,0015	0,00015	0,5	0,007	0,003	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,2	0,05	<0,001	0,0007	0,0002	0,015	0,001	0,002	0,00015	<0,001	<0,003	<0,001	
Никольское	шлак	468	0,007	0,003	0,015	0,05	0,01	0,5	0,0015	0,00015	0,7	0,01	0,003	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,15	0,05	<0,001	0,001	0,0002	0,01	0,0015	0,002	0,00015	<0,001	<0,003	<0,001	
Никольское	шлак	469	0,005	0,002	0,015	0,07	0,007	0,5	0,001	0,00015	0,03	0,007	0,02	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,2	0,05	<0,001	0,002	0,0002	0,01	0,0015	0,001	0,001	<0,003	<0,001	<0,001	
Икель I	шлак	672	0,01	0,01	nd	>1	0,0015	0,2	0,001	<0,0003	>1	0,5	0,01	0,0002	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,7	0,02	<0,001	<0,0005	0,0015	0,02	0,0015	0,005	0,0002	<0,001	0,0015	<0,001	
Икель I	шлак	673	0,007	0,002	0,007	0,3	0,007	0,3	0,001	<0,0003	>1	1	0,005	0,0003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,2	0,02	<0,001	<0,0005	0,001	0,02	0,0015	0,003	0,00015	<0,001	0,003	<0,001	
Икель I	шлак	674	0,005	0,003	nd	>1	0,0015	0,15	0,001	<0,0003	>1	1	0,015	0,0001	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,5	0,02	<0,001	<0,0005	0,001	0,007	0,001	0,01	0,0005	<0,001	<0,003	<0,001	
Икель I	шлак	675	0,01	0,007	0,007	1	0,003	0,3	0,001	<0,0003	>1	0,5	0,015	0,001	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,3	0,03	<0,001	<0,0005	0,001	0,02	0,0015	0,007	0,0002	<0,001	<0,003	<0,001	
Икель I	шлак	676	0,003	0,01	nd	>1	0,003	0,15	0,001	<0,0003	>1	1	0,015	0,001	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,7	0,02	<0,001	<0,0005	0,003	0,007	0,001	0,007	0,0002	<0,001	<0,003	<0,001	
Саяга	шлак	696	0,002	0,0005	0,01	0,3	0,005	0,15	0,0005	0,00015	0,3	0,1	0,0015	0,0005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,015	0,01	<0,001	0,00005	0								

Продолжение Таб. 11-62

Павытук	Матч-рунд	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ce	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg
Коренно шлак	819	0.005	0.0015	0.015	0.07	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	<0.0003	0.007	0.0007	0.0007	<0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.07	0.02	<0.001	<0.0005	0.0002	0.01	0.0015	0.0015	0.0002	<0.003	<0.01	<0.001	
Коренно шлак	820	0.007	0.0015	0.015	0.1	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	<0.0003	0.01	0.015	0.002	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.07	0.03	<0.001	0.0005	0.0002	0.01	0.0015	0.0015	0.00015	<0.01	<0.003	<0.01	
Коренно шлак	821	0.007	0.002	0.015	0.07	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	0.2	1	0.03	0.007	0.0007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.07	0.03	0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.002	0.002	0.00015	<0.01	<0.003	<0.01	
Бурик-3	1114	0.007	<0.0003	0.01	0.05	0.007	0.2	0.001	<0.0003	>> 1	0.15	0.001	0.001	0.001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	<0.01	<0.001	0.001	0.0002	0.01	0.002	0.0001	<0.003	<0.01	<0.001		
Кайгородок	1115	0.0015	<0.0003	0.007	0.03	0.003	0.15	0.0005	<0.0003	>> 1	0.01	0.001	0.001	0.003	0.005	0.0015	<0.001	<0.001	0.0001	0.1	0.01	<0.001	0.01	0.00015	0.007	<0.0005	0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Кайгородок	1116	0.01	0.005	0.01	0.005	<0.001	>> 1	0.005	<0.0003	>> 1	> 1	> 1	0.01	>> 3	0.005	0.0015	<0.001	<0.001	0.0002	0.015	<0.01	<0.001	0.1	0.00015	0.007	<0.0005	0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Бурик-3	1117	0.005	0.002	0.007	0.07	0.007	0.2	0.0005	<0.0003	>> 1	0.15	0.007	0.0007	0.0007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	<0.01	0.001	0.0005	0.00015	0.007	0.001	0.0015	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1118	0.003	0.001	0.007	0.015	0.005	0.07	<0.0005	<0.0003	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.07	0.02	0.001	0.0005	0.0002	0.005	0.001	0.001	<0.003	<0.01		
Черная Курья	1119	0.007	0.01	0.003	0.5	<0.001	0.07	<0.0005	0.0003	>> 1	>> 1	0.1	0.003	0.005	0.02	<0.003	> 1	0.015	0.01	0.03	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00007	nd	0.0015	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1120	0.003	0.015	0.007	1	<0.001	0.07	<0.0005	0.0005	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	<0.00003	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.05	<0.001	<0.0005	0.00007	nd	0.002	0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1121	0.0007	0.0007	0.001	0.01	<0.001	0.005	<0.0005	0.0005	1	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	0.5	0.003	0.02	0.007	0.00005	0.02	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0015	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1122	0.002	0.0015	0.005	0.3	<0.001	0.07	<0.0005	0.0003	>> 1	>> 1	>> 1	1	0.0007	0.01	<0.003	0.05	0.01	0.0005	0.03	0.05	<0.001	<0.0005	0.00003	nd	0.0015	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1123	0.007	0.01	0.005	0.2	<0.001	0.15	<0.0005	0.0003	>> 1	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	0.02	0.03	0.1	0.05	> 1	0.1	<0.01	<0.001	0.0005	0.00003	nd	0.001	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1124	0.0015	<0.0003	0.005	0.03	<0.001	0.07	0.0015	0.0003	>> 1	>> 1	>> 1	>> 1	0.001	0.005	0.0015	0.02	0.003	0.03	0.05	<0.01	<0.001	0.0005	0.00003	nd	0.002	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Черная Курья	1125	0.015	0.02	0.001	0.15	0.003	0.1	<0.0005	0.0003	>> 1	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	0.002	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1240	0.001	0.0003	0.003	0.03	0.003	0.03	0.003	0.15	0.001	0.0003	>> 1	0.01	0.002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	>> 3	0.1	0.001	<0.0005	0.00003	0.003	0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1240a	0.07	0.02	0.1	0.003	0.07	<0.0005	0.0003	1	0.03	0.001	0.0002	0.0002	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.0001	0.03	0.015	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01		
Ильяска	1241	0.001	0.0015	0.0015	0.002	0.015	0.003	0.1	0.0005	<0.0003	>> 1	0.015	0.002	>> 3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	>> 3	1	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1241a	0.05	0.02	0.02	0.07	0.0015	0.07	<0.0005	<0.0003	>> 1	0.015	0.001	0.001	>> 3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.015	<0.001	0.0003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001			
Ильяска	1242	0.05	0.015	0.02	0.07	0.0015	0.05	<0.0005	0.00015	>> 1	0.02	0.001	0.001	>> 3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1242a	0.003	0.0015	0.007	0.05	0.007	0.2	0.001	0.0003	>> 1	0.015	0.07	0.003	0.03	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	>> 3	0.15	<0.001	<0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.002	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1243	0.03	0.02	0.03	0.07	<0.001	0.02	<0.0005	0.00015	0.7	0.1	0.001	0.0015	0.0015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	<0.01	<0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1243a	0.005	0.0015	0.007	0.01	0.0015	0.5	0.001	0.00015	>> 1	0.007	0.005	0.005	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	>> 3	0.003	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1244	0.15	0.015	0.03	0.15	0.0015	0.05	<0.0005	0.0003	>> 1	0.07	0.001	0.0015	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.03	0.01	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1244a	0.01	0.002	0.01	0.05	0.015	0.3	0.001	0.00015	>> 1	0.01	0.01	0.01	0.002	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.7	0.02	<0.001	<0.0005	0.00015	0.015	0.001	0.0015	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1245	0.05	0.007	0.01	0.07	0.0015	0.03	<0.0005	<0.0003	>> 1	0.02	0.001	0.0015	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.015	<0.001	0.0003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001	<0.001		
Ильяска	1245a	0.001	0.001	0.0015	0.015	0.005	0.07	<0.0005	0.0003	>> 1	0.02	0.002	0.002	>> 3	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	>> 3	1	<0.001	<0.0005	0.00003	0.005	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1246	0.15	0.015	0.02	0.1	0.0015	0.05	<0.0005	0.00015	>> 1	0.02	0.0015	0.0003	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.015	<0.001	<0.0005	0.00003	0.005	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1246a	0.001	0.0015	0.005	0.03	0.01	0.1	0.0005	0.0003	>> 1	0.01	0.02	>> 3	>> 3	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	<0.0001	>> 3	1	<0.001	<0.0005	0.00003	0.007	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1247	0.015	0.003	0.02	0.03	0.01	0.7	0.0015	0.0003	>> 1	0.015	0.015	0.003	0.003	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.2	0.015	<0.001	0.0003	0.00015	0.015	0.001	0.002	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1247a	0.1	0.007	0.02	0.07	0.0015	0.05	<0.0005	0.0003	>> 1	0.07	0.0015	0.0002	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	<0.01	0.015	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1248	0.005	0.001	0.01	0.03	0.005	0.3	0.001	0.0003	>> 1	0.01	0.015	>> 3	0.02	0.02	<0.003	<0.001	0.002	0.0007	>> 3	0.7	<0.001	<0.0005	0.0001	0.007	0.0005	0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1249	0.001	0.001	0.003	0.02	0.005	0.03	<0.0005	0.00015	>> 1	0.005	0.015	>> 3	0.005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	>> 3	1	<0.001	<0.0005	0.00003	0.003	<0.0005	<0.001	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1250	0.005	0.001	0.007	0.05	0.01	0.2	0.001	0.0007	>> 1	0.01	0.01	>> 3	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	>> 3	0.3	0.001	<0.0005	0.0001	0.007	0.001	0.002	<0.003	<0.01	<0.001		
Ильяска	1251	0.002	0.0015	0.15	0.002	0.07	<0.0005	0.0003	>> 1	0.01	0.03	>> 3	0.01	0.03	0.1	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	>> 3	1	<0.001	0.0003	0.00005	0.005	<0.0005	0.0015	0.0001	<0.003	<0.01	<0.001	
Ильяска	1252	0.007	0.002	0.01	0.015	0.01	0.5	0.001	0.00015	1	0.005	0.007	0.003	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	>> 3	0.5	0.001	<0.0005	0.0001	0.01	0.0015	0.0015	0.0001	<0.003	<0.01	<0.001	
Ильяска	12																															

Окончание Таб. 11-62

Памятник	Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg	
Ильска	шлак	1269	0,005	0,002	0,015	0,1	0,01	0,5	0,001	0,00015	0,02	0,005	0,0005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,00015	0,02	0,0015	0,00015	0,00015	0,02	0,0015	0,002	0,0002	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001	
Ильска	шлак	1270	0,005	0,0015	0,007	0,1	0,007	0,5	0,001	<0,0003	0,03	0,005	0,0005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,00015	0,07	0,03	0,001	0,00015	0,015	0,001	0,002	0,00015	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001	
Ильска	шлак	1271	0,007	0,002	0,02	0,07	0,015	0,5	0,0015	<0,0003	0,1	0,005	0,0005	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,00015	0,1	0,03	0,001	<0,0005	0,0002	0,015	0,0015	0,003	0,0002	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1272	0,005	0,0015	0,01	0,1	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,015	0,005	0,0007	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,00015	0,1	0,03	0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,0015	0,002	0,00015	<0,010	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1273	0,007	0,002	0,015	0,07	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,2	0,005	0,001	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,00015	0,15	0,03	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,003	0,0002	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1274	0,005	0,002	0,015	0,1	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,07	0,007	0,001	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,00015	0,07	0,02	<0,001	0,0003	0,00015	0,015	0,0015	0,002	0,00015	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1275	0,005	0,002	0,01	0,07	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,03	0,005	0,0005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,00015	0,07	0,03	0,001	0,0003	0,00015	0,015	0,001	0,002	0,00015	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1276	0,005	0,0015	0,015	0,07	0,01	0,5	0,001	<0,0003	0,07	0,005	0,0005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,003	0,00015	0,1	0,02	<0,001	<0,0005	0,0001	0,015	0,001	0,002	0,00015	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1277	0,003	0,001	0,007	0,07	0,007	0,3	0,0005	<0,0003	0,02	0,005	0,0005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,00015	0,07	0,03	<0,001	<0,0005	0,0001	0,01	0,001	0,0015	0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1278	0,003	0,001	0,007	0,07	0,007	0,5	0,0005	<0,0003	0,07	0,005	0,0007	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,002	0,00015	0,1	0,03	<0,001	<0,0005	0,00015	0,015	0,001	0,002	0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ильска	шлак	1279	0,003	0,001	0,005	0,1	0,007	0,3	0,0005	<0,0003	0,07	0,005	0,0005	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,00015	0,05	0,02	<0,001	<0,0005	0,00015	0,01	0,0015	0,0015	0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Ново-Байруно	шлак	1404	0,005	0,003	0,002	0,5	<0,001	0,005	<0,0005	<0,0003	0,07	0,07	0,005	0,0005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,01	0,01	<0,001	<0,0005	0,00015	<0,00003	0,0015	<0,00003	<0,001	<0,003	<0,01	<0,001	
Байгу	шлак	2027	0,003	0,005	0,005	0,05	0,015	0,3	0,0015	<0,0003	1	nd	0,05	0,0009	0,1	0,0015	<0,001	0,005	0,005	0,07	0,03	0,005	0,2	0,0001	nd	0,0015	<0,001	<0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001	
Байгу	рупа	2029	0,007	0,007	0,005	0,05	0,015	0,2	0,001	<0,0003	1	nd	0,015	0,002	0,015	<0,003	<0,001	0,001	0,0015	0,015	0,015	0,015	<0,001	0,015	0,0001	nd	0,0015	<0,001	<0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001
Байгу	рупа	2030	0,005	0,007	0,01	0,05	0,02	0,5	0,0015	<0,0003	1	0,05	0,05	0,002	0,02	<0,003	<0,001	0,01	0,0015	0,015	0,01	<0,001	0,01	0,00015	0,007	0,0015	<0,001	<0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001	
Байгу	рупа	2031	0,005	0,007	0,005	0,05	0,015	0,5	0,0015	<0,0003	1	0,02	0,02	0,0009	0,03	<0,003	<0,001	0,003	0,003	0,02	0,01	<0,001	0,01	0,0001	0,007	0,0015	<0,001	<0,0001	<0,01	<0,003	<0,01	<0,001	
Ново-Байрам-гуловское	шлак	2231	0,02	0,007	0,04	0,07	0,015	0,15	nd	nd	0,05	0,015	0,001	0,00005	0,005	<0,003	nd	<0,001	0,001	0,05	nd	nd	0,0005	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Ново-Байрам-гуловское	шлак	2232	0,01	0,003	0,07	0,05	0,01	0,3	nd	nd	0,15	0,01	0,002	0,00015	0,005	<0,003	nd	<0,001	0,0007	0,03	nd	nd	0,001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Чувствительность анализа			Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	La	Nb	Li	Hg	
			0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,0025	0,00005	0,0003	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,00003	0,01	0,003	0,001	0,0001	0,0001	0,001	0,01	0,001	0,00005	0,00003	0,001	0,00005	0,001	0,0001	0,01	0,003	0,01	0,001

В этих условиях прежняя традиция легирования мышьяковыми минералами в руду сохраниться не могла: мышьяк бы возгонялся. Поэтому меняется ситуация и с легированием.

Но имеется и пока слабо проявляемая в материале специфика комплексов эпохи финальной бронзы: если на саргаринских памятниках мы фиксируем плавку вторичных сульфидов и окисленных руд (то есть сохраняются прежние традиции), то на более поздних в плавку идет окисленная руда (упомянутые выше находки руды и шлака поселений Кент и Калиновка II, если этот шлак тоже относится к донгальскому слою). И температурные параметры плавок не так высоки, как в более ранних комплексах ПБВ — они возвращаются в интервал 1200—1300 °С. Конечно, на этом ограниченном числе анализов нельзя базироваться, но они подтверждаются новыми изменениями традиций легирования.

Спектральный анализ

Серия шлаков с памятников эпохи поздней бронзы андроновского ареала была проанализирована с помощью спектрального анализа. В общей сложности было сделано 49 анализов руды, 102 анализа шлака и 10 анализов фрагментов тиглей (таб. 11-52, 11-62). С учетом огромной пространственной и хронологической разбросанности этих образцов, количество произведенных анализов ничтожно мало, что лишает смысла осуществление каких-то статистических процедур.

Кроме того, была проведена обработка результатов анализа руды некоторых месторождений Центрального Казахстана, на которых известны древние выработки. Особый интерес вызывают результаты анализа руды Кенказгана, где в древности производились беспрецедентно масштабные работы.

Обычной процедурой при обработке данных спектрального анализа является построение частотных диаграмм распределения элементов-примесей. В случае если диаграммы двухвершинные или ассиметричные предполагается, что это может указывать на разное происхождение руды или металла. Однако иногда такую картину демонстрируют и диаграммы, построенные для руды одного месторождения (таб. 11-34; рис. 11-63). Как видно из диаграмм, в Казахстане отдельные месторождения тоже демонстрируют несколько повышенные концентрации свинца и цинка, хотя это и не так выражено, как в алтайских месторождениях (рис. 11-63).

На некоторых месторождениях Центрального Казахстана присутствуют руды с высоким содержанием бария, но количество такой руды невелико (рис. 11-63). Наконец, бросается в глаза присутствие на рудниках Кенказган и Алтын-Тюбе руды с высоким содержанием марганца. Далее мы увидим, что шлаки с марганцем присутствуют в центральноказахстанских коллекциях.

Анализ коллекции показывает, что в шлаке ПБВ отсутствует олово. Это вполне ожидаемый результат, поскольку оловом легировали на стадии плавки меди. По сути, исключением является лишь один образец с поселения Саргары (№ 44), в котором содержание олова превышает 1%. Сомнительно, чтобы здесь производилось легирование касситеритом в руду, хотя спектральный анализ руд с казахстанских месторождений подобной примеси не выявил (таб. 11-34). Но это единичный образец.

На поселениях, практически, нет руды с повышенным содержанием мышьяка. Известно лишь четыре образца с поселений Малоокунево, Ильяска, Язево, Куропаткино и Черная Курья и два образца поселения Архангельский Прииск, где содержание мышьяка колеблется в диапазоне 0,1—0,5%. Этого явно недостаточно для того, чтобы дать мышьяковые бронзы. С учетом того, что, как мы видели, температуры плавок в этот период возрастают, и мышьяк в этих условиях должен возгоняться, можно говорить о том, что руда, способная дать ощутимые концентрации мышьяка в металле, отсутствует.

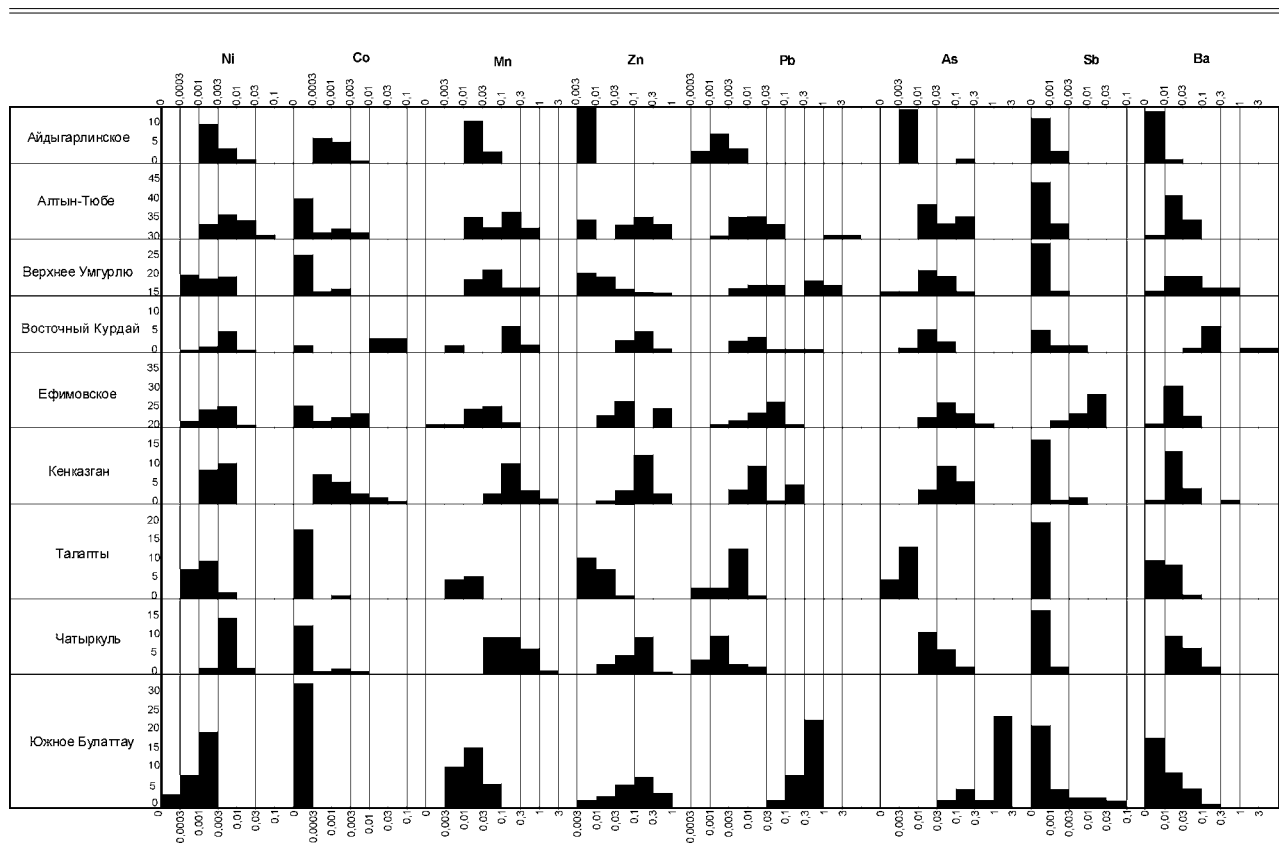


Рис. 11-63. Частотные диаграммы (%) распределения элементов примесей в руде месторождений Центрального Казахстана

При обсуждении синташтинско-абашевской металлургии отмечалось, что границей, маркирующей для СБВ шлаки, способные дать мышьяковые бронзы, является 0,01% содержания мышьяка. В этот диапазон попало всего 12 образцов шлака с поселений Верхняя Алабуга, Николаевка, Грауртлы, Мыржик, Байту, Саргары, Алтын-Тюбе и Икпень I (4 образца) и 42 образца с Архангельского Прииска. Вероятно, эта примесь вызвана тем, что в этот период активно плавили сульфидную руду, в которых эта примесь встречается. Поэтому принципиально можно говорить об отсутствии мышьякового легирования.

Это подтверждается и тем, что в руде и шлаке с повышенным содержанием мышьяка могут наблюдаться и более высокие концентрации сурьмы. Соответственно, в плавку могла попадать примесь блеклых руд.

Но значительного количества сурьмы в шлаке нет. Только в образце с Саргаров ее содержание достигает 0,7%, что сопровождается высоким содержанием олова (>1%) и мышьяка (0,015%). К сожалению, из-за единичности этого образца обсуждать возможность комплексного легирования не представляется возможным, хотя подобное легирование крайне характерно для металла саргаринского времени.

В нескольких образцах шлака, в том числе в нескольких шлаках поселения Икпень I, отмечено высокое содержание марганца (до 1%), что характерно для рудников Кенказган и Алтын-Тюбе. Поэтому не исключено (хотя и вовсе не обязательно), руда могла происходить оттуда. Не исключен и вариант добавок соответствующего флюса. В принципе, подобное флюсование известно. Но единственные знакомые мне данные происходят с Кипра. Большинство шлаковых куч там не датировано. Исключением являются шлаки из Хала Султан Текке Позднего Киприотского периода III (1190—1175 гг. до н. э.). Их анализ позволил предполагать, что флюсы там не использовались и шлак не выпускался. Флюсование марганцем предполагается только для поздних античных шлаков, но на-

дежных датировок нет (Bachmann, 1982, p. 145, 149). В данном случае принципиальна сама возможность подобного флюсования.

В 17 образцах руды с поселений отмечены высокие концентрации серебра (более 3%). Это поселения Язево, Кайгородок, Куропаткино, Черная Курья (3 образца), Ильяска (9 образцов), Атасу (2 образца). Эти поселения располагаются от Зауралья до Алтая и относятся к разным периодам ПБВ. Поэтому примесь серебра в данном случае не может указывать не только на какие-то месторождения (например, рудник Никольский), но даже на тип месторождения. Для шлака такие высокие концентрации серебра не характерны. Исключением являются три образца с Калиновки II и Саргаров.

Наконец, с учетом обсуждения на основе приуральских материалов возможности флюсования баритом, вызывает интерес содержание бария. Его высокие концентрации (более 3%) отмечены для руды с поселений Ильяска (9 образцов) и Куропаткино (1 образец). В шлаке такие концентрации бария отмечены лишь для двух образцов с Ильяски. Повышенные концентрации (0,3—0,7%) наблюдаются в шлаке с поселений Ильяска, Грауртлы и Мыржик (по одному образцу) и Икпень I (3 образца). Поэтому в данном случае можно безусловно говорить о рудном происхождении бария в шлаке и об отсутствии традиции его использования в качестве флюса. Соответственно, если такой вид флюсования в дальнейшем подтвердится, это является приуральской инновацией.

Выводы:

Несмотря на ограниченный характер выборки, некоторые выводы можно рассматривать как достаточно надежные. По сравнению с СБВ, в ПБВ исчезает традиция легирования мышьяковыми минералами на стадии плавки руды. Это вполне закономерная ситуация, поскольку, как следует из минералогического анализа шлака, в это время во многих районах осуществляется переход на более активное использование сульфидов и руд из кварцевых пород, и повсеместно резко растет температура и длительность плавок. В этих условиях подобное легирование становится невозможным. Не исключено восстановление этой традиции в эпоху финальной бронзы, когда температуры плавок несколько снижаются, и наблюдается возврат к плавкам окисленных руд, но ограниченность выборки по этой эпохе не позволяет судить об этом достоверно. Хотя, уже обсуждавшийся образец с Саргаров позволяет ставить такую проблему.

Характеристика металла Азиатской зоны ЕАМП

Оловянные лигатуры

По сравнению с сейминско-турбинским, металл андроновского времени изучен гораздо хуже. В прежних исследованиях было показано, что 2/3 андроновского металла (без разделения на алакульский, федоровский или черкаскульский) легировано оловом. При этом повышенные концентрации олова сопровождаются повышенными концентрациями свинца. Доля металла группы ВК (Cu + As + Sb) составляет 8% (Черных, 1970, с. 21, 22). К сожалению, на сегодняшний день отсутствуют обобщающие работы по химическому составу алакульского или федоровского металла. Относительно детальная информация имеется лишь по Зауралью и Притоболью.

В коллекции Чистолембяжского могильника, сравнительно раннего комплекса в системе алакульской культуры, уже достаточно высока доля оловянных бронз (44,4%) с содержанием олова от 1,81 до 6,95%, есть и оловянно-свинцовые сплавы в количестве 7,7%. Остальной металл представлен чистой медью (Тигеева, 2011, с. 69, 70). В принципе, близкий состав металла демонстрируют и иные алакульские памятники Притоболья, но в них чуть выше доля оловянно-свинцовых бронз (22,7% от оловянных бронз) и чуть ниже чистой меди (35,7%). Доля меди ВК (Cu + As + Sb) составляет 8,7% (Кузьминых, Черных, 1985, с. 346—366), что близко цифре по андроновскому металлу в целом.

Южнее, на поселении Кулевчи III, доля оловянной бронзы ниже (16,9%), но в некоторых изделиях с оловом тоже присутствует свинец, хотя и не так часто, как в Притоболье. Есть и оловянно-мышьяковые бронзы в количестве 6,2% (Дегтярева и др., 2001). Следует заметить, что этот памятник является не просто петровским, а относится к, так называемому, кулевчинскому этапу, когда сосуществуют петровская и раннеалакульская традиции. То есть, это достаточно ранний памятник, как и Чистолебяжский могильник (Виноградов, 1984, с. 29—22; Матвеев, 1988). Этим, вероятно, и объясняется сохранение мышьякового металла, хотя его теперь и легируют дополнительно оловом. В этой связи можно предполагать, что различие в содержании олова имеет не столько хронологический характер. Меньшее его содержание в более южном степном комплексе Кулевчи было вызвано, вероятно, тем, что проникновение традиции этого легирования и впоследствии пути транспортировки олова или оловянных бронз, проходили по лесостепи.

Таким образом, оловянные лигатуры в алакульской культуре имеют тоже безусловное восточное происхождение. Но здесь есть одна любопытная деталь — наличие в алакульском металле Притоболья оловянно-свинцовых сплавов, которые, как мы видели, отсутствуют в сейминско-турбинском металле, но известны в елунинском. В материалах раннего Чистолебяжского могильника тоже, как и в елунинском металле с повышенным содержанием свинца, отмечено явление красноломкости (Тигеева, 2011, с. 77). Поэтому не исключено, что распространение легирования оловом в алакульской среде Притоболья происходило на самых ранних стадиях формирования сейминско-турбинской металлообработки.

Федоровско-черкаскульские изделия проанализированы хуже, и проанализированная для Притоболья серия незначительна. Доля оловянных бронз здесь выше (72,7%), представлены и оловянно-свинцовые бронзы (9,1%). Остальной металл — чистая медь (18,2%) (Дегтярева, Костомарова, 2011, с. 35). Более высокая доля оловянных бронз в федоровском металле по сравнению с алакульским вполне объяснима тем, что для Зауралья федоровская культура является компонентом пришлым с востока, откуда поступало и олово.

Для следующего этапа, эпохи финальной бронзы, распределение металлургических групп примечательно (Агапов, 1990). В европейской и азиатской частях ЕАМП в это время заметны отличия, главным образом, в доле оловянных бронз (рис. 11-64). В Европе их доля составляет 12,5%, а в Азии — выше: в Северном Казахстане легировано 68,7% металла, в Центральном Казахстане — 80,5%, в Восточном Казахстане — 88,5%, Семиречье, Киргизии и Приаралье — 90,1%. Примечательно и то, что на Алтае, где, судя по всему, добывался основной массив олова, наблюдается также резкое преобладание высокооловянных бронз с содержанием олова 12—26% (Агапов и др., 2012,

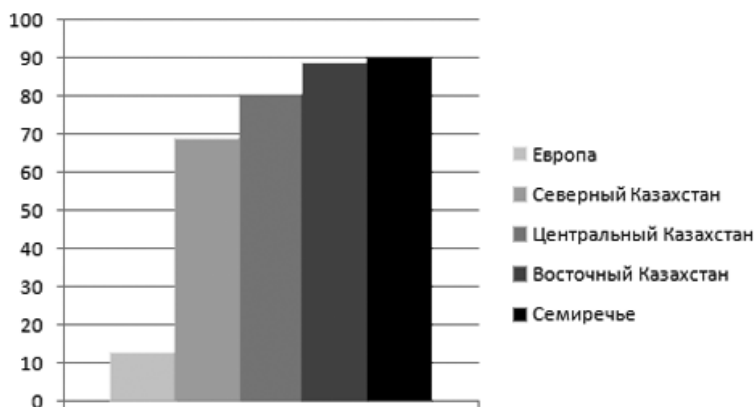


Рис. 11-64. Доля оловянных бронз в металле эпохи финальной бронзы

с. 56). То есть, с востока на запад наблюдается снижение доли легированного металла. Это означает сохранение тех путей поставок олова с Алтая и из Центрального Казахстана, которые возникли в начале ПБВ. Но наблюдается резкий спад доли этих бронз в Европе, непропорциональный расстоянию до оловорудных источников, что характерно и для предшествующего времени. Следовательно, поставки были как-то связаны и с этнокультурным, а не только рациональным контекстом.

Очень важной проблемой является легирование оловом. В свое время С. С. Черников писал о том, что это легирование производилось касситеритом на стадии плавки руды (Черников, 1949, с. 51). Это объяснение встретило совершенно справедливые возражения на том основании, что подобным способом невозможно получить металл с определенным процентным содержанием олова. Кроме того, олово, имея низкую температуру плавления, должно было испаряться. Поэтому эти руды плавил отдельно и уже олово добавляли в медь. Это подтверждается и анализами руд и шлаков, в которых олова нет. Бронзовые же слитки поселения Новошувльбинское легированы (Ситников, 2006, с. 153). К этим справедливым аргументам мы можем добавить еще один. Олово было ведущим легирующим компонентом ЕАМП, а на огромных пространствах этой провинции добыча и плавка медной руды осуществлялись повсеместно. Сложно представить транспортировку и обмен касситерита. Из всей совокупности анализов шлака есть лишь несколько образцов, содержание олова в которых достигает и превышает 0,3%, что вполне могло быть результатом плавки руды с подобной примесью. По данным Е. Н. Черных олово при металлургических переделах ведет себя нейтрально (Черных, 1970, с. 11), то есть должно в равной степени распределяться между шлаком и рудой. Соответственно, подобный способ легирования был бы невыгоден, и он не подтверждается нашими анализами шлака.

Поэтому на Алтае имела место плавка касситерита, однако места подобных плавок пока не изучены. Плавки олова из касситерита зафиксированы лишь в долине реки Каргы в Туве (Попов, 1999, с. 344, 345), что было, по-видимому, типичной ситуацией.

Проблема химико-металлургической группы ВК

Не менее интересно другое — это доля мышьяково-сурьмяной меди ВК (Cu + As + Sb). В европейской степи, по сравнению со срубным временем ситуация изменилась не так принципиально. Здесь этот металл составляет 17%, из которых половина легирована оловом. Но в азиатской зоне, то есть в саргаринской культуре, наблюдается существенный рост по сравнению с андроновским временем — до 36,1%, причем, большая часть легирована оловом. Месторождения Центрального Казахстана, которые, вероятно, были основной базой металлургии сагаринского времени, содержат не так много мышьяка и сурьмы для того, чтобы давать такое обилие мышьяково-сурьмяных бронз (рис. 11-63). Поэтому, вероятнее всего, этот металл в эпоху финальной бронзы имел искусственный характер. В определенном смысле, это можно рассматривать в качестве разновидности легирования мышьяком, что характерно для культур финальной бронзы на востоке и северо-востоке. Соответственно, этот вид легирования в эпоху финальной бронзы приобретает глобальный характер.

В этом плане интересна доля этого металла в разных комплексах ПБВ. В таблицу 11-65 собраны уже обсуждавшиеся на страницах этой книги данные, к которым дополнены данные, выполненные за счет пересчета информации из таблицы типов сплавов лесной зоны Южной Сибири (Бобров и др., 1997, таб. 2).

Выше мы уже обсуждали, что в сейминско-турбинских комплексах этот металл появляется только в европейской зоне, что он формируется именно там. При этом в степных комплексах ПБВ (срубных и алакульских) его доля незначительна. В общем-то, невелика его доля и в андроновских комплексах в целом. Лишь в ПБВ Подонья присутствует 25,7% этого металла, но, вероятно, главным образом, за счет поздних комплексов. Доля

Доля As + Sb бронз в металле эпохи бронзы (%)

Сейминско-турбинские памятники	Срубная культура	Андроновские памятники	ПБВ Подонья	Приказанская культура	Финальная бронза европейской степи	Финальная бронза азиатской степи	Ирменская культура	Лугавская культура	Еловская культура	Корчажкинская культура	Карасукская культура
11,3	2	8	25,7	70,8	17	36,1	7,9	6	0	0	0

меди Cu + As + Sb резко растет в финальную бронзу, особенно в лесном Приуралье (приказанская культура) и в степи азиатской зоны. В противоположность этому, в наиболее поздних комплексах этой эпохи в лесной зоне (ирменская и лугавская культуры) этого металла немного, а в карасукской, корчажжинской и еловской его нет. Но во всем этом финальном лесном блоке вместо этого начинает доминировать родственная мышьяковая лигатура без примесей сурьмы. Таким образом, в финальную бронзу мы наблюдаем во многих районах резкий рост сплавов Cu + As + Sb, а в других Cu + As, но чем это обусловлено, совершенно непонятно.

Источником этой меди может быть плавка сульфидных блеклых руд или искусственное легирование на стадии плавки руды. Возможно, проблема в малой коллекции изученного шлака, или плавка сульфидной руды была вынесена на рудники, но изученная шлаковая коллекция не указывает ни на то, ни на другое.

Мышьяковые бронзы

Мышьяковая лигатура не характерна ни для саргаринских памятников Алтая, ни для саргаринских памятников в целом, хотя встречаются оловянно-мышьяковые сплавы (Ситников, 2006, с. 157; Агапов, 1990, с. 11; Агапов и др., 2012, с. 49). Однако в другом комплексе финальной бронзы Саяно-Алтайской горной области мышьяковая лигатура появляется. Речь идет об уже обсуждавшихся памятниках карасукской, лугавской, ирменской и бегазы-дандыбаевской культур. На примере их лигатур можно наиболее определенно говорить о разрыве с прежней традицией ЕАМП. Выше приводились данные исследователей о том, что в системе ЕАМП равные доли принадлежат чистой меди и сплаву меди с оловом (Черных, 1970, с. 21; Сунчугашев, 1975, с. 144; Бобров и др., 1997, с. 58). Доля бронз может меняться в зависимости от территории и доступности легирующего компонента, но иные типы сплавов для ЕАМП не типичны. С формированием ирменско-карасукского культурного блока возникает Центральноазиатская металлургическая провинция, и ситуация на восточном фланге ЕАМП меняется. Начинается активное внедрение мышьяковых лигатур.

В подробном исследовании этого периода прекрасно показано, что металлообработка карасукской и лугавской культур базируются на мышьяковых лигатурах, сплавы с оловом очень редки (Бобров и др., 1997, с. 52—54). В Хакасско-Минусинской котловине 84% карасукского металла представлено сплавами с мышьяком, а 16% — сплавами с мышьяком и оловом или с оловом (Сунчугашев, 1975, с. 144). Только в Восточном Забайкалье в изделиях карасукского времени чаще встречается оловянная лигатура, что объясняется присутствием по Онону медных и оловянных рудников (Гришин, 1975, с. 67, 68). Легирование изделий карасукского типа оловом сохраняется и восточнее, в Приморье и Приамурье (Konkova, 2006, p. 10). Таким образом, это характерно для востока.

Западнее, в контактной зоне ЕАМП и ЦАМП доля оловянных лигатур тоже повышается. В ирменской культуре треть металла представлена сплавами с мышьяком, чет-

верть — с оловом и мышьяком, чуть меньше сплавов с оловом, далее следуют чистая медь и сплавы с мышьяком и сурьмой. В металле корчажкинской культуры 50% представлено сплавами с оловом, треть — чистой медью, остальные изделия — сплавами с мышьяком. Правда, сплавы с оловом употреблялись, преимущественно, в украшениях, поэтому в весовом отношении доминирует, по-видимому, чистая медь. В еловской культуре доминирует сплав с оловом. По этим признакам корчажкинская и еловская металлообработка ближе по стереотипам к ЕАМП, чем к ЦАМП, хотя определенное внедрение новых традиций в эти северо-восточные части ЕАМП все же имеют место. В остальных очагах ЕАМП безусловно доминируют сплавы с оловом, за исключением маклашеевского, где в меди сурьяно-мышьяковой группы ВК лигатуры оловом нет, и по химическому составу эти изделия схожи с ирменскими, карасукскими и лугавскими (Бобров и др., 1997, с. 57, 58, 61, 62).

Важной проблемой в данном случае является способ получения мышьяковых бронз, вопрос универсальный для истории металлургии большинства районов, но не имеющий, к сожалению, универсального ответа. И крайне важным является выработка для решения этой проблемы различных подходов, что проявилось в разделении этого металла на две группы: низкомышьяковые бронзы, близкие группе ВК, чье отнесение к искусственным сплавам условно, и высокомышьяковые бронзы с примесью сурьмы или цинка, которые являются результатом легирования (Бобров и др., 1997, с. 50, 51). Кстати, то же в этой книге мы предполагали для металла Волго-Уральской зоны.

Первая группа металла является, по-видимому, результатом плавки, как первичных сульфидных руд, так и блеклых. Основанием для этих выводов является то, что в Приуралье группа ВК характерна для тех культур, в которых на основании анализа шлака устойчиво зафиксирована плавка сульфидов, а также то, что мышьяк в металле имеет положительную корреляцию с концентрациями сурьмы и висмута, которые отсутствуют в мышьяковых минералах, но характерны для блеклых руд (Бобров и др., 1997, с. 37; Григорьев, 2001). Соответственно, исчезновение лигатуры оловом в маклашеевской культуре может вовсе не указывать на связь с производственными традициями восточных регионов, а объясняться сохранением традиции использования сульфидной руды и утратой связей, обеспечивавших поставки олова. Хотя и этот вывод без тщательного сопоставления металла и шлака не может рассматриваться как приемлемый.

Не менее сложной проблемой является способ получения высокомышьяковых бронз. Исследователи полагают, что имело место легирование меди мышьяковыми минералами, поскольку при анализе руды и шлака с горы Посельщик мышьяк в них не выявлен, а в меди его содержание превышает 1% (Сунчугашев, 1975, с. 125; Бобров и др., 1997, с. 36). Однако легирование рудой в металл довольно сомнительно (см. выше обсуждение этой проблемы при описании окуневской металлургии). Более вероятно все же легирование на стадии плавки руды, идентичное тому, что мы наблюдали в синташтинской металлургии, или плавки медно-мышьяковой руды, известной в Хараджульском и Бутрахтинском месторождениях Хакасско-Минусинской котловины (Сунчугашев, 1975, с. 52, 128). Но нельзя исключать вариант легирования в металл шпейзой, что мы обсуждали в главе по синташтинскому шлаку на иранском материале.

Следует помнить о том, что, как мы неоднократно наблюдали на страницах этой книги, технологии плавки руды и технологии металлообработки тесно взаимосвязаны. Очень часто появление новой технологии плавки руды и нового сырья вызывает изменение свойств используемого металла и изменения технологии его обработки. То есть, это единая система. Но в такой системе существует и обратная связь: если распространена какая-то определенная технология обработки металлов и соответствующие ей типы орудий, то металлурги старались подбирать и соответствующие им способы плавки руды. Применительно к данному случаю это означает следующее. Обработка

мышьяковых бронз отличается от обработки оловянных сплавов и чистой меди, поэтому при наличии руды с мышьяком металлурги старались, безусловно, ее использовать. Однако в случае отсутствия таковой могло использоваться легирование мышьяковыми минералами на стадии плавки руды.

Таким образом, в финале эпохи бронзы в Саянах и на Алтае происходит откат к более архаичным технологическим традициям: это возврат к мышьяковым лигатурам, более чем вероятное легирование на стадии плавки руды, более активное использование окисленных минералов. Это ощущение технологического возврата усиливается тем, что типы металла ЦАМП сопоставимы в большей степени не с андроновской, а с более ранней сейминско-турбинской традицией (Кызласов, 1993, с. 47; Бобров и др., 1997, с. 69; Григорьев, 1999, с. 280). Распространение этих явлений в западном направлении вызывает ощущение кризиса оловодобычи на Алтае, притока саянской мышьяковой меди и бронзы и затухания производства на Урале, Алтае и в Казахстане (Бобров и др., 1997, с. 58, 59, 69). Однако причины этого кризиса лежали, по-видимому, в резкой смене этнокультурной ситуации, формировании общности культур карасукского круга и формировании ЦАМП (Бобров и др., 1997, с. 70).

В результате, на восточном фланге ЕАМП формируется новая металлургическая провинция, которая впоследствии начинает распространяться на запад, наделяя отдельными своими чертами некоторые очаги северной части ЕАМП. Сходство же карасукского металла с более ранним сейминским может объясняться тем, что появление металла обеих этих групп было связано с импульсом из одного региона (Членова, 1972, с. 131—135; Григорьев, 1999, с. 284, 285). Но из какого именно региона Ближнего Востока или Закавказья сказать трудно. На основании технологии плавки руды уточнить данный исходный регион не представляется возможным. Дело в том, что высокая доля мышьяковых бронз была свойственна культурам II тыс. до н. э., как в Закавказье, так и в Анатолии. В Закавказье в СБВ доминируют сплавы меди с мышьяком (70,3%), сплавы с оловом составляют 8,4%, чистая медь — 10%, на остаток приходится вариация основных сплавов (Тенейшвили, 1993, с. 6). Нас интересует, конечно, поздняя фаза этого периода, когда доля оловянных бронз была выше, но ситуация все равно показательна. В Анатолии доля мышьяковых лигатур в ПБВ составляет 57,6%, а вместе с бинарными олово-мышьяковыми сплавами они и вовсе составляют подавляющую часть металла (Авилова, Черных, 1989, табл. 13). Сходная ситуация наблюдается и в Средней Азии, где в металле двух тепе (Намазга и Теккем) в слоях эпохи ПБВ доминируют мышьяковые бронзы. Та же ситуация с мышьяковыми бронзами в это время наблюдается повсеместно в Маргиане, Южной Бактрии, Сузах и Шахдаде. Только в Северной Бактрии металлурги сапаллинской культуры предпочитают использовать олово (Щетенко, 2002, с. 187). Любопытным фактом является обнаружение в одном из образцов шлака с тепе Теккем 4,3% олова. Параллели этому в виде двух кусочков шлака с высоким содержанием олова известны на поселении Узерлик-Тепе в Закавказье (Кушнарева, 1965, с. 79). Это, безусловно, очень архаичный способ легирования, не характерный для ЕАМП. Но наиболее характерно в ПБВ сохранение мышьякового легирования для Ирана, где оно просуществовало до начала раннего железного века, что позволило говорить о технологическом консерватизме иранской металлургии (Pigott, 2004a, p. 29).

Таким образом, по всей вероятности, трансформации в металлургическом производстве, которые охватили восточную зону ЕАМП в эпоху финальной бронзы, были обусловлены распространением сюда с юго-запада иных технологических традиций, связанных с одним из металлургических очагов, сформировавшемся на территории южной зоны ЦМП, однако определить этот регион более точно не представляется возможным.

Металлообработка

В металлообработке раннего алакульского Чистолебяжского могильника доминирующими являлись две технологии: холодная ковка с промежуточными отжигами (46,15%) и горячая ковка при температуре 600—800 °С (46,15%). Литье без последующей доработки было применено для производства всего 7,7% изделий. В какой-то степени это можно рассматривать как развитие синташтинских традиций металлообработки, где литье тоже слабо представлено, но увеличивается доля холоднойковки, несколько снижается доля горячейковки. Наблюдается и развитие технологии. В более позднем Хрипуновском могильнике доля литых изделий возрастает до 25%, и иногда фиксируется отжиг гомогенизации, более прогрессивный метод термообработки (Тигеева, 2011, с. 72, 77). Подобная динамика обусловлена переходом на новый тип легирования оловом. Кроме того, как мы видели, отжиг гомогенизации применялся в металлообработке елунинской культуры. Соответственно, развитие алакульской традиции металлообработки можно рассматривать как развитие от синташтинской традиции с последующим заимствованием восточных традиций.

В федоровской и черкаскульской металлургии литейные технологии занимают уже большее место. Литье осуществляется либо в двустворчатые литейные формы со вставным вкладышем, либо в односторонние формы с крышками. Затем изделия дорабатывались ковкой, направленной на удаление пороков литья, вытяжку и заострение рабочих окончаний. Степени обжата металла были средними, они не превышали 40—50%. Применялись и промежуточные отжиги для снятия межкристаллических напряжений (Дегтярева, Костомарова, 2011, с. 35). То есть, эта традиция не имеет ничего общего с синташтинской и алакульской. Скорее, она близка сейминско-турбинской, изначально ориентированной на обработку изделий с оловянной лигатурой. То есть, для федоровской металлообработки логичнее предполагать восточные импульсы.

В эпоху финальной бронзы в степи (общность культур валиковой керамики), развитие металлургии ЕАМП достигает своего апогея. Это проявляется в совершенной металлообработке с большим разнообразием литейных и кузнечных операций, и с доминированием литья. Широко применяется и разработанный в самом начале ПБВ региона отжиг гомогенизации (Агапов и др., 2012, с. 51—54).

Типы изделий Азиатской зоны ЕАМП

Петровские, алакульские и срубные металлические изделия наследуют синташтинско-абашевские традиции. Это достаточно наглядно демонстрируется пластинчатыми однолезвийными ножами, ножами с намечающимся перекрестием, массивновислообушными топорами (более характерными для синташты, чем для абашева), теслами, серпами (рис. 11-66). Но появляются и новые типы, не связанные с синташтинскими. В первую очередь, это наконечники копий с литой втулкой или ножи с литой рукоятью (рис. 11-66.11), которые связаны с сейминско-турбинской металлообработкой. Но большая часть типов восходит к местным традициям СБВ.

К сожалению, количество достоверного федоровского металла невелико, поскольку в этой культуре не было традиции помещения металла в могильные ямы, а количество однослойных поселенческих памятников крайне незначительно. Поэтому обсуждать типы федоровских изделий (рис. 11-67.1—7) затруднительно. В принципе, можно предполагать, что некоторые из этих типов связаны с местной синташтинско-алакульской линией развития, например, предполагать, что федоровские браслеты с конусообразными окончаниями сформировались из алакульских браслетов со спиралевидными окончаниями. Но характерные для федоровской культуры серьги с раструбом из алакульской традиции не вытекают. Появляются и втульчатые наконечники стрел, кинжалы с перекрестием и нервюрой.

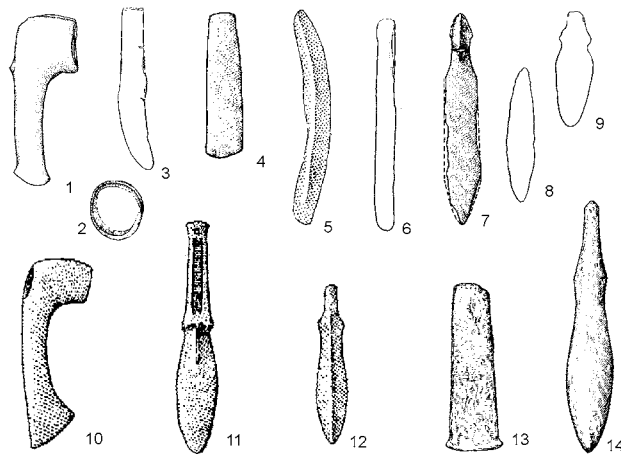


Рис. 11-66. Металлические изделия петровской (1—9) и алакульской (10—14) культур

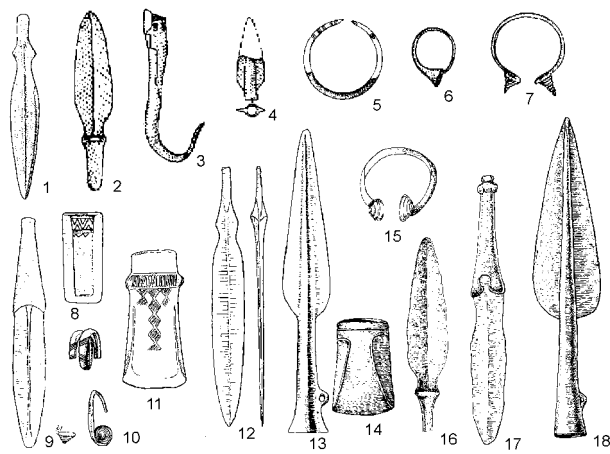


Рис. 11-67. Металлические изделия федоровской (1—7), черкасульской (8—13) и поздняяковской (14—18) культур

Некоторые новые типы имеют достаточно отдаленные параллели. Например, федоровские вислообушные топоры с валиком на обухе, по-видимому, нельзя выводить из алакульской металлообработки, хотя вислообушные топоры в алакульской культуре есть. Для вислообушных топоров подобное оформление обуха функционального смысла не имеет, но на Кавказе и Ближнем Востоке валики на обухе топоров представлены достаточно широко (Горелик, 1993, табл. XIX—XX; Микеладзе, 1994, табл. 17; Марковин, 1994, табл. 70; Egkanal, 1977, Taf. 6; Müller-Karpe, 1974, Taf. 172, 232). Федоровские ножи с упором по большей своей части являлись не ножами, а наконечниками дротиков и копий. Многие из этих орудий имеют ромбическое сечение и утолщение при переходе к лезвию. В случае колющего удара изделие выдерживало бы большие нагрузки. На эту функцию «ножей» указывает оригинальное копьё с поселения Малоокрасноярка, у которого к стандартному для этого типа «лезвию» прикреплена втулка (Черников, 1960, с. 44). Аналоги подобным копьям и дротикам известны в сумбарской культуре Юго-Западного Туркменистана, в Маргиане, на памятниках бактрийско-маргианского археологического комплекса, в Юго-восточной Анатолии (Хассек Хейюк, Арслантепе и др.) (Хлопин, 1983, рис. 17; Sarianidi, 1998, fig. 25.4; Behm-Blancke, 1984, Abb. 8.1,2, S. 52; Palmieri, 1981, fig. 4; Stronach, 1957, p. 113—117). В конечном счете, эти изделия восходят к копьям и дротикам с упором, распространенным в Циркумпонтийской зоне. В Передней Азии известны кинжалы с нервюрой и втульчатые наконечники стрел (хотя они есть в елунинских и сейминско-турбинских комплексах) (Горелик, 1993,

табл. III—V; Erkanal, 1977, Taf. 17, 46—48a, p. 50). Подобная двойственность проявляется и в федоровских ножах с горбатой спинкой, которые могут восходить к сейминско-турбинским, но известны и на Ближнем Востоке (Авилова, Черных, 1989, рис. 7). Наконец, весьма показательным является крюк со свернутой втулкой с поселения Павловка (Зданович, 1988, табл. 10,15). Алакульской культуре подобные изделия не присущи, но чрезвычайно распространены в большинстве культур Циркумпонтийской металлургической провинции. В ПБВ подобные изделия известны лишь в Северном Причерноморье в Лобойковском кладе (Черных, 1976, табл. XXXII). Однако заведомо более поздняя хронологическая позиция его не позволяет сопоставлять с ними павловский экземпляр. К тому же, в отличие от лобойковских крюков, павловский имеет более «грацильные» формы, характерные для кавказских изделий.

Таким образом, в комплексе федоровского металла есть некоторые местные параллели, сейминско-турбинские (то есть, восточные для описываемого региона), но есть параллели южные и ближневосточные.

В черкаскульской культуре, сформированной на федоровской основе, погребальные и поселенческие комплексы с металлом тоже очень редки. Однако отсутствие иных культур эпохи бронзы в лесных районах Зауралья позволяет связать весь металл этого периода, в том числе случайные находки, с черкаскульской и межовской культурами. Эти металлические изделия соответствуют металлообработке II и III фаз Евразийской металлургической провинции. Металл II фазы можно рассматривать в качестве металла черкаскульской культуры (рис. 11-67.8—13), а металл III фазы — межовской. Это подкрепляется отдельными находками бронзовых предметов и литейных форм на памятниках (Григорьев, 2000б). Часть изделий этой зоны соответствует федоровским традициям металлообработки — двулезвийные кинжалы с нервюрой, перекрестием и прямоугольной планкой черешка, черешковые ножи, подвески в 1,5 оборота с насечками, кольцо с коническим спиральным завершением (Косарев, 1981, рис. 51; Обыденнов, Шорин, 1995, с. 33; Казаков, 1978, рис. 22; Петрин и др., 1993, рис. 40,8). Другая группа металла связана с сейминско-турбинскими традициями металлообработки. Примечательно, что в Зауралье все находки кельтов приурочены к районам, расположенным к северу от р. Миасс, то есть к зоне основной локализации черкаскульской и межовской культур (Сальников, 1965). Классические сейминско-турбинские типы в Зауралье единичны и представлены кельтом и двулезвийным ножом с коротким расширенным черешком. Но особое внимание следует уделить обнаружению на черкаскульском поселении Липовая Курья литейной формы для отливки долота, типологически близкого аналогичному изделию из Ростовкинского могильника (Черных, Кузьминых, 1989, рис. 20, 39, 51; Матющенко, Сеницына, 1988, рис. 38; Хлобыстин, 1976, с. 35).

Более представительна группа, так называемого, «евразийского» металла, производного от сейминско-турбинского, но достаточно раннего и входящего в собственно сейминские комплексы. В эту группу входят кельт, наконечники копий с ромбическим стержнем, двулезвийные кинжалы с литой рукоятью (Черных, Кузьминых, 1989, рис. 40, 45, 65; Косарев, 1981, рис. 51; Обыденнов, Шорин, 1995, с. 31, 32; Петрин и др., 1993, рис. 47,3, 4). К этой же линии развития относятся изделия самусьско-кижировских типов — кельты с ложными ушками (Черных, Кузьминых, 1989, рис. 77-80; Обыденнов, Шорин, 1995, с. 32; Петрин и др., 1993, рис. 47,1, 2).

Таким образом, в черкаскульском металлокомплексе наблюдается два слагающих компонента: федоровский и сейминско-турбинский. И далее в северной лесостепи и на юге лесной зоны идет развитие традиции, сформированной этими компонентами, и мы можем наблюдать распространение этой традиции на запад.

Межовская культура наследует воспринятые черкаскулем сейминско-турбинские традиции металлообработки, что маркируется кельтами с прямоугольной фаской, шести-

гранными кельтами с арочной фаской и лобным ушком, кинжалом сосновомазинского типа, копьями с прорезным пером и с округлой втулкой, а также другими изделиями (Черных, 1970, рис. 46, 48, 58; Обыденнов, Шорин, 1995, с. 78—80). Если подходить к делу упрощенно, то можно сказать, что такие компоненты как кельты, втульчатые копья, ножи с металлической рукоятью, являются наследием сейминскотурбинской металлообработки, а черешковые копья с упором или браслеты с коническими спиралевидными окончаниями — федоровской. Этот комплекс, характеризующий металлообработку ряда культур (межовской, приказанской, сускансколебяжинской, поздняяковской) представлен в серии кладов к западу от Урала (Сосновая Маза, Карманово, Дербедени) (Черных, 1970, с. 115, 116; Кузьминых, 1983; Колев, 1991) (рис. 11-67.13-18). Это появляется на балымскокарташихинском этапе приказанской культуры Прикамья, и в регионе распространяется набор изделий, характерный для всего предананьинского горизонта металлообработки Волго-Камья. При этом ряд морфологических черт и химическая структура металла отличают приказанскую металлообработку от межовской и сближают ее со срубной (Кузьминых, 1983). То есть, здесь наблюдается взаимодействие с более южными традициями металлургии.

Время формирования этой традиции в Приуралье является вопросом дискуссионным. Например, металлообработка сусканско-лебяжинской культуры Поволжья практически идентична межовской и формируется, по мнению некоторых авторов, на сейминской основе (Колев, 1991). Это противоречит более раннему мнению о том, что предананьинская металлообработка Волго-Камья формируется под воздействием завадолобойковского металлургического очага Северного Причерноморья (Кузьминых, 1983, с. 129, 130). С учетом того, что в этой металлообработке присутствуют типы, восходящие к федоровским, сохранившиеся в черкаскульско-межовской среде, а сейминскотурбинский компонент может передаваться не непосредственно, а опосредованно через федоровско-межовскую традицию, то это может проявиться и несколько позже, чем время существования сейминско-турбинских бронз. Хотя, авторы, которые утверждали, что формирование сусканско-лебяжинской культуры происходит практически в конце покровского этапа срубной культуры (Колев, 1991, с. 197; 1993; Бочкарев, 1995, с. 121, 122) приводили вполне разумные аргументы. К тому же, и само формирование федоровской, черкаскульской и межовской культур происходит раньше, чем принято считать: федоровская культура датируется от XVI в. до н. э., черкаскульская — от XV в. до н. э. и не исключена датировка второй половиной XVI в. до н. э., сусканско-лебяжинская культура — не позднее начала XV в. до н. э. в системе традиционных дат (Григорьев, 1999).

Безусловно, эта проблема, как и проблема формирования металлокомплекса этих культур, требует специальной дополнительной разработки, но принципиально ситуация выглядит следующим образом: эта традиция металлообработки распространяется с востока на запад с некоторым отставанием от распространения сейминско-турбинской и собственно федоровской традиции. В ее оформлении главную роль играли две традиции: сейминско-турбинская и федоровская. И распространение это проходило по лесной и лесостепной зонам, то есть по северной части ареала. При этом наблюдается взаимодействие этой традиции с южными традициями: алакульской и срубной.

Формирование металлообработки культур периода финальной бронзы является наиболее сложным вопросом. Начать можно с того, что проблематика, связанная с этими культурами, вообще изучена очень слабо. Достаточно сказать, что этот период продолжался около 700 лет. В нем наверняка есть какая-то внутренняя динамика, периоды, разнонаправленные и разновременные импульсы. А мы на сегодняшний день продолжаем полагать, что в это время в азиатской зоне существовала монотонная саргаринская культура. Лишь последние годы стали появляться отличные от саргаринских комплексы самого конца этого периода, а также комплексы керамики без валиков, определяемые

в Зауралье, как берсуатские (Малютина и др., 2006). Поэтому в будущем наверняка произойдет существенное переосмысление этой эпохи.

В основе металлообработки этого времени лежали местные степные традиции, но очень велика роль северных культур, например межовской, что приносило элементы сейминских традиций металлообработки (кельты, копья с литой втулкой). Особенно ярко проявляет себя наследие сейминских традиций на Алтае (Агапов и др., 2012, с. 56). Вероятно, значительную роль сыграли импульсы с запада (особенно для Восточной Европы), где в контактном регионе Северного Причерноморья (между ЕАМП и Европейской металлургической провинцией) был установлен хронологический приоритет сабастиновского ингуло-краснояцкого очага металлообработки по сравнению со срубным заводо-лобойковским (Черных, 1976, с. 153—156). Это позволяет помещать начальную дату заводо-лобойковского очага в пределах XIV—XIII вв. до н. э. Наиболее вероятно, однако, что часть XIV в. до н. э. пришлось на «предваликовые» процессы, которые, впрочем, не были слишком продолжительными.

Однако не исключены и какие-то дополнительные влияния, что проявляется в отдельных типах изделий этого времени. Здесь можно указать на высказанное Н. Я. Мерпертом мнение о связи сосново-мазинских кинжалов с луристанскими бронзами и распространении изделий этого типа через Кавказ (Мерперт, 1966). Этому противоречит то обстоятельство, что основным районом распространения этого типа изделий является Волго-Камье, а в сейминских комплексах есть довольно точные их прототипы (Черных, Кузьминых, 1989, рис. 64,1, 2; Аванесова, 1991, рис. 52). Поэтому данное сходство может быть обусловлено и переднеазиатским происхождением самих сейминско-турбинских бронз.

Но в это время распространяются копья с прорезным пером, черешковые варианты которых известны в Закавказье и Анатолии (Горелик, 1993, табл. XXXIII; Stronach, 1957, р. 107—112). В восточной зоне в этот период появляются вислообушные топоры с гребнем. Сама форма топора говорит о местной подоснове этого типа, однако «гребни» были характерны для топоров переднеазиатского региона (Горелик, 1993, табл. XIX—XXI; Erkanal, 1977, Taf. 5, 50—56; Müller-Karpe, 1974, Taf. 172.2,18,21). Очень показательным типом изделия являются тесла с узкой пяткой и расширенной рабочей частью. Этот вид изделия имеет множество точных аналогов в Циркумпонтийской зоне, начиная с СБВ (Кузьмина, 1994, рис. 436). Не вполне понятен и феномен появления в степи черешковых копий. Некоторые из них имеют упоры. Поэтому, в принципе, их можно трактовать как развитие федоровских копий, но они отличаются от последних пропорциями пера (Аванесова, 1991, с. 49). Это тоже допускает возможность дополнительного импульса. Наличие крючка на конце черенка отдельных экземпляров вызывает циркумпонтийские ассоциации, хотя прямые параллели в данном случае не допустимы по хронологическим соображениям. Более определенно можно говорить о ближневосточных аналогиях такому изделию, как бронзовые пинцеты. Они встречаются крайне редко, но распространены по всей территории Евразийской металлургической провинции. Идентичные изделия известны на Кипре, где они датируются от раннекиприотского периода до перехода от среднекиприотского периода к позднекиприотскому (Vermeule, Wolsky, 1990, tabl. 106; Müller-Karpe, 1974, Taf. 344, 345).

К вышесказанному можно добавить еще один парадокс. Металлообработка наиболее восточного семиреченского металлургического очага в большей степени связана с металлообработкой западных очагов этого времени, чем с очагами центральными (Агапов, 1990, с. 15).

Вероятно, на востоке это обусловлено теми импульсами, которые завершились формированием таких культур, как карасукская, ирменская, еловская и бегазы-дандыбаевская (рис. 11-68). В свое время Н. Л. Членова (1972, с. 131—135; 1974) привела множество переднеазиатских параллелей металлическим изделиям карасукской культуры, которые

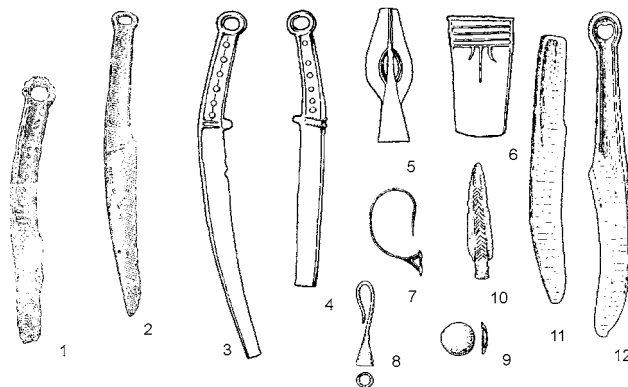


Рис. 11-68. Металлические изделия карасукской (1, 2), ирменской (3—7) и еловской (8—12) культур

мы дополнили некоторыми новыми параллелями (Григорьев, 1999). Поэтому, помимо местной степной алакульской основы, на разных этапах осуществлялись влияния западных, северных и южных традиций металлообработки.

Металлургия приказанской культуры Прикамья

Территориально приказанская культура Прикамья не входит в рассматриваемый здесь регион, но ее связь с восточными импульсами позволяет рассмотреть единичные исследованные образцы в этом разделе. С поселения приказанской культуры Акшубень I происходит два образца шлака (№ 703 и 761) и один фрагмент ошлакованной обмазки (№ 762). С каждого образца было сделано по два аншлифа и, соответственно, по два минералогических анализа.

Большая часть обмазки представлена пористой керамзитовой массой, в которой кристаллизация, практически, не прошла (рис. 11-IX.1). Лишь изредка встречаются мелкие иголки оливина, зерна кварца, редкие мелкие зерна хромита. В ошлаковке сформировались более крупные призматические кристаллы фаялита, между которыми присутствует мелкая сыпь из октаэдров магнетита, реже его тонкие дендритные структуры, кристаллизующиеся из расплава (рис. 11-IX.2). В самой верхней части образца обнаружена нормальная шлаковая масса, в которой присутствует много фаялитовых призм и скопления оплавленных решетчатых структур вюстита с границами первичного рудного зерна (рис. 11-IX.3).

Один из образцов шлака (№ 703) плотный, тяжелый, рыжего цвета. Одна сторона его более ровная, чуть округлая, с керамзитовой коркой, вторая неровная. Вероятно, этот шлак сформировался на поде печи. Вторым образцом (№ 761) представлен тяжелым, бесформенным, гладким и оплавленным со всех сторон шлаком. Оба образца формировались в районе обмазки печи, что сказалось на их микроструктуре: в них отчетливо выделяется три разные зоны. Нижняя зона является керамзитовой пористой массой, в которой кристаллизация не прошла: лишь изредка фиксируются мелкие иглы фаялита и мелкие зернышки кварца (рис. 11-IX.4).

Рудовмещающую породу надежно установить не удалось. В шлаке присутствуют включения зерен кварца, но их не много, они чаще приурочены к нижней зоне шлака, и связаны, видимо, с добавками песка в обмазку печи. Встречаются и отдельные зерна хромитов, но они не указывают на принадлежность руды к ультраосновным породам, так как их количество невелико, и они довольно мелкие. Кроме того, они встречались в ошлакованной обмазке, поэтому происходят, вероятно, из глины.

В плавке изначально присутствовало большое количество железосодержащих минералов, на что указывает обилие вюстита и фаялита. В обеих собственно шлаковых

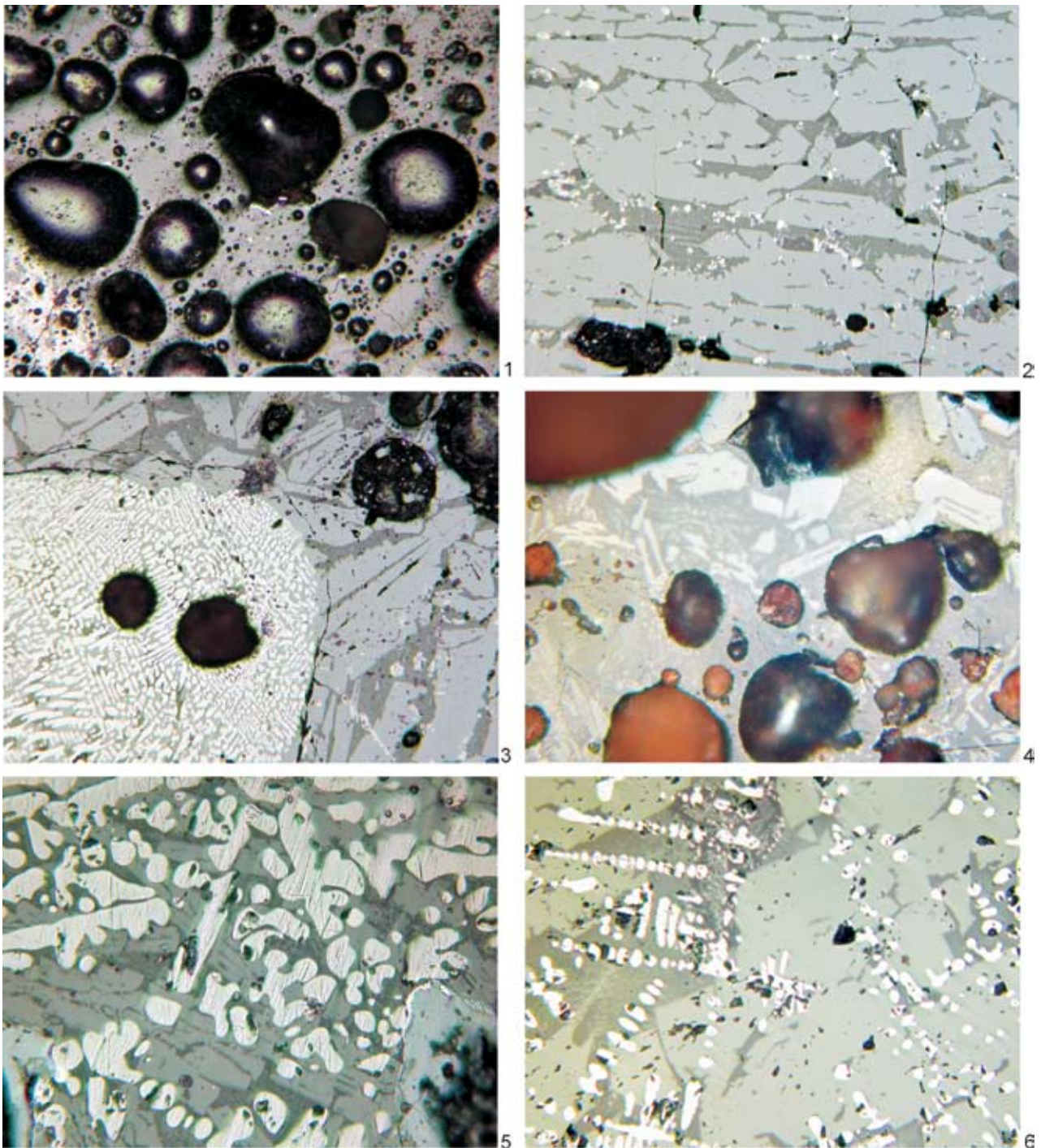


Рис. 11-IX. Поселение Акшубень I. 1—3 — обр. 762 (длина снимка 1,55 мм), 4—6 — обр. 703 (длина снимка 0,54 мм): 1 — пористая керамзитовая масса; 2 — призматические кристаллы фаялита (серые), между которыми видна магнетитовая сыпь из мелких октаэдров (белые) и игольчатые кристаллы фаялита в стекле (темно-серое); 3 — призматические кристаллы фаялита (серые), скопление оплавленных решетчатых структур вюститита с границами первичного зерна (белое) и поры (черное) в стеклянной матрице (темно-серое); 4 — пористая керамзитовая масса с мелкими призмами фаялита; 5 — оплавленные дендриты вюститита, после которого сформировались скелетные призмы фаялита; 6 — оплавленные дендриты вюститита и таблитчатые кристаллы фаялита

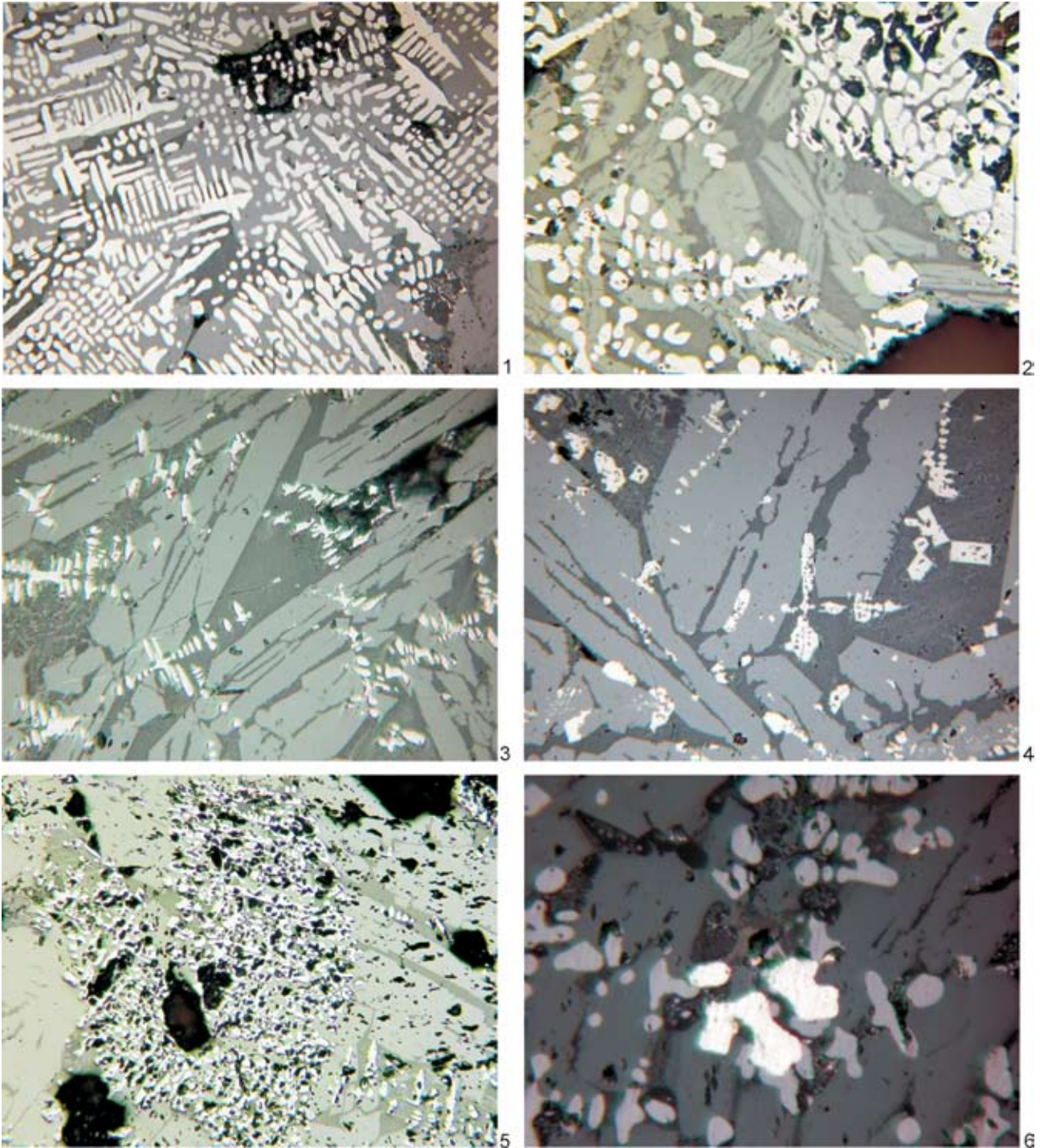


Рис. 11-Х. Поселение Акшубень I. 1,4 — обр. 761, 2,3,5,6 — обр. 703. 1 — крупная решетчатая структура из оплавленных дендритов вюстита (белые), сросшиеся таблитчатые кристаллы фаялита (серые); 2 — верхняя зона шлака. Оплавленные включения вюстита (белые), некоторые частицы сгруппированы с сохранением границ первичного зерна. Скелетные призмы фаялита средних размеров (серые); 3 — кристаллизующиеся из расплава оплавленные дендриты вюстита (белые) и призмы фаялита (серые); 4 — крупные призмы фаялита, скелеты магнетита и дендриты вюстита (белые) и призмы фаялита (серые); 5 — оплавленные решетчатые структуры вюстита с границами первичного зерна (белое), таблитчатые и призматические кристаллы фаялита (серые); 6 — мелкие зерна халькопирита (белые), призматические кристаллы фаялита (серые) и остатки оплавленных дендритов вюстита (светло-серые) (длина снимков: 1 — 0,62 мм, 2-4 — 0,54 мм, 5 — 1,55 мм, 6 — 0,22 мм)

зонах вюстит представлен оплавленными решетчатыми структурами и дендритами, занимающими большие участки. Эти структуры формируются из какого-то железосодержащего минерала, поскольку иногда они образуют скопления, сохраняющие форму первичного зерна (рис. 11-Х.1, 2, 5). Но часть крупных оплавленных дендритов вюстита явно выпадает из расплава. Они вырастают из более мелких дендритов, тоже встречающихся в шлаке (рис. 11-Х.3, 4). В нижней зоне шлака, где остывание шло медленнее, эти оплавленные дендриты вырастают до достаточно крупных размеров. Иногда вюстит формируется из магнетита. Причем, магнетит не расплавлен, но отделяющиеся от него частицы восстанавливаются до вюстита и тут же расплавляются (рис. 11-Х.4).

Не исключено, что первичным материалом, давшим такое количество вюстита, является халькопирит. После расплавления и протекания сульфидов меди, происходит формирование вюстита с образованием оплавленных решетчатых структур, некоторые из которых сохраняют границы первичных зерен. На это же указывает присутствие сульфидов в шлаке и обнаружение маленьких зернышек халькопирита (рис. 11-Х.6), отсутствие малахита и незначительное количество куприта. В шлаке присутствует незначительное количество расплава или корольков медного сульфида, вероятно, халькозина.

Это обилие вюстита способствовало формированию фаялита. Вероятно, в шлаке было достаточно и силикатного компонента (кварца) для его формирования, но он не сохранился, будучи переработанным в фаялит. В верхней зоне шлака фаялит представлен призматическими разноориентированными кристаллами. Чаще это скелетные призмы (рис. 11-Х.2). Здесь остывание шло несколько быстрее. В средней части шлака фаялит образует крупные таблитчатые формы и крупные призмы, которые ориентированы в одном направлении, сверху вниз (рис. 11-IX.6; рис. 11-Х.1, 3—6).

Куприта в шлаке незначительное количество. Это мелкие редкие корольки, иногда заполнение трещин или обрамление пор. Столь же редко встречаются медные корольки небольших размеров. Еще реже выявлены мелкие частицы или корольки железа.

Незначительные потери меди в виде металла или рудных включений подтверждаются и результатами спектрального анализа: они колеблются в пределах 0,15—0,3% (таб. 11-69). При этом наличие мышьяка, сурьмы или олова не отмечено. Следовательно, легирование на стадии плавки руды не производилось.

Выводы: Таким образом, в плавку поступал, халькопирит. Температура плавки превышала температуру плавления куприта, но была, вероятно, ниже температуры плавления магнетита, так как зерна магнетита расплавляются лишь преобразуясь в вюстит. Соответственно, температура была, около 1300—1400 °С. Шлак остывал достаточно медленно, непосредственно в печи. Вероятно, плавка продолжалась длительное время, так как все рудные компоненты очень хорошо переработаны и в шлаке их незначительное количество. Расплав был жидкотекучим, и вся медь хорошо отделилась от расплава. Это достаточно типичный шлак VI минералогической группы. Он идентичен федоровским и межовским шлакам, что указывает на федоровско-межовские импульсы, стимулировавшие появление этого типа плавок в Прикамье.

Динамика развития металлургического производства в андроновское время и в эпоху финальной бронзы

В период поздней бронзы в азиатской зоне ЕАМП мы наблюдаем очень сложные взаимосвязанные процессы трансформаций металлургического производства. К началу этого времени производство существовало в двух ареалах на западном и восточном флангах этой зоны. На западе это синташтинская металлургия, основанная на плавке окисленных руд и вторичных сульфидов, а также на легировании мышьяком на стадии плавки руды. На востоке происходит переход на плавки сульфидных руд, в том числе

Спектральный анализ шлака поселения Акшубень I

Материал	Номер	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb
шлак	703	0,002	0,0007	0,0015	0,07	<0,001	0,07	<0,0005	0,00015	0,15	0,015	0,00007	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,015	0,01	<0,001	0,0003	0,00003	0,0015	0,001	<0,001	0,0001
шлак	761	0,01	0,002	0,05	0,1	0,015	0,5	0,0015	<0,0003	0,2	0,01	0,002	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,05	0,01	0,001	0,0003	0,00015	0,015	0,001	0,0015	0,0001
обмазка	762	0,007	0,0015	0,03	0,2	0,015	0,2	0,001	<0,0003	0,3	0,01	0,0015	0,00007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,07	0,015	<0,001	0,0003	0,00015	0,01	0,001	0,0015	0,00015
Чувствительность анализа		0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,001	0,005	0,0005	0,0003	0,001	0,003	0,0003	0,00003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,0001	0,01	0,01	0,001	0,0005	0,00003	0,001	0,0005	0,001	0,0001

халькопирита из кварцевых пород и внедрение оловянных лигатур. Все дальнейшее развитие производства в регионе и было построено на развитии, трансформации и взаимодействии двух этих традиций.

На западе и в центре региона синташтинские традиции проявляются в сохранении типов теплотехнических сооружений — пристроенных к колодцам металлургических печей, и в переходе на плавку в них руд из кварцевых пород. Собственно, определенная доля подобных руд эксплуатировалась и в синташтинское время, но сейчас эти руды становятся доминирующими. При этом, в зависимости от региона, в плавку идет как смесь сульфидной и окисленной руды, так и исключительно окисленные руды. Последнее особенно характерно для алакульских памятников Центрального Казахстана и Восточного Оренбуржья, и для срубных памятников Оренбуржья. Прежняя традиция плавок руды из ультраосновных пород сохраняется лишь местами, в лесостепном Зауралье. Вероятно, импульс к возникновению алакульской металлургии там имел место еще в конце синташтинской эпохи, причем это был непосредственно синташтинский импульс, а не петровский. Южнее же трансформации производства осуществлялись через петровскую металлургию.

Этот переход на плавки руды из кварцевых пород привел к повышению температуры плавок и их продолжительности. В результате, традиционный для СБВ способ легирования мышьяковыми минералами в руду не приводил к гарантированному получению легированного металла, так как мышьяк в этих условиях возгонялся.

Сложно сказать — что было причиной такой трансформации, что привело к отказу от плавок руды из ультраосновных пород. С одной стороны, руды в кварцевых породах значительно богаче и представлены несопоставимо шире. Поэтому не исключено, что распространение потомков синташтинских популяций привело к переходу на новые источники сырья, а внедрение с востока новых типов легирования и формирование путей поставок олова позволило решить проблему легирования, которая встала с переходом на новые типы руд.

Вместе с технологией легирования были заимствованы и некоторые типы изделий, которые удобнее изготавливать литьем, чем ковкой (например, копья). Выше, обсуждая традиции металлообработки, мы видели, что первоначальной основой петровской и алакульской металлообработки была синташтинская, но затем начинает расти доля литейных технологий, что объясняется внедрением восточных технологических традиций. Поскольку типы изделий очень тесно связаны с технологией их изготовления, а последняя с типом легирования, то мы отчетливо видим, что здесь имеет место существенная технологическая трансформация, когда переход на новые типы руды вызвал необходимость перехода на новые типы легирования, а последнее привело к внедрению соответствующих им литейных и кузнечных технологий и позволило изготавливать иные типы изделий. Но новые типы изделий не составляют основу срубно-алакульского металлокомплекса. Большая часть изделий наследует прежние местные традиции СБВ II. Более того, технологии плавки руды тоже вытекают из синташтинско-абашевских технологических традиций. Поэтому данную ситуацию можно рассматривать в качестве внутреннего развития, на которое наложились внешние импульсы, приведшие к ряду технологических и типологических заимствований. К числу этих импульсов относятся, в первую очередь, елунинские и сейминско-турбинские. Первые проявляются, в том числе, в присутствии оловянной лигатуры с большими примесями свинца, что характерно, преимущественно, для лесостепных алакульских памятников.

Эта тенденция сохраняется в степной зоне продолжительное время. Во всяком случае, металлургию саргаринской культуры можно рассматривать в качестве продолжателя синташтинско-алакульских традиций. Здесь сохраняется даже такой синташтинский тип металлургических сооружений, как печи, пристроенные к колодцам. В плавку

поступает окисленная руда из кварцевых пород или смесь окисленной и сульфидной руды. Сохраняется и использование оловянных лигатур. Несмотря на ограниченность проанализированного материала, можно утверждать, что с федоровской металлургией, базировавшейся на плавке сульфидных руд, металлургия саргаринская не связана.

Параллельно с этой линией развития на севере региона получает развитие иной процесс, получивший начало на востоке: это переход на плавки сульфидов, внедрение оловянной лигатуры и переход на соответствующие приемы литейного и кузнечного производства и типы изделий. Выше мы обсуждали эту проблему применительно к сейминско-турбинским и елунинским памятникам. Однако все это в еще большей степени характерно для федоровской металлургии. По принципу, для Северной Евразии это восточное явление с его сочетанием плавок халькопирита и иных сульфидов, и использованием оловянной лигатуры. Но количество материалов (шлаков и металлургических печей) слишком невелико, чтобы четко очертить круг компонентов, которые привели к сложению федоровской металлургии. Те материалы, которые удалось проанализировать, позволяют полагать, что она базировалась, преимущественно, на плавке сульфидов. Учитывая то, что федоровское население активно и повсеместно проникает в алакульскую среду, в перспективе не исключено, что будут обнаружены и какие-то иные технологии, заимствованные в этой среде, с более широким использованием окисленной руды. В особенности это возможно для районов, где к этому принуждала местная рудная база. Но родовой чертой этой металлургии является, все же, плавка сульфидов.

На сегодняшний день трудно уверенно сказать, откуда появилась эта традиция. С одной стороны присутствие ее мы видели в более ранних памятниках региона, датированных сейминским временем. Вместе с тем, некоторые типы металлических изделий федоровской культуры имеют южные параллели. Таковые имеются также для керамического комплекса и домостроения (Григорьев, 1999). Поэтому нельзя исключать какой-то дополнительный импульс, приведший к сложению этой металлургической традиции. На этот вопрос сегодня нельзя однозначно ответить. Но, если рассматривать проблему лишь в рамках Северной Евразии, то для нее это явление, безусловно, с восточными корнями, и именно с востока эта традиция распространяется на запад по лесостепной зоне, взаимодействует с сейминско-турбинской традицией, и это приводит к появлению металлургических традиций черкаскульско-межовской, а также позднебронзовых культур северной части Поволжья и Приуралья (сусканско-лебяжинской, приказанской, поздняяковской). Причем, для приказанской культуры зафиксирована именно федоровско-межовская традиция плавки руды. Наблюдается и влияние этой традиции на юг. В алакульской металлургии это выражено не так отчетливо — лишь в виде появления некоторых типов изделий. То же касается и срубной культуры, но здесь мы наблюдаем и проникновение традиции плавки халькопирита.

Наконец, с некоторым запаздыванием относительно формирования саргаринской культуры и, соответственно, саргаринской металлургии, на востоке региона осуществляется новая трансформация, обусловленная возникновением карасукской, ирменской, еловской и бегазы-дандыбаевской культур. В первую очередь, это проявляется на северо-востоке ЕАМП, где трансформации столь существенны, что их можно рассматривать как отход от традиций ЕАМП и формирование новой Центральноазиатской металлургической провинции — ЦАМП (Черных, 1978). Наиболее отчетливо это заметно по принципиально новым типам металлических изделий. Однако это сопровождается переходом на иной тип лигатур — легирование мышьяком или использование медных руд, обогащенных этой примесью. Вероятно, это легирование стало возможным по той причине, что происходит необъяснимый отказ от плавок сульфидных руд и использование окисленных. Снижается и температура плавок. Можно совершенно однозначно утверждать, что это не является результатом внутреннего развития про-

изводства, иначе мы бы увидели дальнейшее развитие технологий, основанных на плавке сульфидов и использовании оловянных лигатур. В определенном смысле можно говорить не просто о комплексной трансформации, а о трансформации регрессивной. Следовательно, этот комплекс привнесен из какого-то иного региона вместе с мигрирующим населением.

Не исключено, что формирование этого комплекса повлияло и на саргаринскую металлургию, поскольку мы видим в ней резкое увеличение доли легирования мышьяком и сурьмой. Но тогда непонятно — почему именно такое комплексное легирование при сохранении оловянных лигатур и при отсутствии чисто мышьяковых лигатур. То есть, этот аспект проблемы совершенно не ясен. Зато вполне ощутимы импульсы этой традиции по лесной зоне на запад, где легирование оловом исчезает в маклашеевской культуре, и появляется легирование мышьяком.

Воздействие ЕАМП на Европейскую металлургическую провинцию

Вышеописанные процессы имели, возможно, гораздо большее пространственное протяжение, и коснулись не только Казахстана, Урала и Восточной Европы, но достигли Центральной и Западной Европы. В начале эпохи бронзы в Центральной Европе встречается мало изделий, легированных оловом. Ситуация резко меняется лишь в конце РБВ (горизонт клада Лангвайд, группы Ветеров, Мадьяровцы), когда эта традиция легирования распространяется широко, и изделия содержат уже 6—12% олова. Р. Краузе полагает, что, судя по унетичскому металлу, традиция легирования оловом привнесена с Балкан и Эгейды (Krause, 2003, S. 213—215, 220, 221, 249, 265). Однако эта традиция широко распространяется в позднеунетичское время, и сопровождается новыми, чуждыми унетичской культуре формами металла. Мне приходилось писать о том, что в этот период (BtA2) в Центральной Европе появляются изделия, восходящие к сейминско-турбинским образцам, и эти перемены обусловлены приходом населения с востока (Grigoriev, 2002, p. 215). Если быть точным, то это время, когда действительно широко распространяются оловянные бронзы, VzA2b, датируется в системе калиброванных радиоуглеродных дат около XVIII в. до н. э. (Gerloff, 1993, p. 66, 83). И далее эти стереотипы начинают распространяться по всей Европе. То есть, мы видим, что, хотя традиция оловянных лигатур существовала, ее бурное развитие произошло лишь с приходом населения с новой традицией металлообработки и новыми типами изделий.

Показательно и то, что речь, в данном случае, не идет исключительно о распространении определенных типов изделий и легирования. Мы помним, что это связано и с существенными переменами в технологиях металлообработки. Однако в это же время в Центральной Европе появляется плавка халькопирита. В частности, надежно установлено, что на знаменитых рудниках в районе Миттерберга в Австрии в ПБВ плавляли халькопирит (Tylecote, 1987, p. 129). Вероятно, переход на плавку первичных сульфидных руд, с оптимальным соотношением кислотных и основных окислов и с более высокими температурами, которые везде сопутствуют плавкам халькопирита, сделали возможным последующую технологическую трансформацию — выпуск шлака из печи. Так, предполагается, что на поселении Мюльбах в Миттерберге шлак изливался, хотя устанавливается это только по форме шлака (Herdits, 2003, p. 69, 70).

Все эти новшества распространяются и далее на запад. С формированием Армориканской культуры Бретани и культуры Роны там распространяются технологии, основанные на легировании оловом. Предполагается, что это можно рассматривать как проникновение полностью развитой культуры с иерархическим обществом (Strahm, 2005, p. 26). Но там это сопровождается также появлением металлических изделий, восходящих, в конечном счете, к сейминско-турбинской традиции (Grigoriev, 2002, p. 219). Это имеет продолжение и далее: в Ирландии и Британии в этот период происходит быстрое

внедрение оловянных бронз (O'Brien, 2005, p. 37; Craddock, Craddock, 1996, p. 52). Но не исключено, что здесь это происходит на столетие раньше.

Поскольку мы видим в Центральной и в большей части Западной Европы комплексную трансформацию (смена сырья, технологии плавки, лигатур, технологии металлообработки, типов изделий), можно полагать, что эта трансформация действительно имела своих конкретных носителей, хотя это и можно представить как внутреннее развитие.

Примером последнего является, как будто, ситуация в Северной Италии, где наблюдается довольно стандартная технологическая последовательность: от использования чистой меди, к мышьяковой, далее к меди с мышьяком, сурьмой, серебром и никелем, полученной из блеклых руд, и далее к оловянным бронзам. Медь с мышьяком и сурьмой из блеклых руд появляется в начале РБВ I (2077—1992 гг. до н. э. по дендрохронологии) вместе с образованием культуры Полада. С фазы В—С (2000—1800 гг. до н. э.) начинают чаще употребляться низкооловянные бронзы, а с РБВ II, оловянные бронзы, содержащие до 8—10% олова (De Marinis, 2005, p. 249, 250). На первый взгляд, эта логичная последовательность может указывать на автохтонное эволюционное развитие производства, даже если первый этап в этой цепочке был стимулирован извне. Однако при формировании культуры Полада наблюдаются импульсы из Центральной Европы (Венгрия). А при переходе к следующему этапу фиксируется разрушение поселений, появление изделий, сопоставимых с группой Ветеров или унетицкой культурой, что маркирует приход населения с севера, из Центральной Европы (Grigoriev, 2002, p. 278).

Но здесь тоже изменения явно не ограничиваются исключительно внедрением оловянных лигатур. В Лигурии оловянные бронзы известны в период РБВ (2000—1600 гг. до н. э.), но в этот и более ранний периоды данные по плавке руды отсутствуют. Когда они появляются в комплексах СБВ, фиксируется добыча сульфидной руды, а на поселениях обнаруживают куски олова, что указывает на легирование металлом в металл (Delfino, 2008, p. 234). Ранее мы уже обсуждали условия, при которых может возникнуть легирование металлическим оловом.

Далеко не всегда мы имеем дело с полной трансформацией всего комплекса, часто сохраняется множество более ранних традиций. В Иберии уже в СБВ олово иногда встречается в шлаке (например, до 1—2% в шлаке среднебронзового слоя поселения Эль Ланете де лос Морос), но есть и в металле, причем, порой в высоких концентрациях (8—9, 13,5 и 17,5%). То есть, речь идет о безусловных оловянных бронзах, хотя доминируют в это время мышьяковые. И хотя затем в ПБВ здесь известна оловянная лигатура, мышьяковая продолжает сохраняться. Не отмечены и иные прогрессивные нововведения эпохи. На поселении Чинфлон этого периода плавку вели в небольших печах без выпуска шлака (хотя шлак фаялитовый, и потому вязкость его невысока), на тиглях и в металле выявлена примесь мышьяка (Hunt Ortiz, 2003, p. 332—334, 352—355). Поэтому здесь мы имеем дело, скорее, с заимствованием новшеств с соседних территорий, хотя не исключено, что нужен просто более детальный территориальный анализ, так как некоторые иные инновации, появившиеся прежде на востоке и в Центральной Европе здесь отмечены. В частности, в провинции Уэльва в Юго-западной Испании в ПБВ добывали халькопирит (Rothenberg, Freijeiro, 1980, p. 45).

Плавка халькопирита в ПБВ становится общераспространенным явлением. В Сербии известно много шлаковых куч, но большинство из них не датировано и относится, вероятно, к позднему времени. Определенно относящимся к ПБВ является скопление шлака в районе Трнянэ, датированное периодом 1300—1100 гг. до н. э. В шлаке выявлены халькопирит, кристобалит, магнетит, вытянутые кристаллы фаялита, характерные для быстрого остывания, наблюдается почти полное отсутствие меди. На основании анализа шлака сделан вывод о том, что здесь плавил сульфидные руды: ковеллин, отчасти халькопирит (Krajinović et al., 1990, p. 64).

Таким образом, повсеместно от Атлантического побережья Европы до Алтая мы можем наблюдать сходные инновации в металлургическом производстве. Относительная синхронность этих инноваций и сопоставимость не позволяют рассматривать их как явления, полностью изолированные друг от друга. Наиболее оправданно рассматривать их в рамках единого процесса, начало которому было положено на востоке.

Воздействие ЕАМП на развитие металлургии в Восточной и Юго-восточной Азии

Формирование металлургии в Китае

Одной из важнейших проблем в археометаллургии является определение роли, которую сыграла металлургия Северной Евразии в становлении металлургии Восточной и Юго-Восточной Азии. Здесь существуют две основные точки зрения. Согласно одной из них, наиболее принятой, китайская металлургия возникает в результате влияния с запада степных племен. Но последнее время среди китайских археологов появилось мнение о местном зарождении металлургии на Центральной Равнине или в Ганьсу, откуда она распространяется в иные ареалы Китая (подробнее см. Линь Юнь, 1991, с. 77; Mei, 2003, p. 33, 38; Mei, Li, 2003, p. 111, 112; Linduff, Mei, 2008, p. 6, 11, 12; Mei et al., 2012, p. 36). К сожалению, ситуация осложняется тем, что промежуточная территория Монголии исследована пока недостаточно. Последнее время здесь выделены культуры эпохи бронзы, которые можно сопоставлять с культурами Северной Евразии. Вполне ожидаемо присутствие на северо-западе, в Монгольском Алтае, афанасьевских памятников. Южнее, в пределах Джунгарии, отрогов Монгольского Алтая и на севере Синьцзяна (где находится эпонимный памятник) выделена чемурчекская культура, которая датируется где-то в пределах 2800—1800 гг. до н. э. Эту культуру характеризуют крупные прямоугольные каменные ограды погребальных сооружений, появляются первые бронзовые и свинцовые изделия, есть сосуды, сопоставимые с елунинскими, в могильнике Чемурчек найдена литейная форма для кельта-лопатки. Для керамики предлагаются репинские и северокавказские параллели, а погребальным сооружениям, антропоморфным стелам и некоторым типам сосудов параллели среди мегалитических комплексов Западной Франции, что позволило сделать вывод о миграции населения оттуда и участии в формировании сейминско-турбинской металлургии (Ковалев, 2005, с. 178—184; Ковалев, Эрдэнэбаатар, 2007, с. 80; Эрдэнэбаатар, Ковалев, 2009, с. 71—75). Это, безусловно, какое-то пришедшее с запада явление, но параллели в европейских мегалитических комплексах не слишком надежны. Как правило, они построены на довольно простых и широко распространенных формах. Каких-то специфических параллелей пока недостаточно. Поэтому эту связь на данном этапе принять нельзя, как нельзя, впрочем, и однозначно отвергнуть. Равным образом, пока не произойдет существенное накопление материала и не будет сделана внутренняя хронология, трудно говорить о роли этой культуры в формировании сейминско-турбинской металлургии, так как любые подобные параллели могут датироваться поздним ее периодом и отражать контакты с елунинским населением.

Последующая культура бронзового века Западной Монголии, мунх-хайрханская (1700—1300 гг. до н. э.), содержит серьги с раструбом федоровского типа, а байтагская (XII—X вв. до н. э.) и Тэвш в Гобийском Алтае (XIII—X вв. до н. э.) изделия карасукских типов, и предполагается, что в Китае изделия этого типа принадлежат именно этим культурам (Ковалев, Эрдэнэбаатар, 2007, с. 80—83; Эрдэнэбаатар, Ковалев, 2009, с. 71—78). Это вполне логично. Контакты с Китаем осуществлялись через монгольскую территорию, а не непосредственно из Южной Сибири.

К сожалению, в Монголии металл изучен слабо, а находки шлаков отсутствуют, так как раскопкам подвергаются, преимущественно, могильники. Это ослабляет возмож-

ность сопоставления материалов Северной Евразии и Китая. Тем не менее, определенные усилия в этом направлении сделаны. Во всяком случае, за счет сопоставления материалов Синьцзяна и Ганьсу с сибирскими и восточноказахстанскими у нас есть возможность для синхронизации этих комплексов. Правда, какие-либо афанасьевские влияния в Китае не отмечены, и рассуждения о них ни на чем не построены (Ковалев, 2004, с. 264). Приводимые иногда данные об афанасьевских связях базируются не на сопоставлении металла и керамики, а на сходстве погребальных конструкций в Северо-Западном Китае (Mei, 2003, p. 39). И потому они носят, скорее, косвенный характер. Мало возможностей и для сопоставления с окуневской культурой, разве что присутствие в последней оловянных бронз, но последнее характеризует уже поздние фазы культуры, и может рассматриваться как, например, елунинская черта.

Но уже с периода эпохи поздней бронзы (по североевразийской периодизационной системе), когда контакты появляются, можно говорить о синхронизации тех или иных комплексов. В результате проведенного анализа (Бехтер, Хаврин, 2002) данная схема выглядит следующим образом. Сейминско-турбинским и петровским памятникам соответствует период полулегендарной династии Ся, которой письменные источники приписывают уже развитое литье. На Центральной Равнине, в бассейне Хуанхэ, эта династия археологически отождествляется с периодом Эрлитоу. Последующая же исторически вполне достоверная Шаньская династия представлена периодами Эрлиган и Инь. Затем ее сменяет период Западного Чжоу (Линь Юнь, 1991, с. 76). В соответствии с обсуждаемой схемой, периоду Эрлиган соответствуют постсейминские памятники типа Ростовкинского могильника, и алакульская культура, а Иньскому периоду карасукская, саргаринская и бегазы-дандыбаевская культуры, хотя финальная их часть, как и лугавская культура, соответствуют периоду Западное Чжоу.

С точки зрения абсолютной хронологии, эти периоды датируются следующим образом: Эрлитоу — 1900—1600 гг. до н. э., Эрлиган — 1600—1300 гг. до н. э., Шань-Инь — 1300—1045 гг. до н. э. (Pigott, Ciarla, 2007, p. 77).

Забегая вперед, следует отметить, что, вне всякого сомнения, Северная Евразия оказала существенное воздействие на развитие металлургии в Китае. И на это указывает множество фактов, которые будут обсуждаться ниже. Тем не менее, существуют отдельные ранние находки металлических изделий, которые не укладываются в данную схему, и потому вызывают существенные возражения, как недостоверные. В главе по синташтинским шлакам была упомянута ранняя находка латуни. Есть находка ножа из оловянной бронзы (провинция Ганьсу), датированного около 3280—2740 гг. до н. э. (Линь Юнь, 1991, с. 78). Но в Китае нет медных изделий ранее 3000 г. до н. э., а изделий III тыс. до н. э. обнаружено всего четыре. При этом, даже если не рассматривать единичные и, возможно, сомнительные изделия культуры яньшао (4400—2500 гг. до н. э.), ранние вещи встречены на востоке, в провинциях Хенань, Шандун и Внутренняя Монголия, в контексте культуры луньшань (2600—2000 гг. до н. э.). А, поскольку в Синьцзяне нет изделий, датированных ранее 2000 г. до н. э., трудно обсуждать влияние с запада через этот регион (Mei, 2003, p. 38; Mei, Li, 2003, p. 112, 114; Wang, Mei, 2009, p. 383). Оно, конечно, могло осуществляться и не через Синьцзян, а севернее, но слабая изученность территории Монголии, а также наличие пока не очень понятной чемурчекской культуры заставляют осторожно относиться к проблеме самой ранней фазы китайской металлургии.

Но в ее дальнейшем развитии западные импульсы уже неплохо просматриваются. В первую очередь, эта проблематика связана с культурой Цицзя (ок. 2500—1900 до н. э.) в провинциях Ганьсу и на западе Шаньси. Это очень примечательный район. На западе и севере он отделен горами и пустынями, здесь находится коридор, который связывает Центральную Равнину с Алтаем. В этой культуре есть не просто медные из-

делия, а изделия с примесью свинца и олова (Linduff, Mei, 2008, p. 6—8). Иногда эти сплавы рассматриваются как естественные (Линь Юнь, 1991, с. 78), но такой тип сплава присутствовал в это время и в металле елунинской культуры, а выше мы обсуждали подобный сплав в Иране. Интересно и то, что такой сплав вместе с оловянными бронзами выявлен в могильнике Сяохэ в восточном Синьцзяне, а в Ганьсу найдены места плавки руды, причем изучение шлака одного из таких мест (Хоушилянь) обнаружило вместе с окислами железа и силикатами сульфидную фазу. Обобщение данных по этой культуре (а с памятников культуры происходит уже более 100 металлических изделий) позволило сделать вывод, что в ранней фазе культуры Цицзя встречались изделия из чистой меди, а затем появляются оловянные, которые сосуществуют с мышьяковыми бронзами, представленными довольно скромно. Предполагается, что это является обоснованием старой теории о контактах со «степью» и с сейминско-турбинской традицией металлообработки (Mei, 2003, p. 31, 34; Mei et al., 2012, p. 37—41). Это дублируется наличием не только одностворчатых, но и двустворчатых литейных форм, а также втульчатый литьем с сердечником (Pigott, Ciarla, 2007, p. 80). Мы можем высказать даже более конкретное предположение, хотя оно не распространяется на ранние фазы культуры. Появление оловянных бронз и сплавов со свинцом, а также начало выплавки сульфидных руд имеют елуниские параллели, но на фоне слабой изученности ранней металлургии Центральной Азии в целом, к этому следует относиться более чем осторожно. Существуют и иные даты начала культуры Цицзя (ок. 2200 г. до н. э.) (Pigott, Ciarla, 2007, p. 80), но это все равно раньше начала елунинской культуры и сейминско-турбинских бронз. Поэтому не исключено, что на возникновение металлообработки этой культуры первоначальное воздействие оказала поздняя афанасьевская культура или какой-то иной культурный комплекс.

Последние годы в восточном Синьцзяне и на западе Ганьсу открыта культура Сиба, датируемая с начала II тыс. до н. э. Предполагается, что именно она выступала посредником между сейминско-турбинской металлургией и металлургией Цицзя. Разрабатываются и собственные типы изделий, и формируется сложная система межрегионального взаимодействия. Сейчас известно уже около 270 изделий этой культуры, которые демонстрируют типологические связи со «степью». Сырьем их изготовления являлись оловянные и мышьяковые сплавы. Иногда предполагается, что последние тоже указывают на связи с сейминско-турбинской металлургией (Mei, 2003, p. 36—38), но для последней эти сплавы были характерны лишь далеко на западе, и были связаны, вероятно, с синташтинско-абашевским производством. Поэтому более вероятным является последующий вывод о том, что мышьяковые бронзы этой культуры базировались на местных медных рудах с мышьяком в провинции Ганьсу (Linduff, Mei, 2008, p. 8). Но независимо от происхождения сырья, проблема происхождения традиции остается, так как это связано еще и с иными приемами металлообработки.

И лишь после этих процессов появляется развитая металлургия восточнее, в Центральном Китае периода Эрлитоу. Здесь сплавы с мышьяком встречаются уже редко, чаще как примесь к оловянной лигатуре, доминируют сплавы с оловом, и отмечены сплавы с оловом и свинцом. Последние и использовались чаще для сложных отливок сосудов, которые были стимулированы возникшим здесь стратифицированным обществом, в котором металл начинает выступать как символ власти и богатства. Последующее развитие в период Шаньской династии выражено в исчезновении примесей мышьяка и большем распространении оловянных лигатур. Олово-свинцовые лигатуры тоже сохраняются. Но изделия становятся поистине массовыми. Собственно, относительно этой металлургической традиции у исследователей нет особых сомнений; то, что она связана с сейминско-турбинской, подтверждается и типами сплавов и формами изделий (Линь Юнь, 1991, с. 79; Pigott, Ciarla, 2007, p. 80; Linduff, Mei, 2008, p. 5, 10—13; Wang,

Mei, 2009, p. 383). Но до конца не ясно — было ли это непосредственное сейминско-турбинское влияние, или более справедлива цепочка Елунино — Сибя — Цицзя — Эр-литоу. На последнюю, как будто указывает несколько более раннее появление оловянных бронз в Сибя и Цицзя, а также наличие олово-свинцовых сплавов.

Вскоре металлургия распространяется в центральную часть Внутренней Монголии (культура Чжукайгоу), на север провинции Хэбэй и восток Внутренней Монголии (культура нижнего слоя Сяцзядянь), и исследователи отмечают присутствие сначала андроновских, а затем карасукских параллелей. Наличие андроновских параллелей здесь не вполне объяснимо, с учетом расстояний до восточных границ этой культуры. Более вероятно, все же, проникновение сюда металлургии с Хуанхэ. Идет распространение и на восток, в Шаньдун, где металл появляется в культуре Юши (Linduff, Mei, 2008, p. 8).

Таким образом, в Китае для наиболее ранних памятников III тыс. до н. э. в силу скудости данных невозможно определить источник возникновения металлургического производства, хотя оно, безусловно, есть, хотя и очень слабое. Но своему взлету металлургия региона обязана появлению сейминско-турбинской традиции, причем, на достаточно раннем этапе. Первоначально металлургия возникает на востоке Синьцзяна и в Ганьсу, затем в среднем течении Хуанхэ, а потом бурно развивается благодаря развитым общественным структурам и уже довольно быстро распространяется на северо-восток, восток и юго-восток.

В конце II и в I тыс. до н. э. Китай снова становится интересен для нас с учетом североевразийской проблематики. Выше мы обсуждали, что в эпоху финальной бронзы в Южной Сибири исчезают сплавы с оловом, и им на смену приходит легирование мышьяком, что характерно для карасукской культуры. Несмотря на частое присутствие типологически близких бронз в Северном Китае, а иногда и в Центральном, там подобная смена не наблюдается. Зато она ощутима в северо-западном Синьцзяне, недалеко от границы с Казахстаном. Здесь в начале I тыс. до н. э. активно производили мышьяковые бронзы путем плавки медных сульфидов с легированием каким-то мышьяковым минералом на стадии плавки руды. В получаемом штейне присутствуют медь, мышьяк, железо, свинец и сера. В целом, это соответствует тем процессам, которые проходили на севере, но там в плавку поступали окисленные руды. Поэтому не исключено, что здесь произошло какое-то дальнейшее развитие технологии, что вполне допустимо, учитывая относительно более поздний характер образцов. Предполагается, что плавка велась сначала на получение штейна, а потом при переплавке штейна к нему добавлялся легирующий компонент. Плавки сульфидов около 1000 г. до н. э. зафиксированы в Синьцзяне и в Муйюшань (Mei, 2003, p. 44; Mei, Li, 2003, p. 111—118). Насколько это соответствует карасукским традициям плавки, сказать сложно. О последних мы пока слишком мало знаем. Нельзя исключать и какие-то варианты легирования шпейзой, что обсуждалось на примере Ирана. Но совершенно очевидно, что от традиции легирования оловом здесь отходят, как и в Сибири. Она сохраняется восточнее, где для периода Западного Чжоу (1027—771 гг. до н. э.) характерно доминирование олова (Wang, Mei, 2009, p. 383).

Таким образом, если мы будем рассматривать только ситуацию в Ганьсу и на Центральной Равнине, то мы видим (не считая слабо представленной металлургии чистой меди, явно имевшей место ранее) резкий взлет металлургии с плавкой оловянных бронз. Это и заставляет всех исследователей полагать, что металлургическое производство в Китай привнесено извне, в уже сложившемся развитом виде (Roberts et al., 2009, p. 1016). Но если мы будем рассматривать еще и Синьцзян, то мы получим и вовсе перевернутую ситуацию, когда возрождаются более архаичные мышьяковые сплавы. И эти сплавы получают намеренным легированием, а не из руды с примесями мышьяка, как это случалось ранее.

Но эта ситуация парадоксальна лишь на первый взгляд. Она четко соответствует аналогичным процессам, которые в то же время происходили в Северной Евразии.

И указывает на безусловные связи этих регионов в течение, как минимум 1000 лет. Причем, эти связи, будучи комплексными (тип легирования — типология изделий) были, по-видимому, достаточно сложны, когда, наряду с длительным взаимодействием, имели место и достаточно быстрые проникновения на значительные расстояния. Не исключено, что последнее проявило себя и в Юго-восточной Азии.

Формирование металлургии в Юго-восточной Азии

В настоящее время общепринятой точкой зрения является то, что во Вьетнам и Таиланд металлургическое производство было привнесено в уже сложившемся виде в середине II тыс. до н. э. из провинции Хунань на юго-западе Китая, куда оно попадает с Янцзы. В свою очередь, производство в бассейне Янцзы было обязано привнесению его из районов Хуанхэ (Эрлитоу — Эрлиган), и, в конечном счете, это развитие связано с сейминско-турбинской металлургией. В Таиланде это подтверждается легированием оловом и изготовлением с самого начала литых втульчатых копий и кельтов. При этом предполагается не влияние, а миграция, когда пришли люди, умевшие находить и плавить руду в тиглях или небольших печах и легировать оловом. При этом эта дата обосновывается также тем, что втульчатые изделия не так типичны для периода Эрлитоу, как для периода Эрлиган (Pigott, Ciarla, 2007, p. 76—84).

Это вполне логичная картина, но недавно в нее предложены существенные изменения, поскольку детальное изучение стратиграфии металлургических комплексов в Таиланде и серия дат позволили предположить более ранние даты существования ранних комплексов металла с втульчатым литьем из оловянных бронз в Таиланде — 2000—1700 гг. до н. э., что одновременно или даже несколько предшествует формированию этой металлургии в бассейне Хуанхэ. Более того, были показаны технологические и типологические отличия тайских изделий от изделий в Китае и большая их близость собственно сейминско-турбинским вещам. Поэтому был сделан вывод о достаточно стремительной миграции из районов Алтая на юг, минуя бассейн Хуанхэ (White, 2006, p. 91—98).

Это нельзя считать полностью доказанным, так как в условиях муссонного климата и активного роста растений могли возникнуть проблемы, как со стратиграфией, так и с радиоуглеродным анализом. Кроме того, исследование плавильного места Нон Па Вай (500—300 гг. до н. э.) выявило неумелые и нестандартизированные плавки оксидов и иногда сульфидов в тиглях. Потери меди уменьшаются в следующий период (300 г. до н. э. — 500 г. н. э.), когда сульфиды начинают использоваться более активно, и плавки становятся более стандартизированы, что зафиксировано исследованиями поселения Нил Хам Хаенг. Поэтому у авторов этого исследования возник вопрос: почему спустя 1000 лет после появления металлургии регионе сохраняется такая примитивная технология? (Pryce et al., 2011, p. 147—158).

Но это не совсем справедливый вопрос, так как в новых условиях могла иметь место не только консервация старых технологий, но и их деградация. Однако это для нашей темы не столь принципиально, так как дискуссия эта касается лишь конкретного времени и способа распространения в Юго-восточной Азии металлургии. Но то, что этот процесс был начат в рамках зарождающейся еще Евразийской металлургической провинции, особых сомнений не вызывает.

Социально-экономические аспекты производства

В эпоху поздней бронзы происходят существенные изменения в характере металлургического производства. В первую очередь, производство существенно расширяется территориально: оно представлено во всех районах, где поблизости имеются источники медной руды, и ассортимент использованной руды расширяется. При этом значительно увеличиваются объемы горной добычи в разных районах. Оценить это достаточно

сложно, поэтому мы обсуждали, что объемы добычи на Каргалинских рудниках сильно завышены. Однако нет никаких сомнений в том, что они были значительными. Большие объемы добычи отмечены и для Донецко-воронежского региона.

К сожалению, не было попыток оценки объема добычи на алтайских месторождениях, но для Центрального Казахстана такие расчеты производились. «По подсчетам Г. Н. Щербы, на месторождениях Центрального Казахстана до начала промышленной разработки в XIX в. было добыто около 10 млн т руды, из которой выплавлено 450 тыс. т меди. По подсчетам С. Болла, а затем К. И. Сатпаева, в Джезказгане в древности было добыто свыше 1 млн. т руды, содержащей не менее 10 тыс. т меди. Объемы извлеченных руд и масштабы металлургического производства, во много раз превышавшие потребность в нем жителей Сарыарки, свидетельствуют о существовании в древности экспорта металла» (Маргулан, 2001, с. 75). Часть этой добычи была произведена в средневековье, вероятно, высчитанные объемы завышены, но нет сомнений в том, что они были колоссальны, и несопоставимы с добычей в западных ареалах Евразийской провинции.

На товарный характер производства указывает и обнаружение крупных слитков черновой меди весом от 1 до 5 кг (Маргулан, 2001, с. 65).

По сравнению с эпохой средней бронзы заметно изменение в локализации памятников металлургии. Если для синташтинской культуры поселения вблизи рудников не установлены, андроновские поселения со следами плавки руды в большинстве случаев локализуются неподалеку от выработок. При этом известны огромные шлаковые отвалы у рудников, где не зафиксированы поселения. Отчасти это связано с тем, что обследования рудников производились геологами, которые были не в состоянии найти древние поселения. Но часть таких отвалов отмечена в местах, неудобных для обычных поселений. Это говорит о том, что появляются специализированные поселки горняков и металлургов. Собственно, это характеризует производство этой эпохи и в Восточной Европе, где к специализированным поселкам относятся Горный в Приуралье и ряд поселений Донецко-воронежского района.

Подобная специализация наблюдается не только в добыче и плавке руды, что вызвано, в первую очередь, неравномерностью распределения месторождений, но и в металлообработке. Это тоже довольно сложно оценить, но Мосоловское поселение с его обилием литейных форм недвусмысленно на это указывает.

Трудно сказать, что послужило причинами появления этой специализации помимо неравномерности распределения рудных источников. Одной из причин было, вероятно, усложнение литейных и кузнечных операций, требовавшее специализации. При плавке руды мы тоже наблюдаем переход на более сложные и разнообразные руды, поэтому потребность в специальных знаниях наверняка возрастает. Но и в горном деле происходят изменения. Известные на сегодняшний день места добычи в эпоху средней бронзы представлены карьерами, а для ПБВ в разных районах установлены шахты, причем, порой, достаточно глубокие. А это, конечно, требовало больших профессиональных знаний по сравнению с открытой добычей. То есть, в основе специализации был естественный процесс технологического развития и усложнения всех операций технологической цепочки.

Важную роль играли поставки олова. Это редкое сырье, и оно транспортировалось на значительные расстояния, что приводило к развитию обменных отношений.

Не исключено и то, что в самом обществе в этот период происходят какие-то социальные сдвиги, которые способствовали этим переменам, но оценить их в рамках данной работы не представляется возможным.

Тем не менее, в результате всех этих процессов огромные территории оказываются втянуты в торговые операции с металлом и появляются специализированные сообщества металлургов.

Глава 12. Metallургическое производство в Кызылкумах

Выше мы рассмотрели не только динамику развития производства на территории ЕАМП, но и некоторые вопросы взаимодействия этого производства с иными традициями в контактных зонах других металлургических провинций, Европейской и Центрально-Азиатской. Но на юге ЕАМП контактировала еще с одной провинцией, Ирано-Афганской (Черных, 1978). Взаимодействие этих провинций наблюдается в пограничном ареале, на территории пустыни Кызылкум. В ходе археологических исследований, предпринятых в Центральных Кызылкумах, была выявлена серия стоянок с остатками металлургического производства (Вактурская и др. 1968; Виноградов, Кузьмина, 1970; Виноградов и др., 1972).

Район Центральных Кызылкумов в настоящее время представляет собой пустыни со значительным числом невысоких горных возвышенностей, сложенных из известняка или мрамора. Эти сравнительно молодые поднятия, прорванные, зачастую, интрузиями горных пород, и потому иссеченные прожилками кальцита и кварца (Виноградов, Мамедов, 1975, с. 6, 15). С этими интрузиями, по-видимому, и связано незначительное, по сравнению с другими горно-металлургическими областями, медное оруденение.

В исследуемую выборку были включены шлаки и руды с 10 стоянок Лявляканской котловины, 8 — Аякагитмы и 5 — Беш-Булака. В общей сложности было сделано 108 минералогических анализов и 98 — спектральных¹. Кроме того, было изучено два образца из расположенной южнее Маргианы: с памятников Келлели 4 и Дашлы 3 (рис. 12-1). Безусловно, все это недостаточно для того, чтобы представить развитие металлургического производства в этом регионе.

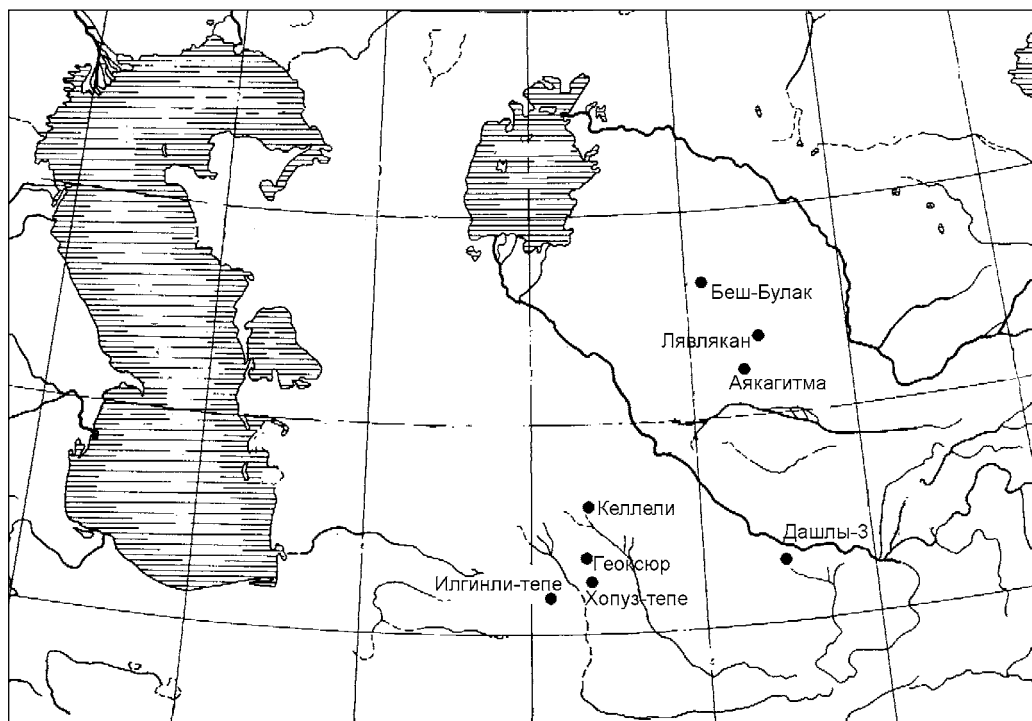


Рис. 12-1. Карта памятников Средней Азии, упоминаемых в тексте

¹ Автор выражает признательность А. В. Виноградову, передавшему шлаковые коллекции для обработки в лабораторию естественнонаучных методов ИА РАН, а также Е. Н. Черных, предоставившему возможность для их анализа.

Шлаковые материалы Кызылкумов

Классификация шлака Кызылкумов вызывает серьезные затруднения, обусловленные как характером памятников, так и характером рудной базы. Основная проблема сводится к тому, что значительная часть материалов происходит с разветвленных стоянок. Практически, это пункты обнаружения шлаков. Раскопкам подвергнута малая часть этих объектов. Однако, в силу того, что авторы публикаций интересовались, прежде всего, неолитическим материалом, материалам эпохи бронзы не уделено должного внимания. Поэтому четко привязать шлак к какому-то времени удастся лишь в редких случаях. Кроме того, чаще в публикации материалы этого времени описываются, как относящиеся к памятникам ранней бронзы Кызылкумов или относящиеся к степной бронзе. На этой основе четко привязать шлак к какому-то культурному комплексу (алакульскому, федоровскому или саргаринскому) невозможно. Иногда упоминается хорошо знакомая исследователям Средней Азии тазабагъябская керамика, которая генетически связана, по-видимому, со срубной или алакульской.

При изучении минералогии шлака выявилась еще одна проблема. Было совершенно очевидно, что подавляющее большинство шлака получено при плавке руды из кварцевых жил. Но часть оруденения связана с основными породами. Однако в ряде случаев имелись признаки того, что железосодержащие породы были приурочены к кварцевым жилам. В подобных случаях отнести четко шлак к той или иной минералогической группе было достаточно затруднительно. В ходе этой классификации я старался придерживаться той же номенклатуры групп, которая использована для более северных территорий. Однако зачастую определенно сказать — к какой группе данный образец относится, было невозможно. В принципе, этот шлак мог быть выплавлен из руды в основных породах, рассеченных кварцевыми жилами или из месторождения в кварцевой породе, верхняя часть которого обогащена оксидами железа. Поэтому ряд образцов был отнесен к промежуточным группам, например, III, когда шлак сочетал в себе признаки плавки руды из железосодержащих и кварцевых пород. Но генетически эта группа, вероятнее всего, не соответствует аналогичной уральской группе, хотя и подходит по формальным признакам. Есть возможность ее обозначить вовсе как группу (I—II?), но я предпочел избежать столь экзотической номенклатуры.

Во многих случаях в плавку поступала окисленная руда, главным образом, малахит. Однако зачастую в шлаке присутствуют и сульфидные руды, даже в тех случаях, когда основу руды составляли окисленные. Попадаются и вкрапления халькопирита. Не всегда имеется возможность понять, насколько случайным является присутствие большего количества халькопирита в плавке и формирование структур, типичных для шлаков VII минералогической группы. Иногда преднамеренная их плавка вполне очевидна, но иногда нет. При этом халькопирит происходит из тех же типичных для Кызылкумов кварцевых пород. Поэтому в тех случаях, когда отнесение к какой-то определенной группе вызывало затруднения, было желание отнести шлак к промежуточной группе II—VII. Однако более внимательное изучение этого материала позволило оставить его в группе II, поскольку здесь использовалась рудная смесь, а не преднамеренная плавка именно халькопирита.

Все эти неопределенности мешают добиться той относительно четкой картины, которая выявлялась севернее. В итоге, можно говорить, главным образом, о наиболее общих тенденциях и присутствии того или иного типа плавок на этой территории.

В общей сложности, минералогическому анализу было подвергнуто 108 образцов шлака. По форме он был разделен на четыре типа: 1 — бесформенный тяжелый шлак, 2 — уплощенный шлак, 3 — шлаковая корка, припеченная к песчанику или обмазке, 4 — тонкая изогнутая шлаковая пластина. В принципе, шлаковые корки, припеченные

к песчанику или керамическим массам, могут быть характерны для плавок разных типов. Подобный шлак присутствовал, правда, в довольно ограниченном количестве, и в некоторых иных коллекциях Северной Евразии. Чаще это ошлаковка стенок или пода печи. Поэтому он вполне может сочетаться с бесформенным шлаком. Но на стоянках Кызылкумов доля этого шлака очень велика, что вызывает вопрос о причинах этого явления. На севере аналоги этому есть лишь в елунинских и межовских сериях.

Описание рудных образцов

Среди шлака было выявлено несколько образцов подверженной термическому воздействию руды (№ 549, 550, 561, 562, 585). Но они происходят лишь с трех стоянок одного района: Бешбулак 1, 2, 10. Все образцы представлены малахитом, реже купритом с примесью вторичных сульфидов в кварцевой породе, обогащенной иногда оксидами железа. Один образец со стоянки Лявлякан 44-1а представляет собой спекшийся рудный конгломерат, содержащий значительное количество зерен кварца (55—60%), в котором присутствуют включения меди, куприта, малахита и халькопирита. Между зернами кварца встречаются небольшие участки шлакового стекла, в котором иногда присутствуют зародыши оливиновой кристаллизации и рудные включения.

Минералогия шлака

I минералогическая группа

В отличие от шлака этой минералогической группы Урала, где он четко диагностировался по присутствию хромита, кызылкумский материал объединен в эту группу как по данному признаку, так и в тех случаях, когда было видно, что оруденение связано с железистыми минералами, а включения кварца в образце отсутствуют. Зерна хромита в количестве около 1% присутствуют лишь в пяти образцах (№ 485, 489, 513, 530, 581). Соответственно, эти образцы могли быть получены из руды, происходящей из ультраосновных пород. Прочие происходят из пород основного состава, но, вероятно, иного генезиса. Основным включением в шлаке этой группы являются кристаллы оливина. Как правило, они удлиненно-призматические или крупные скелетные (рис. 12-1.1), но встречаются и таблитчатые формы. Между ними прорастают игольчатые кристаллы и зародыши оливиновой кристаллизации. Содержание оливина колеблется в образцах с включением хромита в пределах 45—66%. В прочих образцах разброс содержания оливина выше — от 10,3 до 66%, хотя большинство демонстрирует, все же, высокие содержания.

Во многих образцах представлены железистые компоненты (магнетит и вюстит с преобладанием последнего). Они представлены октаэдрами (рис. 12-1.1), скелетами, мелкими кристаллизующимися дендритами и сыпью, а в случае значительного количества также дендритами и крупными зернами. Иногда октаэдры образуют скопления, результат распада более крупных зерен. Зерна перерождающихся гидроокислов железа (гётит) в таких шлаках могут быть достаточно многочисленны. Но обычно они замещаются гематитом. В таких зернах или скоплениях иногда присутствуют окисленные медные минералы (малахит, куприт, халькозин) или медные корольки. Обычно эти минералы не расплавлены, хотя иногда встречаются оплавленные дендриты и даже корольки. Но это в тех случаях, когда произошло восстановление до вюстита. Содержание магнетита и вюстита колеблется от 0,2 до 23%, но чаще в диапазоне 5—12%.

Собственно, такое хорошее присутствие оливина и железосодержащих минералов, а также зафиксированные случаи связи оруденения с последними, и позволяет отнести шлак к этой группе.

Корольки меди (рис. 12-1.1) в этом шлаке невелики и их количество незначительно (0,1—2,5%, но более типичен диапазон 0,4—1,5%). Куприт представлен корольками или

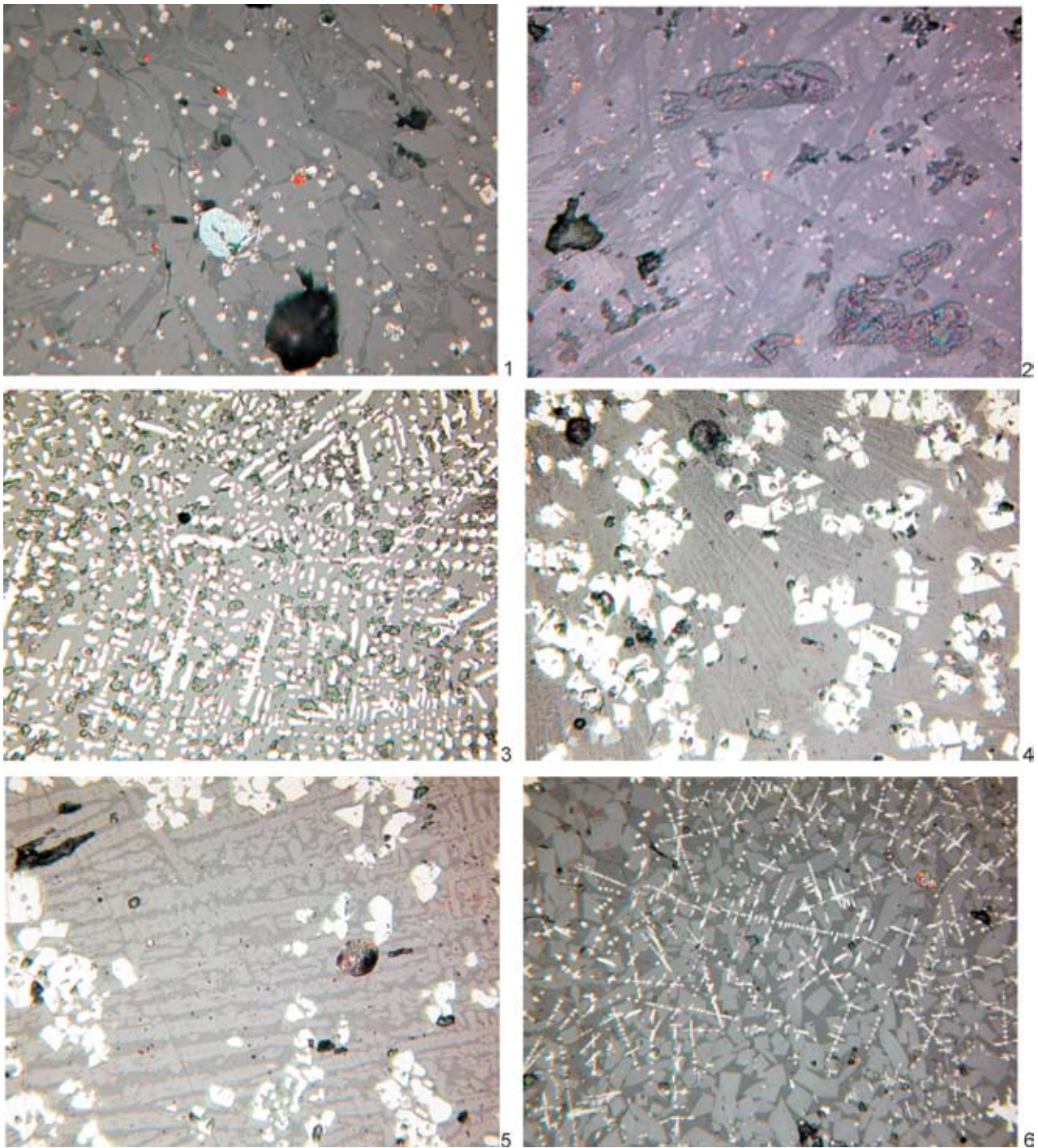


Рис. 12-1. Микроструктуры шлака Средней Азии (длина снимков 0,54 мм): 1 — обр. 540, I минералогическая группа, 2 тип, Беш-Булак 3: призматические кристаллы оливина (серые) в стекле (темно-серое), между которыми присутствуют мелкие иглы и зародыши оливиновой кристаллизации; октаэдры магнетита, мелкие корольки меди, оплавленное зерно ковеллина (голубое) и поры (черные). 2 — обр. 544, II минералогическая группа, 1 тип, Беш-Булак 3: удлиненно-призматические кристаллы оливина (темно-серые) в светлом стекле, частицы магнетита (белые) и корольки меди. 3 — обр. 486а, III минералогическая группа, 2 тип, Аякагитма 234: дендриты вюстита. 4 — 528а, III минералогическая группа, 4 тип, Аякагитма 209: октаэдры магнетита и мелкие иглы оливина. 5 — 528, III минералогическая группа, 4 тип, Аякагитма 209: удлиненно-скелетные кристаллы оливина и октаэдры магнетита. 6 — 528, III минералогическая группа, 4 тип, Аякагитма 209: дендриты магнетита, мелкие призмы оливина и корольки меди

редкими небольшими частицами, чаще он расплавлен. Содержание его заметно ниже меди: от совершенно незначительного присутствия до 1,5%, но обычно до 0,5%. Все это указывает на низкую вязкость расплава и восстановительную атмосферу плавки.

Рудные минералы представлены обычно малахитом. Однако спектр их достаточно широк. Помимо малахита присутствует куприт, изредка азурит, и часто в небольших количествах встречаются сульфидные минералы: ковеллин (рис. 12-I.1), халькозин, изредка кубики халькопирита и мелкие включения борнита. Ковеллин и халькозин представлены обычно корольками. В данном случае, как и повсеместно, нет оснований говорить о преднамеренном смешивании руды, это лишь отражает характер оруденения: изредка встречаются ассоциации малахита с вторичными сульфидами в пределах одного рудного зерна.

Таким образом, I минералогическая группа отражает плавку руды из пород основного состава. В плавку поступали, преимущественно, окисленные минералы типа малахита, хотя часто присутствует и примесь сульфидов. Возможно, последнее (хотя не исключены и иные факторы, поскольку нам не известна конструкция печей) способствовало сохранению в течение плавки восстановительной атмосферы, препятствовавшей купритизации расплава. Судя по расплавлению куприта, в процессе плавки достигались температуры в пределе 1200—1300 °С. Однако в отдельных образцах отмечены оплавленные частицы вюстита и изредка даже его корольки. Оплавление порой можно объяснить воздействием жидкотекучего расплава. Тем не менее, мы можем допускать, что иногда температура, все же, достигала точки плавления вюстита 1360 °С или была близка к ней. Расплав был достаточно жидкотекучим, так как оседание металла произошло очень хорошо и потери меди в шлаке незначительны. Учитывая это, а также то, что оливин часто формирует достаточно крупные кристаллы, остывание шлака проходило медленно, соответственно, плавка велась в металлургических печах, и выпуск шлака не осуществлялся.

II минералогическая группа

Минералогическая группа связана с плавкой руды из кварцевой породы в условиях восстановительной атмосферы. Это наиболее представительная группа во всей выборке. При этом она очень неоднородна. Степень кристаллизации оливина в шлаках этой группы демонстрирует максимальный разброс от 1 до 76%. В зависимости от количества оливина может быть представлен мелкими иголками и зародышами кристаллизации, скелетными призмами или удлинненными призмами (рис. 12-I.2).

Вторым ведущим компонентом в шлаке является магнетит (рис. 12-I.2). Он представлен октаэдрами различных размеров, скелетами и дендритами, выпадающими из расплава. Изредка его зерна или дендриты слегка оплавлены. Иногда есть крупные зерна, от которых отделяются мелкие октаэдры. В некоторых случаях видно, что этот минерал заключен в зернах кварца. Это обстоятельство, а также такое нестабильное содержание оливина указывают на то, что преднамеренная компоновка шихты или флюсование не осуществлялись. Нет и отчетливой связи между содержанием оливина и магнетита. В разных по содержанию оливина группах (1—10%, 10—20% ...) содержание магнетита колеблется от 0 до 20—30% в отдельных образцах, а среднее содержание внутри групп от 3,5 до 7,5—10%, при этом какие бы то ни было количественные зависимости от содержания оливина отсутствуют.

Медь представлена мелкими корольками (рис. 12-I.2). Содержание ее незначительно, в среднем по группе 1,27%. Было подсчитано, что от шлаков с низким содержанием выкристаллизовавшегося оливина к шлакам с его высоким содержанием содержание меди снижается от 2 до 0,8%, что вполне объяснимо снижением вязкости расплава.

Куприт представлен зернами, корольками, замещением рудных минералов, редко дендритами, или каемками вокруг корольков халькозина. Содержание его в разных образцах колеблется, но в целом невелико, составляя в среднем 1,1%. В данном случае тоже прослеживается неотчетливая зависимость между содержанием оливина и куприта: содержание куприта снижается по мере роста содержания оливина от 2 до 0,1%. То есть подтверждается тенденция, выявленная при анализе содержания меди: оливиновый расплав обеспечивал более низкую вязкость, что способствовало снижению потерь меди в шлаке. Но в данном случае дополнительным фактором является то, что куприт формируется в условиях окислительной атмосферы, а для формирования фаялита нужна восстановительная.

Невысокое содержание меди и куприта указывает также на восстановительную атмосферу плавки, что подтверждается и присутствием в отдельных образцах частиц железа. Каким образом достигалась восстановительная атмосфера на фоне отсутствия информации по печам сказать трудно, тем более, что количество сульфидных минералов в шлаке этой минералогической группы не столь велико. Руда представлена, главным образом, малахитом и купритом (редко встречаются зерна хризоколлы и азурита), хотя в некоторых образцах встречены изредка мелкие зерна халькопирита или борнита, чаще мелкие корольки ковелина и халькозина, иногда ковелин (в одном случае борнит) идет в ассоциации с малахитом. Соответственно, это отражает рудную базу, а не преднамеренную компоновку шихты. Не исключено, что количество вторичных сульфидов, поступавших в плавку, было выше, но они сначала перешли в куприт, а потом были восстановлены до меди. Это и обеспечивало восстановительную атмосферу плавки. В нескольких образцах содержание халькопирита оказалось выше, что сближает их с минералогической группой VII. Однако там же встречены и окисленные минералы, причем, иногда в одном зерне с халькопиритом. Поэтому данные образцы отражают случайную ситуацию попадания в шихту большей доли халькопирита, но не позволяют выделять отдельную группу или включать эти образцы в группу VII.

В технологическом плане эти шлаки близки шлакам первой минералогической группы, но ряд образцов демонстрирует значительно более высокие температуры. Ниже, при обсуждении химического анализа, будет показано, что для расплавления шлака этой группы требовались иногда температуры в пределе 1300—1400 °С, что вполне естественно, учитывая их более кислый состав.

III минералогическая группа

Шлаки этой группы (№ 486, 491, 499, 528) выявлены только на трех стоянках Аякагитминской котловины. Группа характеризуется признаками двух предыдущих минералогических групп. Это сказалось и на микроструктуре этого шлака. Оливиновая кристаллизация в шлаке прошла хуже, чем в шлаке первой группы. Содержание оливина колеблется от 9,2 до 41%, при этом кристаллы представлены менее развитыми формами (чаще встречаются иголки и скелетные призмы) (рис. 12-1.4—6), но есть и таблитчатые формы. Встречено достаточно много магнетита (9,2—37%), представленного октаэдрами, выпадающими из расплава дендритами и мелкими частицами (рис. 12-1.4—6). Некоторые из частиц оплавлены или расплавлены. Поэтому не исключено, что на какой-то стадии плавки в силу восстановительной атмосферы они были вюститом, а потом окислились до магнетита. Встречены и дендриты вюстита (рис. 12-1.3). Иногда октаэдры магнетита образуют крупные скопления, в которых встречены медь и куприт. Соответственно, оруденение приурочено к ожелезненной породе. В некоторых случаях октаэдры магнетита образуют кайму вокруг медных корольков, что отражает их кристаллизацию из расплава.

Медь представлена небольшими корольками (1—3,5%) (рис. 12-I.6), куприт (1,5—2,3%) — корольками и расплавом. Он может также замещать по краям зерна малахита, который явно был основной рудой. Руда связана с редкими небольшими зернами кварца.

Исходя из сказанного, шлак этой группы, в целом, близок шлаку первой группы, но в нем больше силикатного компонента, в результате несколько выше вязкость, хуже прошла кристаллизация оливина и несколько выше потери металла.

IV минералогическая группа

Шлаки этой группы характеризуются окислительной атмосферой плавки и повышенной степенью купритизации.

Из-за окислительной атмосферы вюстит в расплаве почти не формируется. Поэтому нет и фаялита. Он представлен небольшими призматическими, удлиненными скелетными и игольчатыми кристаллами (рис. 12-II.2), на многих участках особенно обогащенных купритом кристаллизация не прошла. В некоторых образцах зафиксированы лишь зародыши фаялитовой кристаллизации. Содержание фаялита колеблется в диапазоне 1—5%, лишь в одном образце достигая 11,2%.

Магнетит представлен в виде мелкой тонкой сыпи, небольших октаэдров, зерен, замещаемых гематитом, иногда мелкими дендритами (рис. 12-II.1). Порой октаэдры образуют скопления, что указывает на то, что сформировались они путем распада зерен железного оксида. Некоторые октаэдры слегка оплавлены, выявлены даже небольшие скопления корольков магнетита, но в целом магнетит не расплавлен. Появление корольков, вероятно, вызвано тем, что в данной конкретной плавке (№ 583) на каком-то этапе была достигнута более высокая температура при сохранении восстановительной атмосферы (в этом образце отмечена корольки ковеллина и халькозина), в результате чего сформировался вюстит, который был частично расплавлен, а потом вновь окислился до магнетита. Обычно содержание магнетита и железистых компонентов совершенно незначительно (в пределах 1—2%). Лишь в одном образце (№ 514) общее содержание магнетита и гематита достигает 12—15%. Соответственно, в этих шлаках доля железистого компонента была весьма незначительной, что тоже было одной из причин, препятствующих формированию фаялитового расплава.

Медь представлена небольшими корольками (рис. 12-II.1—3). Ее содержание в разных образцах колеблется от 1,5 до 5%, со средним значением 2,8%. Гораздо заметнее в шлаке представлен куприт, формирующий корольки, расплав, скопление октаэдров, встречены и мелкие дендриты (рис. 12-II.1—4). Иногда мелкие корольки располагаются очень плотно и окрашивают стекло. Встречено замещение купритом по краям зерен малахита, а также купритовые каемки вокруг пор или расплава. Содержание куприта колеблется от 4 до 15% со средним содержанием 9,3%. Все это однозначно указывает на преимущественно окислительную атмосферу плавки. Севернее, в Казахстане, для подобного шлака достаточно характерна кристаллизация делафоссита, но здесь его нет. В некоторых образцах отмечены единичные мелкие частицы железа. Поэтому на каких-то этапах плавки (вероятно, в конце) удавалось достигать восстановительной атмосферы.

Оруденение явно связано с кварцевыми породами. Кварц очень хорошо представлен в шлаке этой группы, и в нем встречаются корольки меди, куприт и малахит (рис. 12-II.3, 4). Малахита достаточно много, это основной вид руды. Более редким окисленным минералом является азурит. Вторичные сульфиды присутствуют, но они не так типичны. Это корольки халькозина и его каемки вокруг меди или оплавленные зернышки ковеллина. Еще реже, в единичных случаях отмечены зернышки халькопирита и борнита.

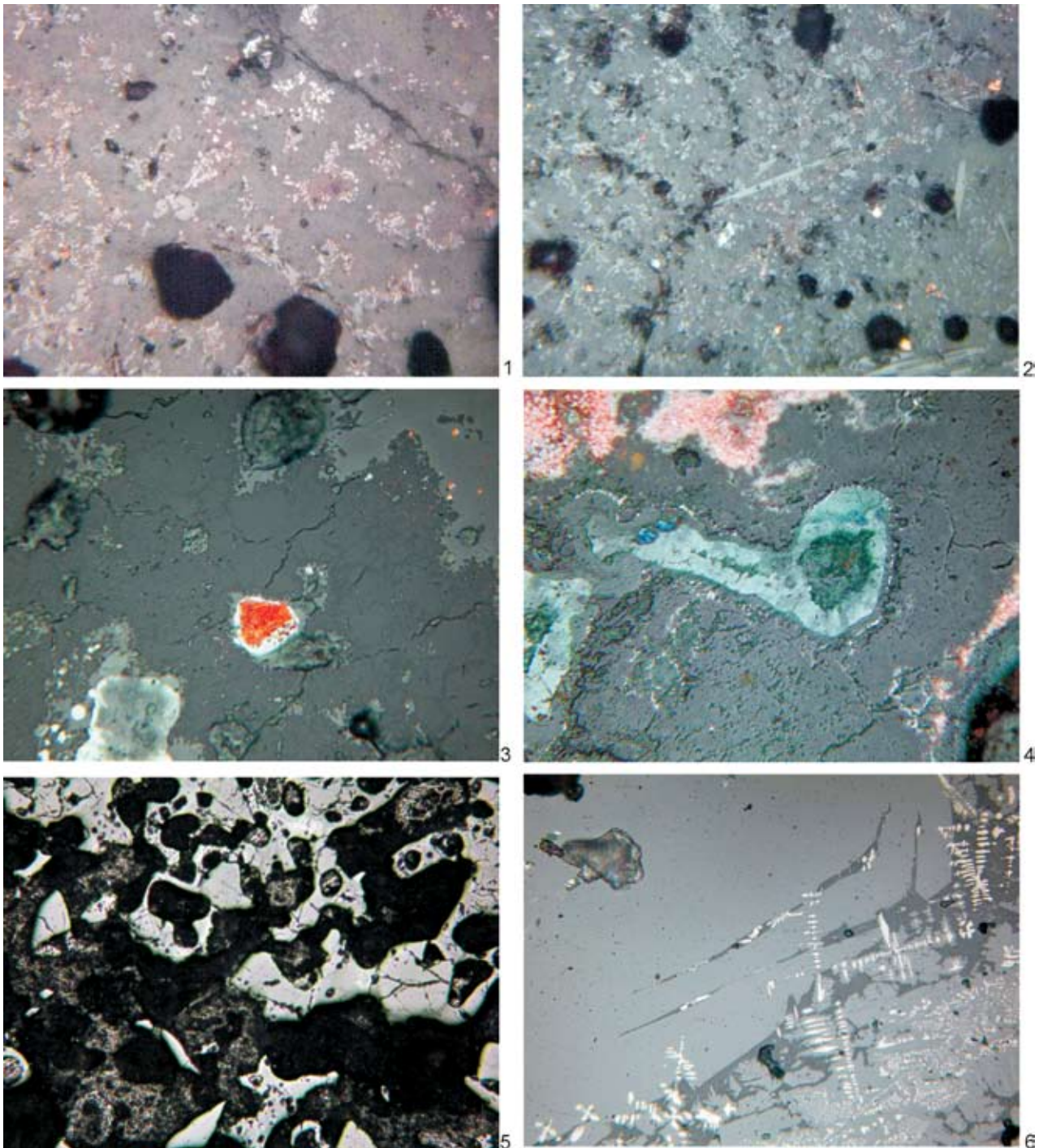


Рис. 12-II. Микроструктуры шлака Средней Азии (длина снимков: 1,2 — 0,46 мм, 3—5 — 0,54 мм, 6 — 0,62 мм): 1 — обр. 2032, IV минералогическая группа, 3 тип, Келлели 4: мелкие октаэдры магнетита (серые), корольки меди и дендриты куприта (красные поля с белыми включениями). 2 — обр. 2032, IV минералогическая группа, 3 тип, Келлели 4: оливин виде длинных иголок, мелкие дендриты куприта (красные поля), мелкое зерно и королек куприта (белые с голубым оттенком), корольки меди. 3 — обр. 584, IV минералогическая группа, 3 тип, Беш-Булак 1, уч. 8: зерно меди в оторочке куприта, заключенное в расплавляющемся зерне кварца (темно-серое), в правом верхнем углу мелкие корольки меди в стекле. 4 — обр. 584, IV минералогическая группа, 3 тип, Беш-Булак 1, уч. 8: малахит и куприт в кварцевой породе. 5 — обр. 511, VII минералогическая группа, 3 тип, Лявлякан, 26: пористая нижняя часть керамзитовой корки. 6 — обр. 518, VII минералогическая группа, 3 тип, Лявлякан, 26: Крупные таблитчатые и более мелкие призматические кристаллы оливина (темно-серые) образованы после кристаллизации дендритов вюстита (белые), мелкие поры (черные)

Таким образом, технологически данная группа отличается от вышеописанных групп тем, что в ней заметно меньше сульфидных минералов и железистого компонента, хотя в ограниченных количествах они и присутствуют. Судя по расплавленному куприту, температурные пределы были близки вышеописанным группам. Соответственно, в этом случае данная группа может не указывать на наличие некой иной технологической традиции, отличной от традиции, отраженной в минералогической группе II, а неудачной компоновкой шихты.

VI минералогическая группа

Минералогическая группа связана с плавкой халькопирита. Этот минерал в разных количествах представлен во всех шлаках этой группы. Он, безусловно, встречается и в других группах, но здесь он был основным рудным компонентом, а окисленные руды либо не встречены, либо их содержание совершенно незначительно. Халькопирит представлен небольшими или достаточно крупными зернами. В некоторых крупных зернах в этом минерале отмечена пористая структура, вероятно, результат выплавления медных составляющих. В этих случаях зерна халькопирита могут быть замещены по краю вюститом.

Последний минерал представлен в шлаке достаточно хорошо (рис. 12-II.6; 12-III.1). Он может иногда присутствовать в виде зерен с решетчато-пористой структурой (результат выплавления из халькопирита медного сульфида), часто образует крупные оплавленные дендритные структуры, формирующиеся в результате распада решетчатых структур вюстита или его кристаллизации. Вюстит и магнетит встречаются также в виде скелетов, мелких частиц, иногда оплавленных, мелких дендритов, иногда корольков. Расплавленные структуры свойственны вюститу. Общее содержание вюстита и магнетита очень разнится от 2,2 до 35%.

Ведущим компонентом в этом шлаке является фаялит. В некоторых образцах в отраженном свете он почти сливается со стеклом, что затрудняет подсчет его содержания. Содержание его колеблется в промежутке 50—68%. Фаялит представлен игольчатыми, удлиненно-призматическими, удлиненно-скелетными и таблитчатыми формами (рис. 12-II.6; 12-III.1). Все это указывает на достаточно низкую скорость остывания расплава и оптимальный состав шихты.

В результате потери металла в шлаке очень незначительны. Медь и куприт представлены мелкими корольками (рис. 12-III.4). Содержание меди колеблется в диапазоне 0,1—2%, куприта в диапазоне 0—1,6%.

В шлаке присутствуют зерна кварца (рис. 12-III.4), с которым связано оруденение (небольшие кварцевые зерна отмечены в халькопирите, а в зернах кварца — медь). Как уже говорилось выше, основной рудой был халькопирит, хотя в единичных случаях выявлены малахит и блеклые руды. Очень показательны и присутствие в этих шлаках отдельных мелких корольков или частиц восстановленного железа.

Три образца отнесены к этой группе условно. В первую очередь, это образец 592, где в стекле отмечены расплав куприта и зерна халькопирита, вероятно, результат незавершенного плавильного процесса. Образцы 574 и 582 представлены шлаковыми корками на обмазке. Поэтому они не содержат таких показательных структур вюстита как в прочих образцах этой группы. Фаялит в них тоже представлен гораздо скромнее. Кроме того, они имеют зональную структуру: 1. Пористое керамзитовое стекло, в котором кристаллизация не прошла, 2. Оливиновое стекло со слабой степенью кристаллизации, 3. Шлаковые массы. Тем не менее, в них присутствует халькопирит и заметно, что небольшие оплавленные фрагменты вюстита образовались из кусков какого-то иного минерала. Поэтому более вероятно отнесение данного шлака, все же, к этой группе.

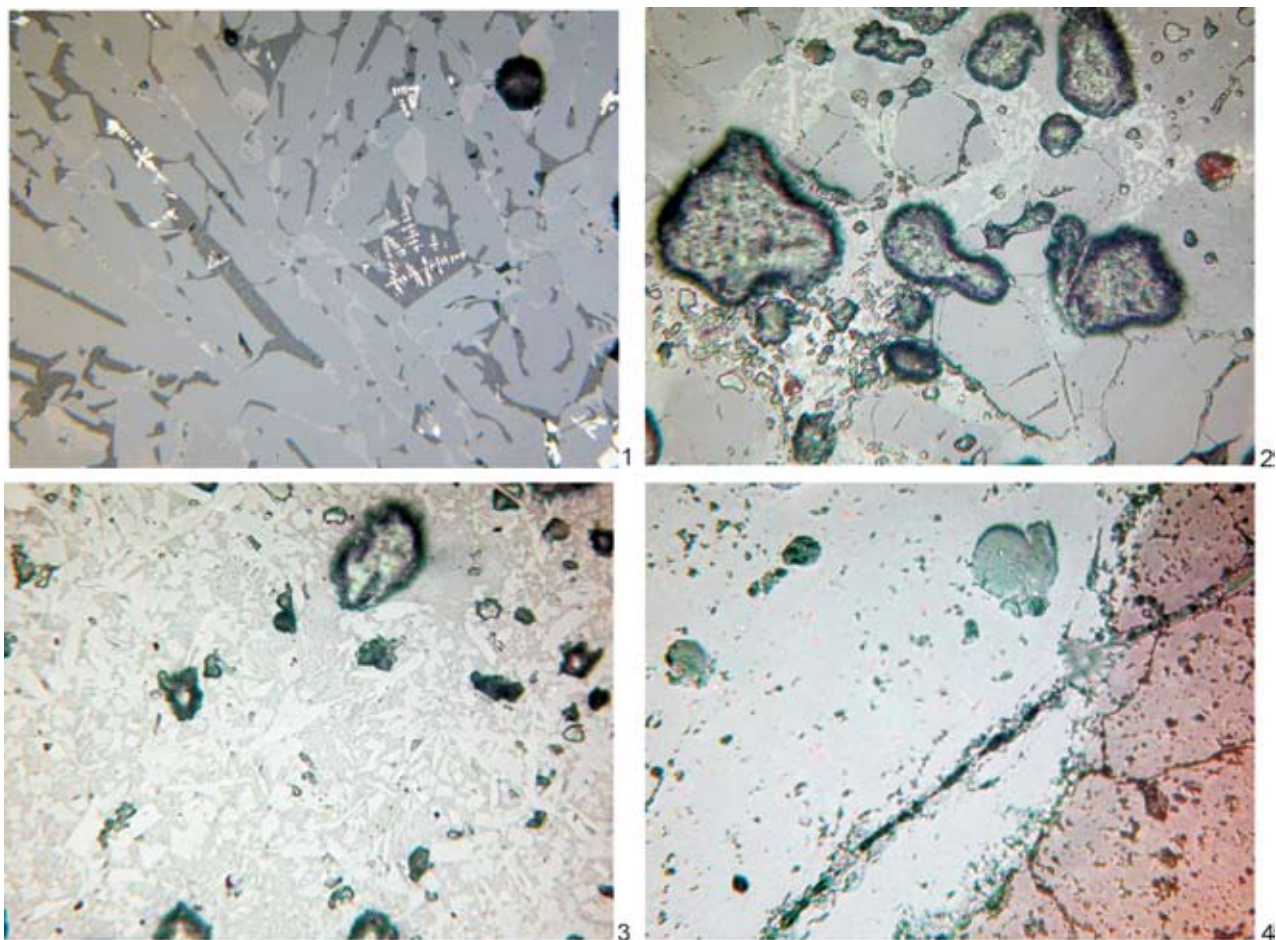


Рис. 12-III. Микроструктуры шлака

Средней Азии (длина снимков 0,54 мм), VII минералогическая группа, 3 тип: 1 — обр. 518, Лявлякан, 26а: крупные длинные призматические кристаллы оливина и небольшие дендриты вюстита в шлаковом стекле. 2 — обр. 574, VII минералогическая группа, 3 тип, Беш-Булак 4, скопл. 2: нижняя часть шлаковой керамзитовой корки (кварц и керамзит, стекло, мелкие призмы оливина). 3 — обр. 574, Беш-Булак 4, скопл. 2: средняя часть шлаковой керамзитовой корки (стекло с мелкими призмами оливина). 4 — обр. 574, Беш-Булак 4, скопл. 2: верхняя часть шлаковой керамзитовой корки (чистое стекло слева с включениями корольков меди и зерно кварца)

На керамзитовой части этих шлаков следует остановиться отдельно, так как некоторые иные шлаки этой группы, как и некоторые шлаки иных групп, припечены к обмазке или песчанику. В отраженном свете удастся получить довольно ограниченную информацию по этой керамзитовой части шлака. Как правило, в этих шлаках выделяется несколько зон. Самая нижняя зона представлена пористыми керамзитовыми массами и стеклом с включениями зернышек кварца, изредка с мелкой фаялитовой кристаллизацией (рис. 12-II.5; рис. 12-III.2). В средней части этих керамзитовых корок фиксируется стекло с мелкими призмами оливина (рис. 12-III.3), а выше стекло с медными корольками (рис. 12-III.4) или шлаковая масса. Микроструктура последней зависит уже от минералогической группы шлака. Очевидно, что кристаллизация нижней части этого шлака проходила быстрее. Это могло быть обусловлено как выпуском этого шлака на холодную поверхность, так и нехваткой железистого компонента на контакте с керамической массой обмазки печи.

В целом, в случае с минералогической группой VII в качестве руды использовался халькопирит, происходящий из кварцевых пород. Прочие руды могли попадать в шихту в качестве естественной примеси. Данных о преднамеренном дополнительном флюсовании нет. Получаемая в ходе плавки температура превышала температуру плавления

вюстита, температуры достигали 1400 °С. При этом, благодаря плавке сульфидов, формировалась восстановительная атмосфера, а из-за значительного количества железистого компонента удавалось формировать жидкотекучий фаялитовый шлак и добиваться незначительных потерь металла при плавке. Это вполне стандартная технологическая схема, отмеченная и на памятниках Северной Евразии для эпохи ПБВ.

Керамзитовый шлак

В исследованной выборке выявлено два образца керамзитового шлака (№ 519, 532) со стоянок Лявлякан 26а и Аякагитма 17. В пористом силикатном стекле этих образцов иногда присутствуют тонкие кристаллы оливина, изредка мелкие зерна кварца, небольшое зерно хромита, зерна магнетита и корольки меди. В одном из образцов найден незначительный фрагмент малахита, однако нет никакой уверенности в том, что он указывает на плавку руды, а не является продуктом вторичной минерализации. Поэтому данные образцы могут быть связаны как с металлургией, так и с металлообработкой. Кроме того, они могут быть лишь керамзитовыми фрагментами шлака 3-го типа. Поэтому акцентировать внимание на этих образцах не имеет смысла.

При анализе характера распределения минералогических групп по памятникам следует учитывать, что эти образцы в большинстве своем происходят с развеечных стоянок. Площадка любой стоянки теоретически могла посещаться неоднократно. Поэтому более корректно сопоставлять материалы одних скоплений в рамках стоянки. Если посмотреть таб. 12-2, то бросается в глаза, что все минералогические группы, сочетаются с другими на одних стоянках и в одних скоплениях. В тех случаях, когда какая-то группа является на объекте единственной, с этого объекта происходит один образец. Исключением является минералогическая группа II, которая достаточно часто представлена несколькими образцами на одном объекте и может не сопровождаться шлаком других групп. Но это объясняется более высокой долей этой минералогической группы, а также тем, что в этом районе Кызылкумов оруденение связано, преимущественно, с кварцем. Исходя из этой картины, на первый взгляд, можно сделать вывод о том, что эта минералогическая группа была основной, а в тех случаях, когда на месторождениях в кварцевых породах бралась более ожелезненная руда, руда с меньшим содержанием сульфидов или чистый халькопирит, появлялись шлаки иных минералогических групп, и это имеет произвольный характер. Однако следует иметь в виду, что, по меньшей мере, плавка халькопирита — это несколько иной технологический процесс.

Достаточно проблематична и связь отдельных минералогических групп с определенными периодами. Материалы Кызылкумов можно отнести к так называемой ранней бронзе этого региона и к степной поздней бронзе. Однако надежно отождествить отдельные памятники с конкретным периодом можно лишь в редких случаях. Так, к ранней бронзе относятся Лявлякан 7, 94, где обнаружен шлак II и VII минералогических групп, а к поздней — Лявлякан 120, 121, где шлак относится к I, II, IV и VII группам, то есть, ко всем, за исключением группы III. Однако во всей выборке к группе III отнесено всего лишь 5 образцов, которые на иных памятниках сочетаются с образцами I, II и VII групп. То есть, это группа не технологическая. Она связана с попаданием в шихту (руда из кварцевых пород) железосодержащих компонентов. Выборка же с памятников, где присутствует лишь материал ранней бронзы, весьма незначительна — 4 образца. Поэтому, с учетом разнесения их по двум группам нельзя исключать, что отсутствие иных минералогических групп обусловлено именно этой малой выборкой.

Единственные полезные выводы, которые мы можем на этой основе сделать, будут следующие:

Распределение минералогических групп шлака по памятникам Кызылкумов

Памятник \ Минералогическая группа	I	II	III	IV	VI	керамзит
Аягагитма 10		5				
Аягагитма 17				1		1
Аягагитма 187	3		1			
Аягагитма 209	1	2	2			
Аягагитма 224	1	1	1			
Аягагитма 234	1		1		2	
Аягагитма 239		4				
Аягагитма 10А	2	3				
Аягагитма 95Б		2				
Беш-Булак, 1, уч. 1	1					
Беш-Булак, 1, уч. 7		3			1	
Беш-Булак, 1, уч. 8	1	1		3	1	
Беш-Булак, 3	1	5				
Беш-Булак, 4		2				
Беш-Булак, 10, уч. 5		2				
Беш-Булак, 2, скоп. 1		5				
Беш-Булак, 2, скоп. 5	1	2				
Беш-Булак, 2, уч. 1	1	3		1		
Беш-Булак, 4, скоп. 1		4		1		
Беш-Булак, 4, скоп. 2		3			1	
Беш-Булак, 4, скоп. 3		2				
Лявлякан, 7		1				
Лявлякан, 26					1	
Лявлякан, 26а					1	1
Лявлякан, 26-V		1				
Лявлякан, 40	1					
Лявлякан, 94		1			2	
Лявлякан, 322		1				
Лявлякан, 120-II	2					
Лявлякан, 120-IX		2		1		
Лявлякан, 121-I		2			1	
Лявлякан, 131-I,II		1				
Лявлякан, 338-I		2				
Итого (кол-во и %):	16	60	5	7	10	2

1) В позднюю бронзу в Кызылкумах присутствуют те же виды плавков, которые известны нам по материалам степной и лесостепной полосы Северной Евразии. При этом доминирует плавка окисленной руды с примесью вторичных сульфидов, происходящей из кварцевых пород (60%). Доля шлака III и IV минералогических групп совершенно незначительна, и может рассматриваться как случайная компоновка шихты из-за особенности конкретной зоны месторождения. Доля шлака из ожелезненных пород (16%) достаточно высока и указывает, вероятно, на преднамеренный выбор руды из более легкоплавкой породы. Наконец, наличие 10% шлака, полученного при плавке халькопирита, а также технологические особенности плавки этого типа, позволяют думать, что это еще одна технологическая традиция.

2) Уже в период ранней бронзы в Кызылкумах присутствует плавка халькопирита.

В отличие от минералогических групп, типы, выделенные по форме шлака, достаточно надежно соотносятся с отдельными памятниками или скоплениями. Во всей выборке выявлено лишь два образца, которые сочетаются со шлаком иного типа (таб. 12-3). Соответственно, это не может уже рассматриваться в качестве случайности и имеет под собой какие-то реальные основания. Наблюдается также положительная корреляция между этими типами и эпохой, хотя количество датированных образцов невелико: с уже названными выше памятниками эпохи ранней бронзы связаны исключительно шлаки 3

Распределение форм шлака по памятникам Кызылкумов

Памятник \ Форма*	1	2	3	4
Аякагитма 10	5			
Аякагитма 17			1	
Аякагитма 187				4
Аякагитма 209				5
Аякагитма 224	3			
Аякагитма 234		4		
Аякагитма 239		4		
Аякагитма 10А	6			
Аякагитма 95Б	2			
Беш-Булак, 1, уч. 1	1			
Беш-Булак, 1, уч. 7		4		
Беш-Булак, 1, уч. 8			5	
Беш-Булак, 3	5	1		
Беш-Булак, 4			2	
Беш-Булак, 10, уч. 5	3			
Беш-Булак, 2, скоп. 1	4			
Беш-Булак, 2, скоп. 5		2		
Беш-Булак, 2, уч. 1	4	1		
Беш-Булак, 4, скоп. 1	4		1	
Беш-Булак, 4, скоп. 2	3		1	
Беш-Булак, 4, скоп. 3	2			
Лявлякан, 7			1	
Лявлякан, 26			1	
Лявлякан, 26а			2	
Лявлякан, 26-V			1	
Лявлякан, 40		1		
Лявлякан, 94			3	
Лявлякан, 322			1	
Лявлякан, 120-II	2			
Лявлякан, 120-IX	3			
Лявлякан, 121-I	3			
Лявлякан, 131-I,II		1		
Лявлякан, 338-I	2			
Итого (кол-во и %):	52	18	19	9

* 1 – бесформенный шлак, 2 – уплощенный шлак, 3 – шлаковая корка, припеченная к песчанику, 4 – тонкая изогнутая шлаковая пластина.

типа (шлаковые корки, припеченные к песчанику или обмазке), а с памятниками эпохи поздней бронзы — бесформенные шлаки 1 типа.

Была проведена корреляция форм и минералогических групп шлака (таб. 12-4). Среди шлаков I минералогической группы шлаковые корки, припеченные к песчанику или обмазке, практически, не встречены. Тонкие изогнутые шлаковые пластины, отражающие низкую вязкость расплава, немногочисленны, но это вообще редкий тип шлака. Вместе с уплощенным шлаком, отражающим тоже низкую вязкость, суммарная доля составляет 46,25%, что превышает долю более вязкого бесформенного шлака. В принципе, для шлака, полученного при плавке руды из пород основного состава, это вполне ожидаемый результат, но он заметно ниже, чем в синташтинской металлургии, где большинство шлака этой минералогической группы образует правильные шлаковые лепешки. Поскольку этот шлак мог быть сформирован при более низкой температуре, ошлаковка обмазки не происходила, чем и объясняется отсутствие таких шлаковых форм в этой минералогической группе.

Среди шлаков II и IV минералогических групп безусловно доминируют более вязкие бесформенные образцы, что тоже естественно для группы, выплавленной из руды в кварцевой породе. Шлаки, припеченные к обмазке или песчанику, в группе II тоже присутствуют в заметном количестве, так как этот шлак более высокотемпературный.

Корреляция форм и минералогических групп шлака на памятниках Кызылкумов

Форма* \ Минералогическая группа	1	2	3	4
I	6 (37,5%)	5 (21,25%)	1 (6,25%)	4 (25%)
II	42 (71,19%)	6 (10,17%)	9 (15,25%)	2 (3,39%)
III	1 (20%)	1 (20%)		3 (60%)
IV	4 (66,6%)		2 (33,3%)	
VI	2 (16,67%)	2 (16,67%)	8 (66,66%)	

* 1 — бесформенный шлак, 2 — уплощенный шлак, 3 — шлаковая корка, припеченная к песчанику, 4 — тонкая изогнутая шлаковая пластина. В скобках показана доля типа в минералогической группе.

III минералогическая группа невелика, поэтому обсуждать на ее примере какие-то статистические закономерности не представляется возможным. Но VII группа достаточно примечательна. В ней присутствуют бесформенные и уплощенные шлаки, однако 2/3 образцов представлены шлаками, припеченными к песчанику или обмазке. Исходя из того, что этот тип шлака характерен для раннебронзовой металлургии, а минералогическая группа VII на памятниках этого времени зафиксирована, можно предполагать, что для этого времени характерна какая-то особая технология плавки, которая была ориентирована на плавку смеси малахита и вторичных сульфидов из кварцевых пород, но в большей степени, на плавку халькопирита.

В этом плане шлаки, припеченные к песчанику, вызывают особый интерес. Как уже отмечалось, минералогически это шлаки, полученные при плавке халькопирита или окисленных руд из кварцевых пород.

Не исключено, что способствовать поиску решения данного вопроса может анализ содержания оливина в шлаках разных типов. Во всех шлаках оливин представлен зародышами кристаллизации, игольчатыми, дендритными, мелкими призматическими, удлинено-призматическими и таблитчатыми кристаллами. Их соотношение может быть очень различно и часто зависит от наличия необходимых для формирования компонентов и атмосферы плавки, но лишь последние два типа структур маркируют низкую скорость затвердевания расплава. В шлаках, припеченных к песчанику, подобные кристаллы присутствуют в 8,5% случаев. Значительно больше их в бесформенных шлаках (37%) и в бесформенных уплощенных шлаках (50%). Максимальное же их количество содержится в незначительной группе тонких шлаковых пластин (тип 4), выявленных на двух аякагитминских стоянках (62,5%).

Следовательно, скорость затвердевания шлаков, припеченных к песчанику, была максимальной. У других типов шлака она существенно меньше. Поэтому ранее предполагалось, что остывали эти шлаки быстрее потому, что выплескивались из тигля (Григорьев, 1996). Однако степень кристаллизации зависит не только от скорости охлаждения расплава, но и от химического состава. Поэтому следует обратиться к нескольким химическим анализам.

Химический анализ

При обращении к таблице химического анализа (таб. 12-5) сразу бросается в глаза несколько более высокое содержание Al_2O_3 в образцах № 567 и 580, относящихся по форме к 3 типу, то есть, к шлакам, припеченным к обмазке. Соответственно, в анализируемых пробах чуть выше доля обмазки, чем в иных. Трудно сказать, чем объясняется высокое содержание CaO в образцах 483 и 588 — использованием специальных флюсов или особенностью руды. Ответить на этот вопрос невозможно, так как серий анализов

Таб. 12-5

Химический анализ (%) шлака стоянок Кызылкумов
Анализ выполнен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

№	Памятник	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	Cu	SO ₃
483	Аякагитма 234	28,62	4,46	26,82	33,30	2,04	1,36	0,10	0,19	0,17
580	Беш-Булак 1	50,10	6,29	13,81	13,32	1,43	1,09	0,11	4,12	0,10
567	Беш-Булак 4	60,84	8,12	8,12	10,14	1,43	2,17	0,06	1,51	0,07
588	Беш-Булак 1	34,20	4,41	32,51	20,56	0,20	1,56	0,35	0,29	0,08
590	Беш-Булак 1	32,98	5,78	38,20	11,87	2,25	1,00	0,15	2,44	0,11

руды в нашем распоряжении нет. Анализ также показал незначительные потери меди в шлаке (обычно от 0,19 до 2,44%, включая куприт и иные рудные остатки). Выше они лишь в образце 580. Несмотря на использование в плавках примеси сульфидных руд, а в одном из проанализированных случаев халькопирита, содержание серы в шлаке очень невелико. Она выгорала в ходе плавки.

Более важны для нас, с учетом рассматриваемой проблемы, расчеты коэффициентов основности (таб. 12-6). Как и следовало ожидать, уплощенный шлак (обр. 483), полученный при плавке халькопирита, относится к основной группе. Поэтому в нем хорошо прошла кристаллизация оливина. Образцы 588 и 590, представленные бесформенным шлаком, относятся к средней группе. Соответственно, и кристаллизация оливина в них проходит хуже. А образцы 567 и 580, отнесенные к кислой и ультракислой группам, являются шлаками, припеченными к обмазке. Минералогически они относятся ко II группе. Поэтому слабая кристаллизация, в данном случае, может быть обусловлена не столько особыми условиями, способствовавшими более быстрому остыванию, сколько химическим составом.

Таб. 12-6

Коэффициенты основности шлака Кызылкумов

№	Памятник	Коэффициент основности	Группа
483	Аякагитма 234	1,93	основная
590	Беш-Булак 1	1,38	средняя
588	Беш-Булак 1	1,43	средняя
580	Беш-Булак 1	0,53	кислая
567	Беш-Булак 4	0,32	ультракислая

Это достаточно очевидно и при расчете вязкости шлака (таб. 12-7). Минимальную вязкость демонстрирует шлак 2 типа, VII минералогической группы (обр. 483). Максимальна же вязкость у припеченных к обмазке шлаков II минералогической группы. В силу их высокой вязкости представляется сомнительным, чтобы эти шлаки были выпущенными. Вероятнее, они формировались на поде и стенках печи. То, что это чаще происходит со шлаком, полученным при плавке халькопирита, объясняется в данном случае, вероятно, более высокими температурами, большей длительностью плавильного процесса, соответственно, более активным протеканием шлака на под и припеканием его к постепенно разрушающейся обмазке. Но и в шлаке II минералогической группы часто присутствуют включения сульфидных минералов, обеспечивавшие более высокую температуру при возможности сохранения восстановительной атмосферы.

Химические анализы позволяют оценить температуры, которые были необходимы для расплавления шлака этого состава (рис. 12-8). Наиболее высокие (около 1400 °С) установлены для образцов 567 и 580. Это шлаки II минералогической группы, припечен-

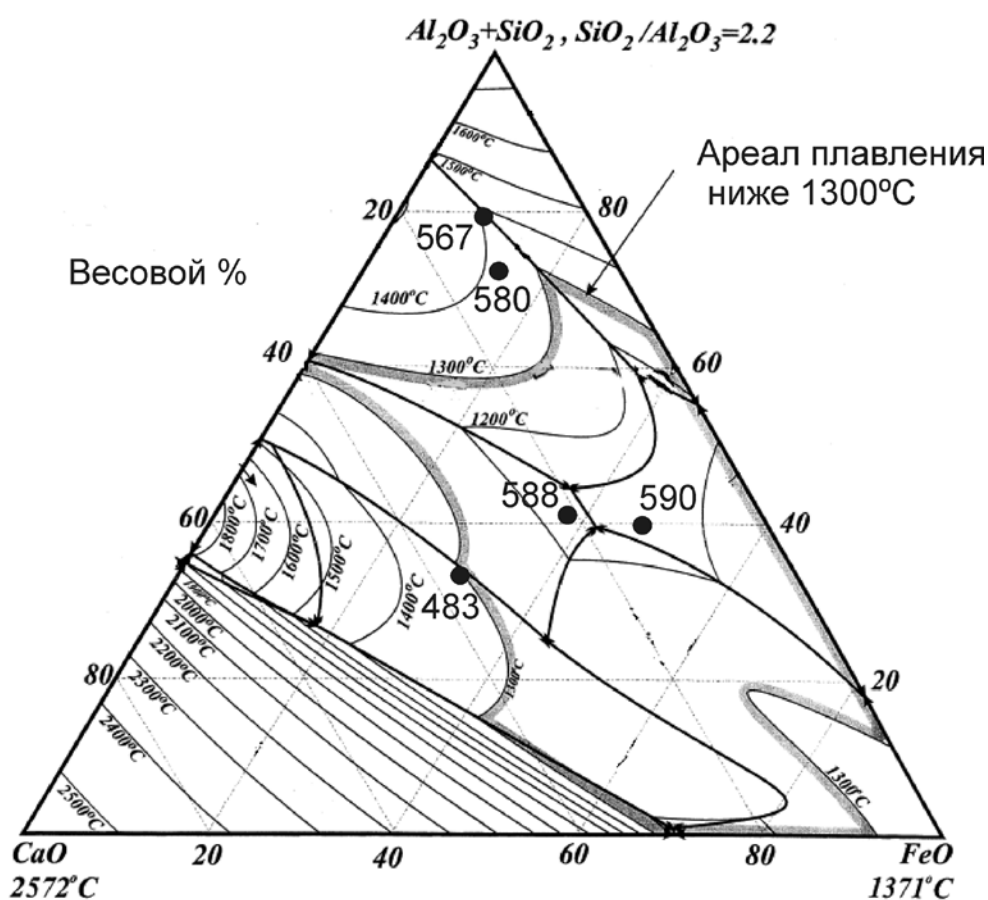
Таб. 12-7.

Шлаки Кызылкумов. Соотношение окислов снижающих вязкость (TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , MnO , K_2O , CaO , Na_2O) к окислам, повышающим ее (SiO_2 , Al_2O_3) — коэффициент K_z и коэффициент вязкости (в $\text{Pa}\cdot\text{s}$) при температуре 1400°C , рассчитанный по Vachmann и. а., 1987

№	Памятник	Группа	Тип	Материал	K_z	η 1400 (Pa·s)
483	Аякагитма 234	VII	2	шлак	1,93	2,08
590	Беш-Булак 1	II	1	шлак	1,45	2,94
588	Беш-Булак 1	I	1	шлак	1,44	2,96
580	Беш-Булак 1	II	3	шлак	0,60	7,68
567	Беш-Булак 4	II	3	шлак	0,34	13,93

ные к обмазке. Но, поскольку, как уже говорилось, в них присутствует и нерасплавленная обмазка, достигаемые температуры были, вероятно, несколько ниже. Бесформенный шлак VII минералогической группы, полученной при плавке халькопирита (обр. 483), может плавиться при температуре около 1300°C . Температура плавления двух других образцов лежит ниже 1200°C . Это образцы тяжелого бесформенного шлака, полученного при плавке рудной смеси с оксидами и сульфидами, включая халькопирит из кварцевой породы (590), и образец 588, в котором лучше представлены оксиды железа.

Но следует иметь в виду, что это единичные анализы. Кроме того, в анализируемую массу попадала и нижняя часть этих шлаков, содержащая керамзитовый состав. Это неминуемо сказывалось на результате общего анализа. Поэтому на основании этих ограниченных химических анализов судить о характере формирования этих шлаков затруднительно.

Рис. 12-8. Фазовая диаграмма системы $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2-\text{CaO}$ для шлака Кызылкумов

Шлаки из иных мест Средней Азии

Было исследовано также два образца шлака из Маргианы. Первый (обр. 2032) происходит с поселения Келлели. Это небольшой фрагмент шлака. Нижняя часть его более пористая, припечена к глине. Верхняя часть является типичной шлаковой массой, она содержит включения медной зелени и куприта. Нижняя поверхность шлака выгнутая, а верхняя наоборот вогнута. Шлак, таким образом, имеет чашевидную форму и, вероятно, формировался на поде печи или в углублении за ее пределами.

Оруденение явно было связано с кварцем. В шлаке встречаются мелкие призмы и длинные иглы оливина (рис. 12-II.1, 2), но количество этих кристаллов невелико. Кристаллизация оливина явно проходила достаточно быстро. Встречаются зерна магнетита, мелкие корольки меди, хорошо представлены дендриты, зерна и мелкие корольки куприта. Изредка встречаются иголки делафоссита, некоторые из них изогнуты. Все это однозначно указывает на окислительную атмосферу плавки. Однако из рудных минералов встречен не только малахит, хорошо представлен ковеллин. Но это не привело к формированию восстановительной атмосферы. Шлак, таким образом, относится к 3 типу и к IV минералогической группе.

Аналогичный шлак, как по форме, так и по микроструктуре, происходит из позднего слоя Дашлы-3. Рядом с ним обнаружена двухчастная печь, форма для отливки топоратесла, всплески металла, но самое главное — тигель со спекшимся малахитом, имевший массивную ручку-стержень (Сарианиди, 1977, с. 71; Сарианиди и др., 1977, с. 35, 36). Шлак имеет такую же зональную структуру. Одна поверхность его более насыщена купритом, а оливиновая кристаллизация прошла очень слабо.

Наличие тигля рядом с подобным шлаком позволяет предположительно реконструировать плавильный процесс следующим образом. Плавка производилась в тигле. По завершении ее скапливавшийся на поверхности шлак выплескивался, образуя (в зависимости от жидкотекучести) растекшиеся корки или бесформенные шлаки, припеченные к песчанику или керамзиту.

Аналогичный по форме шлак был обнаружен на поселении Хопуз-депе (Терехова, 1980, с. 141—144). Подобная технология обеспечивала довольно высокие температуры, при этом, шлак остывал достаточно быстро. Частичная купритизация могла происходить в момент выплеска шлака.

Но необходимо иметь в виду, что сам по себе факт наличия песчаниковой или керамзитовой корки не позволяет все такие шлаки рассматривать как результат тигельной плавки с выплеском шлака. У некоторых подобных шлаков кристаллизация оливина прошла очень хорошо, поэтому они не могли быть выпущенным или выплеснутым шлаком, и явно формировались в печи за счет того, что шлак припекся к обмазке стенки или пода. Поэтому, допуская наличие подобной технологии, мы не в состоянии сейчас определить какова была ее реальная доля, и с какими конкретными образцами она связана.

Спектральный анализ

Спектральному анализу было подвергнуто 92 образца шлака и 6 — руды (таб. 12-9). При построении частотных диаграмм концентраций примесей выявилась неравномерность исследуемого массива (рис. 12-10.1). В первую очередь обращают на себя внимание смещенность вершин диаграмм кобальта, хрома, ванадия, свинца, серебра, мышьяка и двухвершинность диаграмм цинка и сурьмы. Сопоставление диаграмм отдельных групп (аякагитминской, лявляканской и бешбулакской) позволило выявить существенные различия между ними (рис. 12-10.2—4). Бешбулакские образцы отличались пониженными концентрациями большинства элементов, за исключением хрома, ванадия и молибдена, концентрации которых были выше. Образцы с лявляканских стоянок отличались сравнительно более высокими концентрациями цинка и кобальта, а образцы из Аякагитминской

Спектральный анализ шлака и руды (%) памятников Кызылкумов
Анализ выполнен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосвязь»

Район	Стоянка	Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Аякитма	234	шлак	483	0.003	0.0015	<0.001	0.05	0.0015	0.1	<0.0005	0.00015	0.015	nd	0.0007	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.07	0.1	<0.001	0.0003	0.00003	0.003	0.0005	<0.001	0.00015	
Аякитма	234	шлак	484	0.007	0.002	<0.001	0.05	<0.001	0.07	<0.0005	0.00015	0.03	0.01	0.0005	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.05	<0.001	0.0003	<0.00003	0.003	0.0005	<0.001	0.0001	
Аякитма	234	шлак	486	0.007	0.0015	<0.001	0.07	<0.001	0.1	<0.0005	0.00015	0.07	0.01	0.0007	0.0015	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.07	<0.001	0.0003	0.00003	0.0015	0.0005	0.001	0.0001	
Аякитма	10	шлак	502	0.007	0.001	0.01	0.05	0.02	0.2	0.0005	0.00015	0.5	0.015	0.0007	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.2	0.03	<0.001	0.0003	0.0003	0.007	<0.0005	0.005	0.0007	
Аякитма	10А	шлак	489	0.015	0.001	0.01	0.05	0.03	0.15	0.001	0.0003	>1	0.5	0.03	0.0003	0.005	0.05	<0.001	<0.001	0.0003	0.3	0.1	<0.001	0.0001	0.0003	0.01	0.0005	0.005	0.0007	
Аякитма	224	шлак	500	0.005	0.005	0.007	0.2	0.01	0.2	0.0005	<0.0003	0.3	0.01	0.0007	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.15	0.03	<0.001	0.0003	0.0003	0.01	0.001	0.007	0.0005	
Аякитма	239	шлак	497	0.005	0.0015	0.007	0.15	0.007	0.3	0.0005	<0.0003	0.5	0.007	0.0015	0.0003	0.005	<0.003	<0.0005	<0.001	<0.001	0.001	0.15	0.02	<0.001	0.0003	0.0003	0.007	0.0015	0.002	
Аякитма	239	шлак	495	0.005	0.002	0.007	0.1	0.007	0.3	0.0005	0.00015	1	0.015	0.0015	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.0015	0.15	0.02	<0.001	0.0003	0.0003	0.007	0.0015	0.002	
Аякитма	10А	шлак	487	0.01	0.001	0.01	0.07	0.02	0.15	0.001	0.00015	1	0.07	0.015	<0.0003	0.005	0.007	<0.001	<0.001	0.0005	0.3	0.05	<0.001	0.0003	0.0003	0.007	0.0005	0.005	0.0005	
Аякитма	224	шлак	498	0.015	0.003	0.03	0.2	0.01	0.2	0.001	<0.0003	1	0.2	0.005	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.2	0.03	<0.001	0.0015	0.0003	0.01	0.001	0.01	0.0007	
Аякитма	224	шлак	499	0.03	0.003	0.005	0.3	0.007	0.2	0.0005	0.00015	>1	0.3	0.001	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.007	0.2	0.02	<0.001	0.0005	0.0003	0.01	0.001	0.01	0.0005	
Бель-Булак	4	шлак	576	0.005	0.0015	0.02	0.03	0.015	0.5	0.001	<0.0003	0.2	nd	0.0007	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.15	0.05	<0.001	<0.0005	0.0002	0.015	0.0015	0.005	0.0003	
Бель-Булак	1, уч. 8	шлак	582	0.005	0.01	0.07	0.2	0.07	0.3	0.001	<0.0003	0.3	0.005	0.0007	0.0005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.3	0.1	<0.001	<0.0005	0.00015	0.01	<0.0005	0.01	0.001	
Бель-Булак	4, склоп.1	шлак	565	0.005	0.0015	0.015	0.05	0.02	0.3	0.0005	<0.0003	1	0.015	0.0015	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	0.2	0.1	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	0.0015	0.01	0.0005	
Бель-Булак	4, склоп.2	шлак	574	0.005	0.001	0.02	0.03	0.02	0.3	0.001	<0.0003	0.7	0.01	0.0015	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.3	0.07	<0.001	<0.0005	0.00015	0.015	0.001	0.007	0.0005	
Бель-Булак	4, склоп.1	шлак	563	0.005	0.0007	0.03	0.7	0.05	0.3	0.0005	<0.0003	0.7	0.01	0.003	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.2	0.05	<0.001	<0.0005	0.00015	0.003	0.0015	0.015	0.0015	
Бель-Булак	2, склоп.5	шлак	579	0.007	0.001	0.03	0.015	0.02	0.5	0.0015	<0.0003	0.7	0.007	0.0005	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0005	0.5	0.1	<0.001	0.0003	0.0002	0.01	0.001	0.015	0.0015	
Бель-Булак	10, уч. 5	шлак	548	0.007	0.002	0.05	0.02	0.05	0.2	0.0005	<0.0003	1	0.007	0.003	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.2	0.1	<0.001	<0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.015	0.0007	
Бель-Булак	3	шлак	541	0.007	0.002	0.07	0.1	0.05	0.2	0.0005	<0.0003	0.7	0.007	0.001	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.3	0.1	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	0.0005	0.015	0.0015	
Бель-Булак	4, склоп.1	шлак	567	0.007	0.0015	0.03	0.02	0.03	0.3	0.001	<0.0003	1	0.01	0.0015	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.3	0.05	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.015	0.001	
Бель-Булак	1, уч. 7	шлак	592	0.007	0.005	0.001	0.01	<0.001	0.05	<0.0005	0.0003	1	0.007	0.0015	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.015	<0.001	<0.0005	<0.0003	<0.0003	<0.001	0.001	0.015	0.001	
Бель-Булак	3	шлак	543	0.007	0.002	0.03	0.03	0.07	0.3	0.001	0	0.7	0.007	0.002	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.2	0.1	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.0005	0.015	0.001	
Бель-Булак	1, уч. 8	шлак	580	0.007	0.001	0.03	0.03	0.02	0.2	0.0005	<0.0003	0.7	0.005	0.002	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.2	0.07	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.01	0.0007	
Бель-Булак	1, уч. 8	шлак	584	0.007	0.0015	0.02	0.02	0.015	0.2	0.001	<0.0003	>1	0.015	0.002	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.5	0.1	<0.001	<0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.015	0.001	
Бель-Булак	4, склоп.2	шлак	572	0.007	0.001	0.03	0.02	0.015	0.2	0.001	<0.0003	>1	0.02	0.003	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	0.2	0.2	<0.001	<0.0005	0.0002	0.015	0.001	0.007	0.0007	
Бель-Булак	4	шлак	575	0.007	0.003	0.05	0.015	0.07	0.3	0.0005	<0.0003	>1	0.01	0.003	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.02	0.3	0.07	<0.001	0.0003	0.0002	0.01	0.001	0.02	0.0015
Бель-Булак	2, склоп.5	шлак	577	0.007	0.002	0.01	0.03	0.02	0.15	<0.0005	0.00015	>1	0.07	0.005	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.03	0.1	0.03	<0.001	<0.0005	0.0001	0.003	0.0015	0.005	0.0003	
Бель-Булак	1, уч. 1	шлак	588	0.007	0.0015	0.005	0.15	0.07	0.2	0.0005	<0.0003	0.5	0.2	0.007	0.0003	0.005	0.02	<0.001	<0.001	0.01	>3	0.03	<0.001	<0.0005	0.0002	0.03	0.001	0.015	0.001	
Бель-Булак	1, уч. 7	шлак	590	0.007	0.002	0.02	0.015	0.03	0.3	0.0005	<0.0003	>1	0.07	0.01	0.0003	0.005	0.02	<0.001	<0.001	0.005	0.2	0.05	<0.001	<0.0005	0.00015	0.015	0.0015	0.005	0.0003	
Бель-Булак	4, склоп.3	шлак	569	0.01	0.0015	0.02	0.03	0.03	0.5	0.0015	<0.0003	0.5	0.01	0.0015	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.05	0.1	<0.001	<0.0005	0.0002	0.015	0.001	0.015	0.0015	
Бель-Булак	4, склоп.2	шлак	571	0.01	0.0015	0.02	0.03	0.015	0.2	0.001	<0.0003	>1	nd	0.0015	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.3	0.15	<0.001	<0.0005	0.0001	0.01	0.001	0.007	0.0005	
Бель-Булак	10, уч. 5	шлак	546	0.01	0.002	0.03	0.03	0.05	0.2	0.0005	<0.0003	1	0.01	0.0005	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	0.2	0.15	<0.001	<0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.015	0.0015	
Бель-Булак	4, склоп.3	шлак	570	0.01	0.0015	0.02	0.02	0.03	0.2	0.0005	<0.0003	0.7	0.015	0.002	0.0007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.2	0.05	<0.001	0.0003	0.00015	0.01	0.001	0.01	0.0007	
Бель-Булак	10, уч. 10	руда	550	0.01	0.001	0.02	0.02	0.1	0.2	0.001	<0.0003	>1	0.015	0.002	0.0007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.1	0.015	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	0.001	0.01	0.001	
Бель-Булак	1, уч. 8	шлак	581	0.01	0.002	0.03	0.015	0.03	0.3	0.001	0.00015	>1	nd	0.003	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.007	0.3	0.07	<0.001	0.0003	0.0001	0.01	0.0015	0.007	0.0005	
Бель-Булак	3	шлак	542	0.01	0.002	0.05	0.05	0.05	0.2																					

Окончание Таб. 12-9

Район	Стоника	Мягче-ринал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Беш-Булак	2, скот. I	шлак	559	0.03	0.002	0.05	0.2	0.0015	<0.0003	>1	0.02	0.002	0.0003	<0.001	<0.001	0.005	0.5	0.2	<0.001	0.0003	0.0002	0.01	0.001	0.015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	
Беш-Булак	2, уч. I	шлак	556	0.05	0.005	0.07	0.2	0.0005	<0.0003	>1	0.03	0.005	0.0003	<0.001	<0.001	0.005	0.2	0.07	<0.001	<0.0005	0.0002	0.01	0.001	0.01	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	
Беш-Булак	2, уч. I	шлак	554	0.07	0.003	0.05	0.05	0.07	<0.0005	<0.0003	>1	0.015	0.003	<0.001	<0.001	0.015	0.15	0.1	<0.001	<0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.01	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	
Беш-Булак	2, уч. I	шлак	552	0.1	0.005	0.05	0.03	0.15	0.7	<0.0003	>1	0.01	0.007	<0.0003	<0.001	0.0003	0.5	0.15	<0.001	0.0003	0.0007	0.015	0.001	>0.03	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	
Лявлякан	131-I, II	шлак	521	0.001	0.015	0.0015	0.2	0.003	<0.0005	0.0015	0.05	nd	0.0007	<0.0003	<0.001	0.0003	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.1	0.03	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	<0.0005	0.001	0.0001	
Лявлякан	7	шлак	522	0.003	0.0015	0.015	0.2	0.007	0.5	0.001	<0.0003	0.02	nd	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.0001	0.15	0.05	<0.001	0.0003	0.0002	0.015	0.001	0.002	0.0001	
Лявлякан	26-V	шлак	520	0.003	0.003	0.002	0.1	0.01	0.2	<0.0005	0.0015	0.15	0.03	0.02	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.15	0.02	<0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	
Лявлякан	322	шлак	538	0.01	0.003	0.015	0.2	0.07	0.1	0.0005	0.00015	0.2	0.007	0.0005	0.005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0015	0.7	0.15	<0.001	<0.0005	0.00015	0.015	0.001	0.001	0.001	
Лявлякан	120-II	шлак	512	0.02	0.002	0.002	0.03	0.03	0.1	<0.0005	<0.0003	0.1	0.1	0.003	0.005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.01	0.015	0.02	<0.001	0.0003	0.0002	0.001	0.0005	0.005	0.005	
Беш-Булак		руда	586	0.007	<0.0003	0.1	0.015	0.3	0.2	0.001	<0.0003	>1	nd	0.003	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.3	0.015	<0.001	<0.0005	0.0002	nd	<0.0005	0.03	0.0015	
Беш-Булак		руда	587	0.02	<0.0003	0.02	0.015	0.1	0.07	<0.0005	<0.0003	>1	0.03	0.002	>0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.0001	0.2	0.01	<0.001	<0.0005	0.00007	nd	<0.0005	0.005	0.0002
Алякитма	10	шлак	504	0.007	0.0007	0.015	0.07	0.03	0.15	0.001	0.0003	1	0.3	0.1	0.0005	0.01	0.03	<0.001	<0.001	0.0015	0.2	0.05	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	0.0015	0.001	<0.0001	
Алякитма	17	руда	533	0.007	0.001	0.02	0.03	0.01	0.3	0.005	0.005	>1	0.007	0.02	0.003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	3	0.3	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	0.0015	0.001	<0.0001	
Алякитма	10A	шлак	490	0.01	0.001	0.007	0.03	0.03	0.2	<0.0005	0.0007	1	0.7	0.02	0.0005	0.01	0.1	<0.001	<0.001	0.003	0.15	0.1	<0.001	0.0003	0.0005	nd	0.001	0.01	0.0007	
Алякитма	10	шлак	503	0.015	0.0015	0.01	0.07	0.05	0.15	0.0005	0.0005	>1	0.5	0.02	<0.0003	0.01	0.2	0.001	<0.001	0.002	0.2	0.05	<0.001	0.0007	0.0002	0.007	0.001	0.005	0.0005	
Алякитма	10A	шлак	526	0.015	0.001	0.015	0.05	0.02	0.15	<0.0005	0.0007	>1	0.5	0.03	0.0001	0.01	0.3	0.0005	<0.001	0.0015	0.2	0.05	<0.001	0.0015	0.0002	0.007	0.001	0.005	0.0005	
Алякитма	12-I	шлак	524	0.02	0.002	0.015	0.07	0.03	0.2	0.0005	0.0003	>1	0.3	0.03	0.0015	0.01	0.1	<0.001	<0.001	0.002	0.3	0.05	<0.001	0.0015	0.0002	0.01	0.0005	0.01	0.001	
Алякитма	12-I	шлак	512	0.005	0.01	0.003	0.15	0.01	0.15	<0.0005	0.0015	0.15	0.03	0.003	0.0003	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.5	0.01	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	<0.0005	0.0015	0.00015	
Лявлякан	26a	шлак	518	0.007	0.003	0.01	0.05	0.005	0.2	0.0005	<0.0003	0.7	nd	0.015	0.0007	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.3	0.1	<0.001	0.0003	0.00015	0.001	0.001	0.001	0.0007	
Лявлякан	120-II	шлак	513	0.07	0.02	0.01	0.1	0.03	0.2	0.0015	0.0015	>1	0.2	0.0007	0.0015	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.005	0.03	0.02	<0.001	0.0003	0.0005	0.005	0.0005	0.015	0.0015	
Беш-Булак	10, уч. 5	руда	549	0.2	0.01	0.015	0.02	0.1	0.1	0.0005	<0.0003	>1	0.05	0.002	0.015	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.15	0.01	<0.001	<0.0005	0.0001	0.01	0.0005	0.01	0.0007	
Лявлякан	12-I-I	шлак	517	0.002	0.005	0.003	0.1	0.007	0.2	<0.0005	0.0015	0.2	0.15	0.005	0.0007	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0007	0.5	0.07	<0.001	0.0005	0.00015	0.01	0.001	0.0015	0.00015	
Лявлякан	26a	шлак	519	0.015	0.01	0.007	0.07	0.01	0.2	0.0005	<0.0003	0.5	nd	0.0015	0.0007	0.015	0.0015	<0.001	<0.001	0.0007	0.2	0.05	<0.001	0.0003	0.00015	0.015	0.001	0.0015	0.0001	
Лявлякан	120-IX	шлак	514	0.015	0.005	0.01	0.2	0.02	0.2	0.001	0.0015	0.7	0.15	0.001	0.0007	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.003	0.07	0.1	<0.001	0.001	0.0003	0.01	0.001	0.02	0.0015	
Лявлякан	120-IX	шлак	510	0.02	0.02	0.01	0.1	0.015	0.5	0.002	0.0015	>1	0.05	0.002	0.001	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.1	0.03	<0.001	0.0003	0.0003	0.01	0.0015	0.007	0.0005	
Лявлякан	338-I	шлак	508	0.003	0.01	0.001	0.03	0.001	0.2	<0.0005	0.00015	0.3	0.01	0.001	0.0007	0.015	0.0015	<0.001	<0.001	0.00015	0.1	0.02	<0.001	0.0005	0.00015	0.01	0.001	<0.001	0.0001	
Лявлякан	26	шлак	511	0.01	0.005	0.003	0.05	0.015	0.15	0.0005	<0.0003	0.7	0.03	0.02	0.003	0.02	0.0015	<0.001	0.003	0.002	0.3	0.03	<0.001	0.0007	0.0002	0.015	0.001	0.002	0.0002	
Лявлякан	12-I-I	шлак	515	0.003	0.01	0.001	0.2	0.01	0.15	0.0005	0.0003	0.5	0.3	0.015	0.0015	0.02	<0.003	<0.001	<0.001	0.002	0.2	0.03	<0.001	0.0015	0.0001	0.01	0.0015	0.035	0.00015	
Алякитма	187	шлак	531a	0.007	0.001	0.005	0.15	0.015	0.2	0.0005	0.0015	0.2	nd	0.1	0.0003	0.02	0.005	<0.001	<0.001	0.002	0.5	0.02	<0.001	<0.0005	0.0002	0.01	0.0005	0.002	0.0002	
Лявлякан	338-I	шлак	507	0.007	0.05	0.003	0.1	0.01	0.15	0.0005	0.00015	1	0.03	0.003	0.0005	0.03	0.0015	<0.001	<0.001	0.0015	0.2	0.03	<0.001	0.001	0.00015	0.005	0.001	0.0015	0.00015	
Алякитма	209	шлак	491	0.015	0.003	0.0015	0.2	0.03	0.2	0.001	0.0015	1	0.5	0.03	0.0001	0.05	0.015	<0.001	<0.001	0.003	0.15	0.02	<0.001	<0.0005	0.00007	0.01	0.001	0.005	0.0003	
Алякитма	209	шлак	527	0.01	0.001	0.002	0.15	0.02	0.07	0.0005	0.0005	>1	>1	0.15	0.0001	0.07	0.01	<0.001	<0.001	0.007	0.1	0.01	<0.001	<0.0005	0.00007	0.01	0.0015	0.001	0.00015	
Беш-Булак	4, скот. I	шлак	564	0.01	0.003	0.3	0.02	0.01	0.2	0.001	<0.0003	0.3	nd	0.0003	<0.0003	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.02	0.01	<0.001	0.0015	0.0001	0.005	<0.0005	<0.001	0.00015	
Лявлякан	40	шлак	523	0.005	0.007	0.003	0.1	0.01	0.2	0.0005	0.00015	1	0.03	0.01	0.0003	0.07	<0.003	<0.001	<0.001	0.001	0.2	0.07	<0.001	0.001	0.00015	0.007	0.001	0.002	0.0002	
Алякитма	209	шлак	492	0.01	0.002	0.0015	0.2	0.03	0.15	0.0005	0.0003	>1	0.5	0.02	0.0007	0.15	0.01	<0.001	<0.001	0.002	0.1	0.03	<0.001	<0.0005	0.00015	0.015	0.001	0.003	0.0003	
Алякитма	209	шлак	525	0.01	0.001	0.007	0.05	0.02	0.2	0.0005	0.001	>1	0.5	0.15	0.0002	0.15	0.3	<0.001	0.0015	0.002	0.2	0.05	<0.001	0.001	0.0003	0.01	0.0005	0.007	0.0007	
Алякитма	95B																													

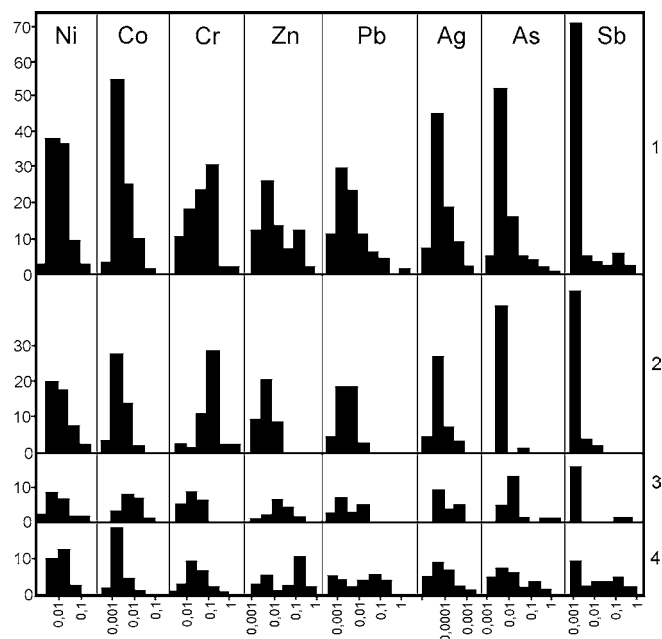


Рис. 12-10. Диаграммы распределения концентраций примесей (%) в шлаке: 1 — вся выборка Внутренних Кызылкумов; 2 — Беш-Булак; 3 — Лявлякан; 4 — Аякагитма

котловины имели более высокие концентрации свинца, цинка, сурьмы. Подобная картина говорит об использовании населением каждой котловины собственной рудной базы, что вполне естественно ввиду того, что медное оруденение и древние рудники выявлены вблизи каждой из них (Виноградов и др., 1971, с. 509; Виноградов, 1981, с. 20).

Однако материалы отдельных котловин с геохимической точки зрения не отличаются однообразием. Их статистическая обработка позволила выявить использование различных рудных источников.

Наиболее неравномерно распределены примеси в шлаке аякагитминских стоянок. Ряд диаграмм имеет двухвершинную конфигурацию. Это такие элементы как цинк, свинец, мышьяк, сурьма, молибден, ванадий. Вершины диаграмм других элементов смещены. При построении корреляционных графиков неоднородность аякагитминской серии была выявлена достаточно четко. Уже при анализе соотношения $Co-Zn$ от основного массива отпала группа А-1, характеризующаяся повышенной концентрацией цинка. Та же картина наблюдается и на графике $As-Sb$, где эта группа отличается повышенными концентрациями сурьмы и мышьяка (рис. 12-11.1). Четкая двухвершинность диаграмм этих элементов, на первый взгляд, может свидетельствовать об искусственном легировании на стадии плавки руды, как это имело место на памятниках типа Синташты и Аркаима в Южном Зауралье. Однако приуроченность этих повышенных концентраций к одной химической группе, которая, к тому же, характеризуется более высоким содержанием свинца и цинка заставляет предполагать другое. Вероятно, мы имеем дело с полиметаллическим месторождением, включающим, помимо основных медных руд, блеклые руды (теннантит, тетраэдрит и пр.), а также галенит и сфалерит. Подобная полиметаллическость, в целом, характерна для Средней Азии (Вактурская и др, 1968, с. 124; Рузанов, 1980, с. 56—58; 1988; Сарияниди и др., 1977, с. 37, 38). Надежно ответить на этот вопрос в данном случае не представляется возможным, ввиду малого количества проанализированной руды, нестратифицированности материала и небольшого количества шлака этой группы.

График $Cr-Pb$ позволил выделить еще две группы — А-2 (с низким содержанием хрома) и А-3 (со средним содержанием хрома) (рис. 12-11.2).

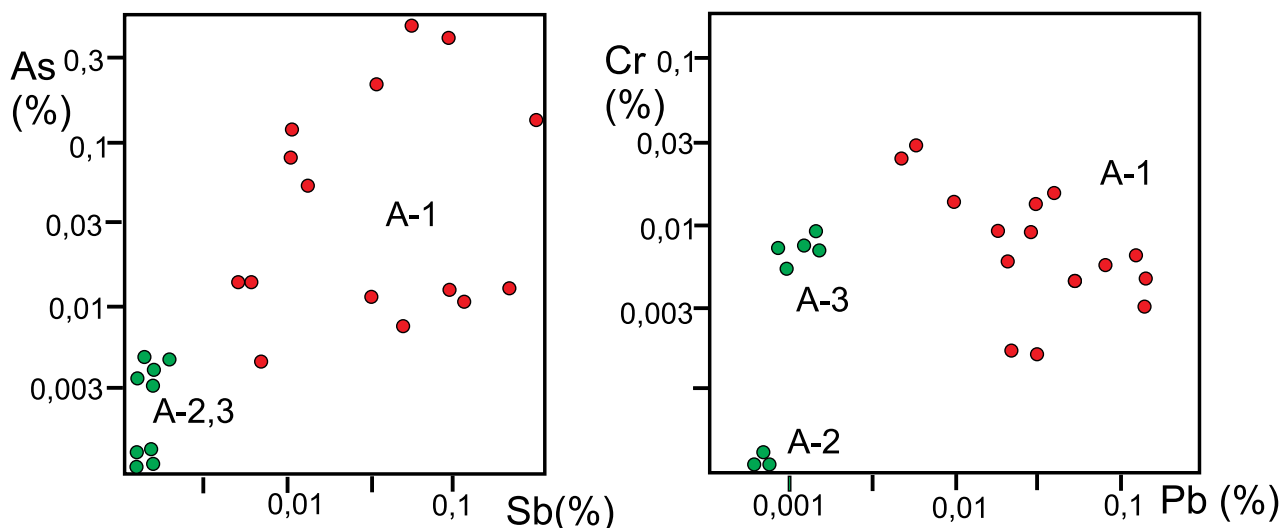


Рис. 12-11. Корреляционные графики соотношений: 1 — As—Sb (Аякагитма); 2 — Cr—Pb (Аякагитма) (%)

Образцы группы А-2 отличаются, кроме того, пониженными концентрациями ванадия и молибдена. Один образец не вошел ни в одну из выделенных групп. Его характеризуют средние значения свинца и цинка и высокие хрома и кобальта. Повышенное содержание сурьмы и мышьяка сближает его с группой А-1. Этот образец происходит со стоянки Аякагитма 95Б. Прочие химические группы распределены по стоянкам следующим образом: группа А-1 — стоянки Аякагитма 10, 17, 187, 209; А-2 — стоянки Аякагитма 234; А-3 — стоянки Аякагитма 10 (два образца), 224, 239.

Ситуация на льяляканских стоянках более сложная. Двухвершинные диаграммы наблюдаются на графиках серебра и свинца, а вершина диаграммы кобальта смещена влево (рис. 12-10.3). Это позволило на корреляционных графиках отделить образцы с повышенным содержанием этих элементов от образцов с пониженным содержанием. Разделение это не очень четкое. Существуют образцы, занимающие промежуточное положение. В целом, геохимия рудников, использовавшихся льяляканскими металлургами, очень близка. Поэтому разделение здесь достаточно условно. Довольно близки между собой материалы стоянок 7, 120, 131, 322, которые характеризуются пониженным содержанием рассматриваемых элементов.

Сопоставимы также материалы 40 и 121 стоянок. К этой группе примыкают и два образца стоянки 120. Они характеризуются также несколько более высоким содержанием сурьмы и мышьяка. Отдельные образцы стоянок 26, 120, 121 занимают промежуточное положение. Образцы стоянки 338, при достаточно высоких концентрациях серебра и кобальта, содержат небольшое количество мышьяка. Наконец, образец со стоянки 94 отличается очень высоким содержанием свинца и низким кобальта. Только для последних образцов можно говорить об отдельном рудном источнике. Основная же масса происходит либо с близких рудников с очень схожей геохимией, либо даже с одного месторождения, но из различных его зон.

Наибольшее единообразие демонстрируют материалы бешбулакских стоянок. Хотя, при ближайшем рассмотрении, обращает на себя внимание асимметрия отдельных диаграмм (рис. 12-10.2). После анализа соотношения отдельных элементов, благодаря невысокому содержанию серебра и повышенному кобальта и никеля, из основного массива (Б-1) была выделена группа Б-2, включившая в себя все материалы стоянки Бешбулак 2. Эта связь группы с одним памятником указывает на отдельный рудный источник.

Все материалы бешбулакских стоянок характеризуются низким содержанием таких элементов, как сурьма и мышьяк. В ходе плавки этих руд получали химически чистую

медь. В отличие от бешбулакских, многие руды Аякагитмы и Лявлякана содержали эти примеси в более высоких количествах. Однако, как уже отмечалось, повышенные концентрации сурьмы и мышьяка связаны, вероятно, с характеристиками использованного рудного материала. Олово во всех образцах присутствует в незначительных концентрациях, не превышающих 0,0015%.

Было произведено также сопоставление химических и минералогических групп шлака (таб. 12-12). Из него стало очевидно, что отчетливая корреляция этих групп отсутствует. Какие-то связи между группами могут быть намечены лишь в тех случаях, когда количество образцов в какой-либо группе незначительно, то есть они носят случайный характер. Соответственно, на данном этапе для ситуации с Кызылкумами мы можем предполагать, что выделяемые химические группы имеют, в большей степени, территориальный характер, они не обусловлены характером руды. Однако из-за незначительности выборки этот вывод тоже нельзя рассматривать как безусловный.

Таб. 12-12

Корреляция химических и минералогических групп шлака на памятниках Кызылкумов

Химическая группа \ Минералогическая группа	А-1	А-2	А-3	Б-1	Б-2	Л-1	Л-2
I	4	1	1	4	1		3
II	5		7	28	8	6	3
III	2	1	1				
IV	1			4	1		1
VII		2		3		2	3
Всего	12	4	9	39	10	8	10

Сортировка данных по отдельным элементам тоже показала, что основные элементы в образцах шлака разных минералогических группах содержатся произвольно: их содержание может быть значительным или абсолютно несущественным.

Особый интерес представляет содержание мышьяка, поскольку присутствие в Кызылкумах минералогической группы I позволяет допускать и наличие той стадии металлургического производства, когда использовалась легкоплавкая руда из пород основного состава, и легирование мышьяком осуществлялось на стадии ее плавки, что было отмечено для синташтинской культуры. Если опираться на разработанный порог мышьяковых бронз для шлака в 0,01% то из 88 образцов 60 (68,2%) лежат ниже этого порога, а 28 (31,8%) достигают этого значения или содержат более высокие концентрации мышьяка. Но, с учетом того, что в последней группе четыре образца относятся к VII минералогической группе, которая получена при плавке халькопирита, логичнее предполагать связь мышьяка с сульфидной рудой. Кроме того, эта минералогическая группа высокотемпературная, и мышьяк не мог сохраниться в металле. Только пять образцов более легкоплавкой I минералогической группы демонстрируют повышенные концентрации мышьяка. Однако взятый здесь предел 0,01% является низшим для химико-металлургической группы ТК и, соответственно, для шлаков, отражающих искусственное легирование. Более высокий предел 0,03% достигает только 12 образцов, из которых лишь три относятся к I минералогической группе. Соответственно, технологии легирования мышьяковыми минералами в руду на стадии ее плавки здесь либо не существовало, либо она была очень ограничена. В единичных случаях это можно допускать, но более правомерно предположение о статистическом рассеивании. Вопрос этот на данном этапе решению не поддается.

Нет возможности говорить и о преднамеренном получении сурьмяно-мышьяковых бронз, как это имело место иногда на севере. Корреляционный график As—Sb

(рис. 12-13) показывает, что подавляющее количество шлаков демонстрируют низкое содержание этих элементов. Лишь в единичных образцах оно выше, но и там зависимость в содержании у этой пары не наблюдается. Следовательно, речь идет о случайных содержаниях.

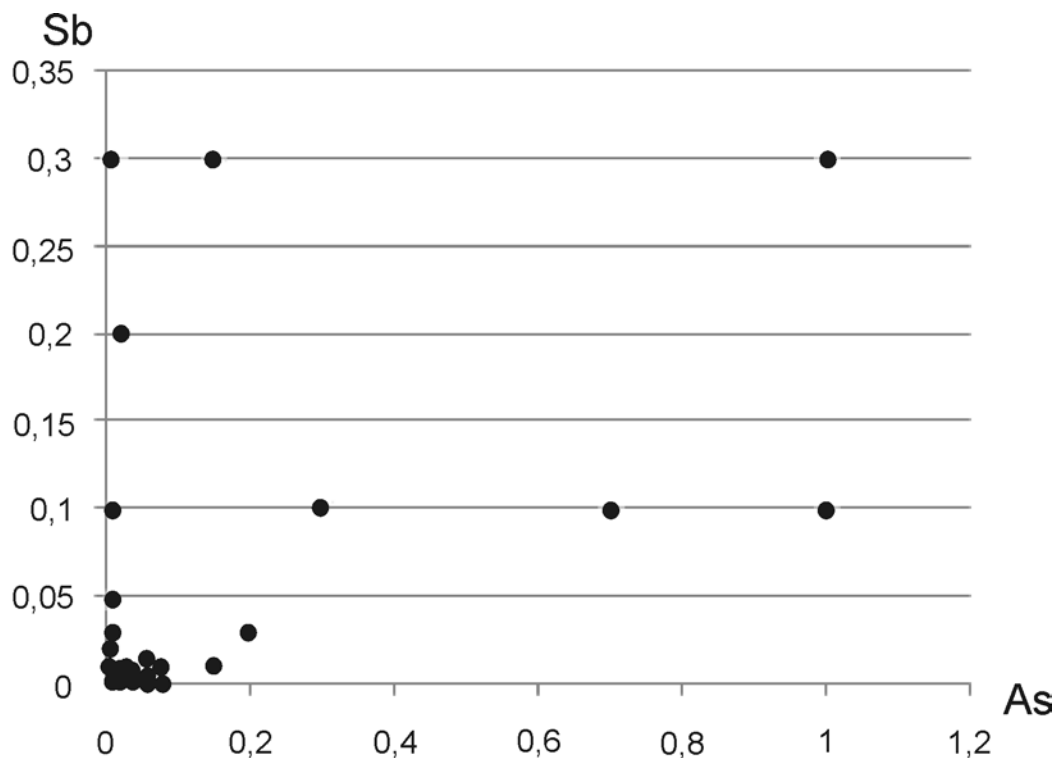


Рис. 12-13. Корреляционный график As—Sb для шлака Кызылкумов (%)

Проблема датировки шлака

Серьезной проблемой является привязка выявленных шлаковых групп к определенным хронологическим периодам. При этом приходится опираться исключительно на льяляканские материалы, опубликованные наиболее полно.

Самым массовым керамическим материалом (не считая неолитического) здесь являются материалы эпохи ранней бронзы (32 стоянки). Крайне редко встречается керамика раннего железного века и средневековья. Последние типы посуды тоже могут встречаться на стоянках со шлаками, однако связывать металлургическое производство с ними нельзя. В дельте Аму-Дарьи, на памятниках куюсайской культуры обнаружены следы меднолитейного и железоделательного производства, но, судя по всему, что касается медной металлургии, речь идет только о металлообработке (Вайнберг, 1979, с. 7, 12, 24). В Кызылкумах же к этому времени окончательно сложился пустынный ландшафт, что затрудняло обеспечение плавов топливом. К тому же, экономически это было бессмысленно, поскольку набирают мощь производственные центры, расположенные в зоне городских цивилизаций Средней Азии (Буряков, 1974).

Редкие находки керамики раннего железного века и средневековья в Кызылкумах обусловлены, по-видимому, тем, что здесь проходили караванные пути, обслуживаемые кочевниками. Они не менялись с эпохи бронзы до XIX века (Вактурская и др., 1968, с. 334; Новоженев, 1994, с. 89).

Таким образом, металлургические остатки в этом регионе могут датироваться только эпохами ранней и поздней бронзы. Выпадение отсюда средней бронзы связано с использованием различных периодизационных схем, что обусловлено контактным характером

региона. При этом сомнений относительно возможности производства в эпоху ранней бронзы нет. Климат, несмотря на начавшиеся процессы аридизации еще, по-видимому, не успел привести к опустыниванию ландшафта. Кроме того, выявлена литейная мастерская этого времени (Лявлякан 506), а к одному из сосудов прикипел королек меди, что доказывает, что он использовался в качестве тигля (Виноградов, Мамедов, 1975, с. 228).

На Бешбулаке металлургическое производство датируется, как эпохой ранней бронзы, так и поздней бронзой (Виноградов и др., 1972, с. 509). По-видимому, процессы опустынивания в течение II тысячелетия до н. э. были не столь стремительными. Во всяком случае, в верховьях Зеравшана климат во второй половине II тыс. до н. э. был более влажным и прохладным, чем в настоящее время (Исаков, Потемкина, 1989; Спиридонова, 1989).

Однако надежно датировать отдельные шлаки, и даже производство на отдельных стоянках, не представляется возможным. Как уже обсуждалось ранее, корреляция взаимовстречаемости минералогических групп шлаков не позволяет надежно увязывать ни одну из них с конкретной эпохой. В противоположность этому, та же процедура, произведенная для типов шлака, выделенных по их форме, позволила предполагать, что местное раннебронзовое производство характеризуется шлаками, припеченными к обмазке, а иные типы связаны с памятниками степной бронзы. Однако необходимо понимать, что это лишь возможная тенденция, которую нельзя рассматривать, как однозначный результат.

Она не согласуется с выводом А. В. Виноградова и Э. Д. Мамедова о раннебронзовой датировке лявляканского производства (Виноградов, Мамедов, 1975, с. 228). Но незначительность позднебронзового материала, по сравнению с предшествующим, (встречается реже и в гораздо меньших количествах) ничего не доказывает при датировке металлургических комплексов.

Если исходить из того, что иные типы шлака тяготеют к эпохе поздней бронзы, то позднебронзовая металлургия на Бешбулаке представлена гораздо шире, чем на Лявлякане. Это согласуется с мнениями некоторых исследователей (Виноградов и др., 1972, с. 509; Итина, 1977, с. 42, 43, 136). Обращает на себя внимание то, что довольно много припеченного к обмазке шлака выявлено на Бешбулаке 1, где раннебронзовые материалы представлены очень хорошо (Виноградов, 1981, с. 101).

Вероятно, шлаки разных типов могут датироваться разными эпохами, но для эпохи ранней бронзы припеченные к обмазке шлаки более характерны. Отчасти это было связано с использованием сульфидных руд.

Основные этапы развития металлургического производства в Средней Азии

Металлургическое производство в Средней Азии появляется в эпоху энеолита на поселениях анаусской культуры, связанной самым тесным образом с культурами Передней Азии, в особенности Ирана. Первоначально можно говорить, по-видимому, лишь о металлообработке (Кузьмина, 1966, с. 86—87), однако некоторые исследователи допускают возможность начала становления металлургического производства (Сайко, Терехова, 1981, с. 102). Тем не менее, в настоящее время не совсем ясно — с каким производственным процессом связано обнаружение металлургических шлаков на Илгынлы-депе и Геоксюре в слое времени Намазга III (Кузьмина, 1966, с. 87).

Более уверенно о металлургическом производстве в Средней Азии можно говорить лишь с начала эпохи бронзы, с периода Намазга IV. Ранее была принята следующая датировка археологических комплексов Средней Азии: период Намазга IV — 2800—2400 (2300) гг. до н. э., средней бронзы Намазга V — 2300—1800 гг. до н. э., поздней бронзы Намазга VI — 1800—1000 гг. до н. э. Калиброванные даты иные: Намазга IV — первая половина III тыс. до н. э.; Намазга V — вторая половина III тыс. до н. э., Намазга VI —

конец III — середина II тыс. до н. э. Культура Заманбаба датируется серединой III тыс. до н. э. (Кутимов, 2009, с. 9, 12).

К хорошо документированным находкам, связанным с металлургией (то есть получением металла из руды) периода Намазга IV, относятся следующие. Это находки орудий для обработки руды на Алтын-депе (Кирчо, 1983, с. 74) и металлургических шлаков на Хопуз-депе (Терехова, 1980). Металлообработка этого времени характеризуется мышьяковыми бронзами. Это, а также фиксация здесь тигельной плавки (к сожалению, лишь единичным анализом) позволяет связывать эту металлургическую традицию с Ираном, что вполне соответствует и представлениям о культурогенезе этого ареала. В Иране в течение энеолита выплавлялась мышьяковая медь, причем, плавка осуществлялась в тиглях. Но уже в конце IV — начале III тыс. начинается более активное использование сульфидов, идет переход к плавкам в печи, и появляются нормальные металлургические шлаки (Pigott, 2004a, p. 312; Thornton, 2009, p. 309—218; Thornton et al., 2009, p. 314). Эта технология плавки в тигле первоначально самородной меди, а потом руды, проникает из Ирана в Пакистан и на территорию Северо-Западной Индии. На поселении Мергар в Пакистане обнаружены тигли с ошлаковкой, а на Северо-Западе Раджастана известно около 1000 изделий из бронзы и меди (Babu, 2003, p. 174, 175).

К северу и северо-востоку от Южного Туркменистана в этот период обитают неолитические кельтеминарские племена. С усилением процессов аридизации, во второй половине III тыс. до н. э., здесь начинают происходить значительные качественные изменения. На смену кельтеминарской культурно-исторической общности приходит серия культур раннебронзовой эпохи. В Хорезме это суярганская культура. При всей разнице оценок этой культуры все исследователи сходятся в основных положениях: суярганская культура формируется на базе позднего кельтеминара под воздействием южных импульсов из Северо-Восточного Ирана (Итина, 1977, с. 40; Толстов, Итина, 1960, с. 14—21; Средняя Азия, 1966, с. 214).

К тому же времени относится возникшая в низовьях Зеравшана, заман-бабинская культура (Средняя Азия, 1966, с. 206). Считается, что основой для ее формирования служила местная неолитическая культура с очень сильным южным воздействием. Особенно это сказалось в заимствовании из Южного Туркменистана форм металлических изделий. При этом, производство, включая выплавку руды, здесь местное. На это указывают, по мнению исследователей, отсутствие лигатур и характерный набор микропримесей (Кузьмина, 1966, с. 89, 90).

Наконец, на территории Кызылкумов возникает раннебронзовая культура, отличная от суярганской и Заман-бабы и не получившая пока своего названия. Наиболее широко она представлена на Лявлякане. Со стоянки Лявлякан 506 с материалами этой культуры происходят литейные формы топора-тесла и топора-молота, имеющего широкие аналогии не только в Средней Азии, но и в Эгейском бассейне. Однако если на Балканах подобные топоры датируются V—IV тыс. до н. э., в Иране аналогичные происходят из слоев конца III — начала II тыс. до н. э. (Черных, 1978a, с. 89, 96; Виноградов, Кузьмина, 1970, с. 125—133). Поэтому не исключено, что эта культура формируется несколько позже Заман-Бабы, ближе к концу III тыс. до н. э. Аналогичный топор-тесло обнаружен в Зеравшанских горах (Кузьмина, 1966, с. 14). Изготовлен он из чистой меди, что говорит об определенной изолированности этого очага производства данных видов топоров от южных металлургических центров, употреблявших мышьяковые сплавы.

Но необходимо помнить, что обсуждаемые памятники пока исследованы очень слабо. Нет уверенности и в их полной одновременности или однокультурности. Очевидно, что они занимают промежуток между кельтеминаром и появлением степных племен. Появляющееся здесь металлургическое производство базируется не только на окисленных рудах, но и на использовании сульфидов, в том числе халькопирита.

Выше мы уже неоднократно обсуждали, что эта технологическая традиция имеет южные корни.

Наконец, последней зоной, которую следует упомянуть, является Северная Бактрия, юг Узбекистана и Мургабский оазис, где в конце III — начале II тыс. до н. э. распространяются памятники бактрийско-маргианского археологического комплекса (БМАК), к которым относится Дашлы-3. Формирование БМАК произошло в результате импульсов из Сиро-Анатолийского региона (Сарианиди, 1989, 1993).

К сожалению, все представления о технологии плавки руды базируются на одном образце шлака и находке одного тигля. Можно предполагать на этом основании тигельную плавку окисленной руды, но нельзя быть уверенным в отсутствии каких-то иных технологий и иной рудной базы.

Сведений о печах этого времени мало. На Сапалли обнаружены небольшие круглые очаги с ошлакованными стенками. Один из них был разделен перегородкой (Аскарлов, 1977, с. 123). На Дашлы-3 расчищена печь, состоящая из двух отделений (Сарианиди, 1977, с. 71). В Кызылкумах сведения о печах этого времени отсутствуют. Но ошлакованные стенки печи на Сапалли указывают на плавку руды непосредственно в печи. К сожалению, это все, что мы можем пока сказать по этому поводу.

Крайне важным является то, что в Средней Азии во второй половине или в конце III тыс. до н. э. известна плавка халькопирита, которую мы видим затем и на севере.

Таким образом, наряду с уже отмеченными Е. Е. Кузьминой процессами распространения на территорию Средней Азии южной металлообработки (Кузьмина, 1966, с. 86—90), мы видим, что в течение всего III тыс. до н. э. в северном и восточном направлениях идет распространение технологии металлургического производства. Можно выделить, вероятно, два разновременных импульса: в начале этого тысячелетия (или ранее) и во второй его половине.

Новый этап металлургической истории Средней Азии начинается с середины II тыс. до н.э. В это время на юг Средней Азии проникают степные племена. В районах Южного Приаралья и Юго-восточного Прикаспия из Западного Казахстана появляются носители тазабагыябской культуры, являвшиеся синтезом срубной культуры и западного варианта алакульской культуры (Виноградов и др. 1986, с. 188; Итина, 1962; 1967; 1977, с. 39; Кузьмина, 1964, с. 147; Антропологические типы, 1988, с. 114). По всей видимости, в формировании ее принимало участие и местное суярганское население (Толстов, Итина, 1960, с. 22, 23). Эта культура продвигается вверх по Аму-Дарье, проникая и на территорию Кызылкумов (Виноградов, Мамедов, 1975, с. 229). Поэтому не исключено, что часть поздних шлаков, обнаруженных здесь, может принадлежать ей.

Помимо этого из районов Центрального и Южного Казахстана на юг продвигается алакульское и федоровское население (Исаков, Потемкина, 1989, с. 165; Сарианиди, 1975; Средняя Азия, 1966, с. 227). Этот процесс не был столь интенсивен, как в финальную бронзу (Исаков, Потемкина, 1989, с. 165), однако на территории Кызылкумов материалы этих культур встречаются.

Новые миграции связаны с культурами валиковой керамики. На основе этих процессов в разное время в Средней Азии формируются такие культуры, как кайраккумская в Фергане, бургулюкская в Ташкентском оазисе, амиробадская, чувская, Яз I (Аскарлов, 1979, с. 34—36; Сагдуллаев, 1985, с. 50—59; 1989, с. 30; Салтовская, 1978, с. 95, 96; Сарианиди, 1972, с. 22; Рузанов, 1980, с. 55—58).

Средняя Азия входит в Евразийскую металлургическую провинцию с евразийским комплексом металла (Кузьмина, 1966, с. 90—94; Кожамбердиев, Кузьмина, 1980, с. 144—152; Рындина и др. 1980, с. 154—158). Производство базируется на местном рудном сырье. Степные культуры привносят и свои технологии выплавки руды. Мы встречаем здесь те же минералогические группы шлака, что и на севере. При этом технология

синташтинская сюда явно не проникает: нет традиции легирования мышьяком на стадии плавки руды. Доминирует плавка окисленной руды или ее смеси с сульфидной, происходящей из месторождений в кварцевой породе. Это традиция алакульской культуры. Ей заметно уступает традиция федоровская: плавка халькопирита. Однако в последнем случае не исключено, что это сохранение или переработка местной традиции.

Таким образом, история металлургического производства в Средней Азии характеризуется двумя процессами. Первый связан с периодом вхождения ее в Ирано-Афганскую металлургическую провинцию в конце V — сер. II тыс. до н. э., с распространением иранского комплекса медно-бронзовых артефактов и плавки руды (Черных, 1978; Кузьмина, 1960, с. 86—90). Второй процесс обусловлен проникновением на юг степных племен срубно-андроновского круга, вызвавшим расширение на юг территории Евразийской металлургической провинции с присущим ей набором металла (Черных, 1978; Кузьмина, 1960, с. 90—94).

Глава 13. Проблема появления железа в эпоху бронзы в Северной Евразии

Совершенно очевидно, что технологические инновации эпохи поздней бронзы привели к качественно новому скачку в металлургическом производстве — началу производства железа. Это одна из наиболее обсуждаемых проблем в археометаллургии. Причем, эта проблема универсальна, она достаточно актуальна для многих регионов. Дело в том, что железо очень часто присутствует на памятниках эпохи бронзы. Иногда это объясняют метеоритным характером этого железа, иногда просто закрывают глаза на это присутствие, полагая, что произошло случайное попадание вещи в более ранний слой.

Самые ранние железные изделия датируются около 5000 г. до н. э. и происходят из Саммары в Месопотамии и Сиалка в Иране. Далее, в течение IV—II тыс. до н. э., количество железных изделий постепенно увеличивается, хотя они продолжают оставаться большой редкостью, особенно по сравнению с бронзовыми изделиями. В Анатолии железо появляется в III тыс. до н. э. Из Аладжа-Хёйюк (РБВ) происходит шесть железных изделий (Yalcin, 1999, p. 177, 184). В позднюю бронзу количество железных предметов, обнаруженных на Ближнем Востоке, достигает 74 (Waldbaum, 1980, p. 69—77). Расширяется и география этих находок. Они известны не только в Анатолии, но и в других регионах, например, в Колхиде (Yalcin, 1999, p. 177). Но в течение всего этого времени железо оставалось редкостью и обладало значительной ценностью. Стоимость его в 35—40 раз превосходила стоимость серебра. Из этого металла изготавливали украшения и культовые предметы. Находки железа, как правило, связаны с престижным контекстом. Из хеттских источников мы знаем о царском троне и скипетре из железа, подаренном Анните человеком из Пурусханды. Кинжал с железным лезвием обнаружен в гробнице Тутанхамона. Наконец, известна переписка хеттского царя Хаттусили III с Салманасаром V, в которой он сообщает о посылке в подарок железного клинка. Торговля железом была широко распространена в Анатолии уже в период ассирийских торговых колоний, и железо уже тогда выступало как ценный металл. Его меняли на золото и серебро, но не на медь. 8 сиклей золота было недостаточно для обмена на 1 сикль железа. Другие тексты утверждают, что железо в 40 раз дороже серебра и торговля им строго контролировалась. Последнее относится уже к хеттскому времени, когда железо выступает символом монархии, и его упоминания в текстах чаще идут в контексте с упоминаниями царя¹ (Иванов, 1983, с. 91—96; Muhly, 1980, p. 37, 50; Waldbaum, 1980, p. 76, 76; Yalcin, 1999, p. 182; Muhly et al., 1985, p. 73; Гиоргадзе, 1988, с. 239). Лишь с XVIII в. до н. э. железо начинает широко использоваться для изготовления оружия. Один из текстов упоминает 400 единиц оружия из железа (Yalcin, 1999, p. 182). Вероятно, с этого времени намечается и определенная специализация в этой области, поскольку в описаниях хеттских фестивалей упомянуты работники по железу, хотя не ясно — занимались они плавкой или ковкой. Однако есть еще один признак, указывающий на рост объемов производства железа. В текстах этого периода золото и серебро измеряются в сиклях, а железо и медь в минах² (Yalcin, 1999, p. 183).

¹ Существует попытка оспорить это распространенное мнение об относительной редкости железных изделий и их дороговизне. Так, Г. Гиоргадзе опровергает мнение об ограниченном использовании и изготовлении железа, считая, что его использовали и для бытовых нужд. Но его точка зрения основана, преимущественно, на данных Богазкёйского архива, наиболее богатого упоминаниями железа. И речь идет уже о второй половине II тыс. до н. э. (Гиоргадзе, 1988, с. 239, 248). Подсчеты упоминаний различных металлов в письменных источниках хеттского времени, и учет веса перечисляемых в инвентарных списках изделий однозначно указывает на то, что доля железа среди прочих металлов была мизерной, сопоставимой лишь с золотом, но несравненно меньшей, чем доля серебра. Сравнивать с медными и бронзовыми изделиями эту долю и вовсе бессмысленно (Müller-Karpe, 2000, S. 114, 115).

² 1 мина соответствует 505 г, 1 сикль — 8,4 г (Гиоргадзе, 1988, с. 247).

Развитию специализации в железоделательном производстве способствовало еще одно обстоятельство. Железо в древности не отливали, а ковали, так как литье появилось на очень поздней стадии. Эта операция требовала большого мастерства, а среди артефактов встречаются довольно сложные вещи, что и стимулировало выделение специализированных кузнецов по железу. В Анатолии это происходит в XVI в. до н. э., когда в текстах начинают упоминаться кузнецы по железу, а в Месопотамии с XII—XI вв. до н. э. (Muhly et al., 1985, p. 80; Гиоргадзе, 1988, с. 242).

При этом необходимо отметить, что вплоть до XII в. до н. э. следы плавки железных руд отсутствуют. На это же время приходится начало массового распространения железных изделий, причем, теперь речь идет уже не об украшениях и небольших предметах, а о довольно массивном оружии. Таким образом, в этот период происходят качественные изменения в технологии добычи железа, что позволяет начало раннего железного века на ряде территорий отсчитывать именно с этой даты. Интересно наблюдение Мьюли, указавшего, что широкое распространение железа на Ближнем Востоке совпадает с миграцией дорийцев и «народов моря» (Muhly, 1980, p. 51). Например, в могильнике Карагюндюз (XI—X вв. до н. э.) обнаружены уже сотни изделий, включая украшения, но чаще оружие и инструмент. А с VIII в. до н. э. железо становится основным металлом (Yalcin, 1999, p. 182, 185). При этом, несмотря на ранние данные об изготовлении железных изделий в Анатолии, вклад хеттов в широкое распространение соответствующих технологий в конце II тыс. до н. э. сомнителен (Muhly et al., 1985, p. 82).

В Месопотамии тоже большое количество железа появляется лишь в VII в. до н. э., а активное развитие производства начинается с середины I тыс. до н. э. В Египте в VII в. до н. э. появились греческие колонисты, которые и принесли соответствующие технологии, но долго производство развивалось слабо по причине дефицита леса. Позже, в IV в. до н. э. производство железа началось в Нубии (Amborn, 1976, S. 49—51, 57, 63, 66, 69).

В Греции самое раннее железное изделие (кольцо) датируется XVII в. до н. э. В редких микенских изделиях XV—XIII вв. до н. э., преимущественно украшениях, всегда содержится никель, что рассматривается в качестве признака метеоритного происхождения, но здесь известны и руды с никелем, к тому же, во многих изделиях XIII—XII вв. до н. э. никель отсутствует. В больших количествах железо появляется в XII в. до н. э., но данные о его плавке появляются лишь с IX в. до н. э., а бурное развитие предполагается в IX—VIII в. до н. э., но данных по этому развитию тоже нет, просто после этого времени технология предстает во вполне сложившемся виде (Varoufakis, 1982, p. 315—317).

В Западном Средиземноморье происходят сходные процессы. На памятниках ПБВ Иберии дофиникийского периода (т.е. до VIII в. до н. э.) изредка присутствует железо с низким содержанием никеля, поэтому предполагается, что это железо не метеоритного происхождения, но оно импортное. Настоящая металлургия железа здесь начинается только с приходом финикийцев (Hunt Ortiz, 2003, p. 356, 358).

В Центральной и Северной Европе в контексте II тыс. до н. э. известно только несколько железных изделий, и предполагается, что это импорт (Pleiner, 1980, p. 376).

Эта относительная синхронность распространения истинной металлургии железа показывает, что раннее железо с этими технологиями не связано. Подобная ситуация позволяет поставить вопрос — в чем причины подобных изменений, и что вызывало столь незначительные масштабы производства железа в предшествующие эпохи. В некоторых работах предполагается, что железо на Древнем Ближнем Востоке получали из железной руды, но регулировать процесс по-настоящему еще не умели. Это и обусловило дороговизну этого металла, и его относительную редкость. Однако целенаправленное получение железа является довольно сомнительным. Железные руды распространены

гораздо шире, чем руды медные. Поэтому, если бы технология выплавки железа существовала бы, например, в III тыс. до н. э., она бы довольно быстро получила распространение, чего мы не наблюдаем вплоть до XII в. до н. э. Это бы произошло по чисто экономическим причинам. Уже в VII в. до н. э., когда технологии получения железа были действительно известны, в Греции 12 кг железа стоили как 6 г серебра, то есть, железо было в 2000 дешевле (Muhly, 1980, p. 53). Соответственно, изменение соотношения цен, по сравнению с ранними ценами на железо, в 80 000 раз! Если бы был хоть какой-то шанс развить имевшуюся технологию получения железа, это бы было сделано.

Нельзя допускать и вариант изготовления изделий из самородного железа, которое встречается в природе, скорее, как исключение. При этом древнее железо может содержать никель. Последнее вызывает интерес в свете еще одной гипотезы на его природу.

Она сводится к тому, что это железо имело метеоритное происхождение. Это, как будто, подкрепляется хеттскими и египетскими текстами, где железо обозначается «металлом неба», а также анализами древних изделий, которые выявили во многих из них повышенное содержание никеля, что и является признаком метеоритного происхождения сырья, из которого они изготовлены (Waldbaum, 1980). Метеоритное железо содержит 4—10% никеля, а земное и металлургическое меньше, 1—2%. Обрабатывать такое железо было несложно: при низких концентрациях никеля метеоритное железо легко куется в холодную, лишь иногда нужны промежуточные отжиги, но при высоких концентрациях необходима уже горячая ковка (Tylecote, 1987, p. 99, 103). Последнее достаточно важно, так как в железоделательном производстве сложности связаны не столько с проблемой получения железа, сколько с его последующей обработкой. Но и с никелевым железом на ранних стадиях было много ограничений. Эскимосы, например, делали из метеоритного железа вкладышевые ножи, но не могли делать длинные отковки (Coghlan, 1956, p. 29).

Необходимо учитывать еще одно обстоятельство. Приведенное выше количество железных предметов в ПБВ Ближнего Востока не так мало, с учетом того, что железо сохраняется гораздо хуже меди в археологических слоях. К тому же, до нас доходит совершенно ничтожная доля предметов любого типа, циркулировавших в древности. Поэтому мы должны принять гипотезу об активном поиске метеоритов на Ближнем Востоке, точнее, в некоторых избранных районах Ближнего Востока? Металлическое железо вообще редко. В Европе встречается меньше метеоритного железа, чем в Америке и Сибири, а самородное достаточно крупных размеров известно лишь в Гренландии. Должны ли мы считать, что на Ближнем Востоке была иная ситуация? Поэтому уже давно была высказана гипотеза о том, что, поскольку железо появляется в эпоху бронзы, связано оно не с этими источниками, а с плавкой меди, тем более, что встречается и земное железо с примесью никеля (Tylecote, 1987, p. 96, 98).

Однако, далеко не все древние изделия содержат повышенные концентрации никеля. В частности, в одном кинжале из Аладжа-Хейюк примеси никеля отсутствуют, что указывает на его земное происхождение. Кроме того, метеоритное железо содержит обычно от 6 до 20% никеля, а его содержание во всех изделиях этого памятника менее 2—3%. Следовательно, все объекты этого анатолийского памятника эпохи ранней бронзы сделаны из земного железа. Предполагается, что оно получено из самородного железа или из руды. Более определенно по этому поводу сказать нельзя, так как отсутствуют соответствующие аналитические данные. Нет уверенности даже относительно характера многих железных изделий. В частности, предполагается, что знаменитая железная булава из Трои II сделана из куска железного оксида (Yalcin, 1999, p. 180).

Вообще, различить земное и метеоритное железо трудно. Эта проблема актуальна для большинства ближневосточных изделий, которые, будучи редкими находками, являются большой музейной ценностью, и недоступны для аналитиков. Однако ред-

кие анализы, например, изделий из того же Аладжа-Хёйюк (II тыс. до н. э.) показали присутствие шлаковых включений, поэтому они могут быть получены из руды. Но уверенности и в этом случае нет, так как эти включения могли образоваться при ковке. Аналогичные включения были обнаружены и в изделиях из Богазкёя (где есть также две находки шлака), а также некоторых других памятников, что позволило предполагать с XIV в. до н. э. плавку железной руды, в результате чего производство железа резко увеличилось. Источники упоминают, например, железный таз (или сосуд) весом 90 мин (45 кг) (Yalcin, 1999, p. 181, 182, 184). Первые надежные данные о получении железа из железной руды происходят из второй половины II тыс. до н. э., но находок печей и шлака этого времени нет. Самый ранний шлак происходит из архаического поселения Милета (Yalcin, 1999, p. 185; Muhly et al., 1985, p. 80).

Однако, связь даже повышенных концентраций никеля с метеоритами не безусловна. Микенские железные предметы содержали от 1—5 до 10—77% никеля. При этом, соответствующее месторождение есть на Эвбее. Поэтому железо не может быть названо метеоритным только по наличию этой примеси (Muhly et al., 1985, p. 74).

Есть еще одно любопытное наблюдение. Как правило, в анатолийском железе содержится мало никеля. В железе Месопотамии и Египта его больше. Например, одно изделие из Эль Герзех, датируемое 3500 г. до н. э., содержало 7,5% никеля. Поэтому вполне вероятно, что оно имеет метеоритное происхождение (Yalcin, 1999, p. 184).

В Египте ранние находки железа обычно содержат никель. Но есть и исключения в раннем контексте. Таким является находка культового предмета для ритуала открывания рта в храме Менкаура в Гизе, середины III тыс. до н. э., где в железе никеля нет, но есть примесь меди, поэтому это железо явно металлургическое. Встречается такое железо и в памятниках, относящихся ко времени VI династии (2423—2263 гг. до н. э.). Увеличивается количество железа в Амарнский период (XIV в. до н. э.). Наряду с металлургическим встречается много метеоритного железа, но предполагается, что плавок железа в Египте не было, так как нет даже надежных терминов, связанных с железодельным производством. И присутствие железа объясняется контактами с Малой Азией (Amborn, 1976, S. 49—51, 57). Тем не менее, собственная обработка железа в Египте существовала достаточно рано. Уже в гробнице Тутанхамона 19 железных изделий, судя по их типологии, явно сделаны в Египте (Snodgrass, 1980, p. 365).

Традиционная же связь производства железа с Анатолией и более низкие концентрации никеля в анатолийском железе, по-видимому, не случайны. Дело в том, что рудное железо может иногда содержать никель. Пиасковский (1988)¹ полагает, что источником рудного железа могли быть речные пески севера Анатолии, где зафиксировано высокое содержание никеля, и, по его мнению, железо халибов Аристотеля происходило оттуда (Yalcin, 1999, p. 184). Железо халибов выглядело как серебро и не окислялось. Халибы и их железо описаны в эллинистическом источнике *De mirabilibus auscultationibus*, и, по-видимому, этот источник Аристотелю приписывается ошибочно. Но следует иметь в виду, что мнение Пиасковского о том, что это железо должно было содержать значительные примеси никеля, базируется не на аналитических данных, а на параллелях с железными изделиями в Европе, датируемых I тыс. до н. э. (Muhly et al., 1985, p. 74).

Связь производства железа с Анатолией подчеркивается также тем, что в хеттской Анатолии железо часто использовалось для бытовых предметов, в то время как на остальном Ближнем Востоке для декоративных и престижных. Если судить по текстам из Мари, железо производили в Анатолии (Muhly et al., 1985, p. 73, 75). Источники Староассирийского периода называют Каппадокию районом, откуда железо поступало в Вавилонию (Reiter, 1999, p. 168).

¹ Мнение этого автора приводится по другой публикации (Yalcin, 1999).

Кроме того, имеются четкие описания, указывающие на искусственное производство железа и на большую сложность этого процесса. В частности, в том же письме Хаттусили III к Салманасару говорится: «Относительно хорошего железа, о котором ты упоминаешь в своем послании, на складе в Киццуватне нет хорошего железа. Я писал тебе, что сейчас не подходящее время для производства хорошего железа. Они будут делать железо, но пока еще не закончили. Когда они закончат, я пришлю его тебе. Пока я посылаю тебе железное острие (кинжал?)». Из этого отрывка также следует, что железо изготавливали не в столице, и его производство находилось под контролем царя. Не исключено, что он требовал, чтобы все произведенное железо сдавали (Yalcin, 1999, p. 183).

По этой причине, большинство исследователей допускает значительную долю метеоритного железа среди древних изделий Ближнего Востока, но полагает, что существовала какая-то не вполне понятная сейчас технология извлечения железа из железных руд (Waldbaum, 1980, p. 80, 88). Чарльз считает, что древнее железо получали при плавке медной руды с использованием железосодержащих флюсов, которые в случае дефицита силикатов могли дать железо при плавке меди. По мере роста достигаемых температур и изменения баланса CO/CO₂ росло и производство железа (Charles, 1980, p. 165, 166; Charles, 1992, p. 24, 25).

Из выше приводимой переписки Хаттусили и Салманасара видно, что существовало некое «хорошее железо», и речь здесь идет, вероятно, не только о качестве. Возможно, хотя это надежно и не подтверждено, что хетты под хорошим железом понимали сталь. Из текстов можно понять, что они знали науглероженное железо. Вместе с ку-неиформным термином AN.BAR существовал термин AN.BAR.SIG. Другое обозначение для стали (*habalkinu*) известно из Амарнских табличек. В письме миттанийского царя Тушратты к фараону Аменофису III (1413—1375 гг. до н. э.) различаются кинжалы из железа и стали. Видимо только с хеттского времени появляются первые данные по метеоритному железу, отсутствующие на самом деле в более ранних археологических источниках. Вероятно, термин AN.BAR обозначал земное железо, а AN.BAR.GE₆ метеоритное. Однако, термин «железо неба» не всегда обозначал железо метеоритное, поскольку само небо может описываться в текстах как железо, например «железное небо». Речь идет, таким образом, о цвете. Существовало, видимо, различие железа металлургического и железа метеоритного, хорошего железа и белого, и совершенно не ясно, что понималось под последним термином (Yalcin, 1999, p. 183, 184). Вместе с тем, есть обозначения для железа, взятого из печи — AN.BAR ŠA GUNNI. В одном тексте может различаться AN.BAR ŠA GUNNI и AN.BAR.SIG₅, или «хорошее, чистое железо» (Гиоргадзе, 1988, с. 244). Другой текст упоминает 22 кусочка железа, взятых прямо из печи. Г. Гиоргадзе солидарен с большинством исследователей, рассматривая AN.BAR в качестве термина для обозначения земного железа, а AN.BAR.GE₆ метеоритного. Последний термин означает, скорее, «черное железо», но он часто сочетается с термином AN.BAR perišaš («небесное железо»), поэтому его рассмотрение как метеоритного, видимо, правомерно¹. Но если уточнение отсутствует, а употребляется термин AN.BAR («железо»), то речь идет о земном железе (Гиоргадзе, 1988, с. 243, 244). Различение «хорошего железа» (или стали?) и «железа из печи», как будто указывает на то, что его не получали при непосредственной плавке руды, хотя, в данном случае могло иметься в виду лишь качество. «Черное железо» уступало по качеству «чистому железу», но было лучше «железа» (Гиоргадзе, 1988, с. 245).

Существует еще один парадокс. Если исходить из текстов, где AN.BAR земное железо, а AN.BAR.GE₆ метеоритное, то выплавленное было известно раньше, но это лишь теоретическая возможность. Это различие есть уже в эпосе о Лугальбанде. Эпос от-

¹ То же сопоставление можно сделать и на более поздних абхазских источниках, что подкрепляет данную версию (см. Ардзинба, 1988, с. 270, 271).

ражает события периода РД 2, но до нас он дошел в текстах Старовавилонского периода, поэтому в данном случае это может быть лишь отражением более поздней ситуации (Muhly et al., 1985, p. 75). Вместе с тем, мы вправе допускать, что само употребление метеоритного железа стало возможным потому, что металлурги были уже знакомы с железом металлургическим. В пользу такого предположения может говорить еще один факт. В контексте III тыс. до н. э. лишь две вещи из Урука и Ура в Месопотамии периода РД 2 содержат никель. Поэтому предполагается, что это железо может быть метеоритным. Другие вещи этого времени никеля не содержат, и происходят, видимо, из земного выплавленного железа. В противоположность этому, российский шумеролог А.А. Вайман полагал, что термин AN обозначал метеоритное железо, а AN.BAR явилось уже более поздней модификацией, указывающей на начало плавок (Muhly et al., 1985, p. 75). Но даже это говорит о раннем знакомстве с металлургическим железом на Ближнем Востоке.

Сталь появляется со II тыс. до н. э., но технология ее получения также не ясна. Тем не менее, с 1200 г. до н. э. сталь широко распространяется во многих регионах (Muhly et al., 1985, p. 81). По мнению древних греков, изобретателями стали были халибы, жившие на юго-востоке Черного моря и имевшие различные отношения с хеттами, митаннийцами и урартами. Сталь, в принципе, можно получать двумя способами: плавить из руды, а также науглероживать железо и быстро остужать его. В I тыс. до н. э. использовались оба этих способа (Yalcin, 1999, p. 185). Позднее, с конца этого тысячелетия и в Средние века, в Иране, Индии и Средней Азии для изготовления стали использовали два способа — дамасский (сплав в тигле высокоуглеродистого и низкоуглеродистого железа с получением стали с характерным дамасским узором) и индийский (нагревание железа с органическим материалом и медленным остыванием) (Feuerbach et al., 1998). Однако весьма сомнительно, чтобы какой-то из этих способов использовался в Анатолии в древнюю эпоху.

Существуют, хотя и весьма ограниченные, аналитические данные, подтверждающие наличие раннего металлургического железа в Восточном Средиземноморье, приводимые в работе Мьюли и соавторов (Muhly et al., 1985, p. 76, 78, 79).

Один изученный образец происходит из Богазкёя в Анатолии. Предполагается, что это шпейза (арсенид металла), так как в образце присутствует слой сульфида железа и железного арсенида, с включениями силикатного шлака. Мьюли и соавторы реконструировали процесс следующим образом. Плавильщик использовал для плавки арсенипирит или иной минерал, содержащий железо, серу и мышьяк. В результате плавки на дне формируется железо, выше его сульфид железа с мышьяком. Еще выше должна лежать изученная фаза, а над ней шлак. Изученный материал не мог быть ковким. В северо-западной Турции есть месторождение железа с повышенным содержанием мышьяка. Однако оно отдалено от Богазкёя, и я не уверен, что это месторождение может рассматриваться в качестве источника данной плавки. Вторая находка из Богазкёя — ручка топора с включениями перлита. Перлит формируется при медленном остывании и содержит также фазу с углеродом. Лезвие топора более науглерожено. Но возможно, это все было вызвано большей длительностью кузнечных операций, что и приводило к данному эффекту, и мы не должны искать в этом признаки целенаправленного процесса получения стали. Из Аладжы изучено три вещи. Первая представлена острием. В металле зафиксирована структура феррита, со следами перлита. Есть мелкие включения шлака. Все эти признаки типичны для доменного шлака. В Тиринфе, из слоя периода Позднеэладский III происходит железисто-мышьяковый предмет. Но размер его невелик, и Килиан полагает, что это тоже шпейза, а не полученный металл для изготовления изделий. Из этих данных Мьюли с соавторами сделали следующие выводы. Древние металлурги плавил железо, возможно, из арсенипирита. Образец шпейзы

показывает, что хетты не могли нормально контролировать процесс плавки. Они не имели достаточных навыков, и не знали нормального науглероживания.

Более спорные данные по ранней металлургии железа происходят из Западного Средиземноморья. Предполагается, что уже в СБВ Иберии были попытки плавить железную руду (поселения Эль Трастехон и Солана дель Кастильо де Аланхе), так как в шлаке этого времени выявлены вюстит и фаялит (Hunt Ortiz, 2003, p. 334). Но эти минералы характерны и для плавок медных руд, в особенности халькопирита. Поэтому это обоснование несущественно, хотя низкое содержание меди (32 и 126 ppm) для медной плавки действительно странно. Однако шлак негомогенен, вероятно, необходимы дополнительные анализы.

Подытоживая сказанное, отметим, что на Ближнем Востоке, судя по письменным источникам и аналитическим данным, было известно метеоритное железо. Вместе с тем, использовалось и металлургическое железо, получаемое в печах. Последнее различалось по качеству, и мы можем даже допускать знакомство со сталью. Отдельные термины, например, «белое железо» не ясны. Но следует иметь в виду, что в разных текстах для обозначения одного вида продукции могли использоваться разные термины. Поэтому принципиально можно говорить о знакомстве с железом метеоритным, металлургическим и о стали. Вывод о стремлении получить железо из арсенопирита представляется мне сомнительным, но речь может идти об использовании в плавку сульфидных минералов, содержащих железо и мышьяк.

Существует еще один парадокс в данных письменных источников. Некоторые источники рубежа III/II тыс. до н. э. позволяют предполагать, что железо было шлаком при плавке меди (Иванов, 1983, с. 108).

Однако, не столько это, сколько сама логика развития металлургии, заставляет искать истоки изготовления первых железных изделий в медной металлургии. Это предположение базируется на том, что в медных рудах часто содержится железо. Поэтому, по мнению некоторых исследователей, первые железные изделия были получены случайно из медной руды (Yalcin, 1999, p. 185).

Понять сущность этой технологии помогают образцы шлака эпохи поздней бронзы Северной Евразии. Мы видели, что в это время происходит ряд существенных технологических сдвигов. В первую очередь, резко выросли температуры, достигаемые в процессе плавки: предел 1300—1400 °С становится достаточно типичным, но можно предполагать и достижение 1500 °С. Кроме того, в это время в ряде культур начинается активное использование халькопирита, что выражено в появлении минералогических групп VI, VII. И во многих шлаках обнаружено металлургическое железо.

Изученные шлаки этих минералогических групп довольно четко указывают на характер металлургических реакций, происходящих в ходе плавки халькопирита. На первом этапе происходит его распад на сульфиды меди и железа. Первые, имея низкую точку плавления, расплавляются и покидают рудное тело. Вторые, по мере выгорания серы и обогащения кислородом, переходят в вюстит (FeO). При этом точка плавления новообразованного минерала резко понижается, что приводит к появлению оплавленных структур, которые могут распадаться в оплавленные дендриты. В случае сохранения восстановительной атмосферы, вюстит может перейти в железо, хотя и далеко не весь, поскольку значительная часть его, взаимодействуя с силикатным компонентом, формирует фаялитовый расплав. Таким образом, количество железа, получаемого в ходе подобной плавки, будет зависеть не только от атмосферных, но и от соотношения кислотных и основных окислов в шихте.

В результате, создавались условия, при которых можно было получить определенное количество восстановленного железа. Иногда это приводило к образованию сплавов меди и железа, содержащих различные пропорции этих двух компонентов. В микро-

структуре шлака это отражено включениями мелких корольков металла, имеющих оптические характеристики, промежуточные между характеристиками меди и железа. На использование меди, выплавленной из халькопирита и содержащей значительные примеси железа, указывал Е. Н. Черных, анализирувавший метал Сосновомазинского клада (Черных, 1970, с. 19).

Исследование металлургических печей в Миттерберге (Австрия) позволило сделать вывод о том, что, начиная с эпохи средней бронзы (что соответствует ПБВ на востоке), металлурги осуществляли плавку халькопирита. При этом на поверхности черновой меди образовывалась прослойка, обогащенная железом (Preßlinger, Eibner, 1987, S. 237—239).

Вместе тем в некоторых шлаках зафиксированы включения металлического железа, представленного тоже оплавленными корольками. Последнее вовсе не указывает на то, что в ходе плавки была достигнута температура плавления железа. Скорее всего, железо восстановилось из королька вюстита, имеющего невысокую температуру плавления. Второй вариант — науглероживание железа, что резко снижало температуру его плавления.

Наиболее замечателен образец № 66, происходящий с Верхней Алабуги. Он представлен кусочком восстановленного железа, имеющего дендритную анизотропную¹ структуру (рис. 11-22). Формирование этой структуры связано, по-видимому, с плавкой халькопирита. Химический анализ выявил преобладание в образце чистого железа с примесью меди, силикатов и некоторых иных компонентов (таб. 11-19, 11-23). Последующее использование этого железа требовало его дальнейшей переработки.

Исследования этого образца Р. Швабом в Институте археометаллургии Горной Академии Фрайберга показали, что железо науглерожено, и мы можем, соответственно, говорить о стали (рис. 13-1). Таким образом, иногда создавались условия для науглероживания железа, и речь не идет о процессе намеренного производства стали.

В небольших количествах включения восстановленного железа были выявлены во многих образцах эпохи поздней бронзы: на нескольких стоянках Аякагитминской и Буш-Булакской котловин в Средней Азии, на поселениях Усть-Кенетай и Кара-Тюбе в Восточном Казахстане, Коршуново, Верхняя Алабуга и Вишневка в Западной Сибири, Новокизганово, Юкалекулевское, Байгильдино, Новобарятино, Аитово и Верхнебиккузино в Башкирии, Шигонское и Попово Озеро в Поволжье, Мосоловское в Подонье, Акшубень в Прикамье. Примечательно, что эти находки чаще приурочены к наиболее северной части исследуемого региона, где более характерна плавка халькопирита (рис. 13-2).

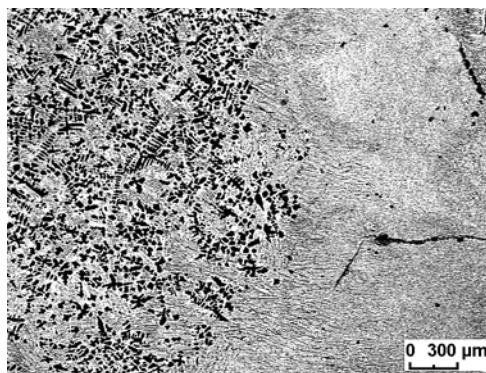


Рис. 13-1. Науглероженные включения в железе (обр. 66) с поселения Верхняя Алабуга

Таким образом, в эпоху поздней бронзы в Северной Евразии существовали условия для попутного получения железа в ходе плавки сульфидной медной руды, что должно стимулировать поиски свидетельств использования подобного железа. Отдельные факты в пользу такого использования есть. Еще Б. Н. Граков отмечал обнаружение железных изделий в слое эпохи поздней бронзы (Граков, 1958, с. 8, 9). Особенно важен тот факт, что железные изделия известны также на поселениях, на которых обнаружены шлаки, содержащие включения железа, например, Мосоловское поселение (рис. 13-3) (Пряхин, 1996, с. 55). Представляется весьма вероятным, что были и иные подобные находки, но либо сам факт их обнаружения вне привычного контекста смущал исследователей,

¹ Железо, как и иные металлы, изотропно, но при полировке иногда появляется эффект анизотропии.

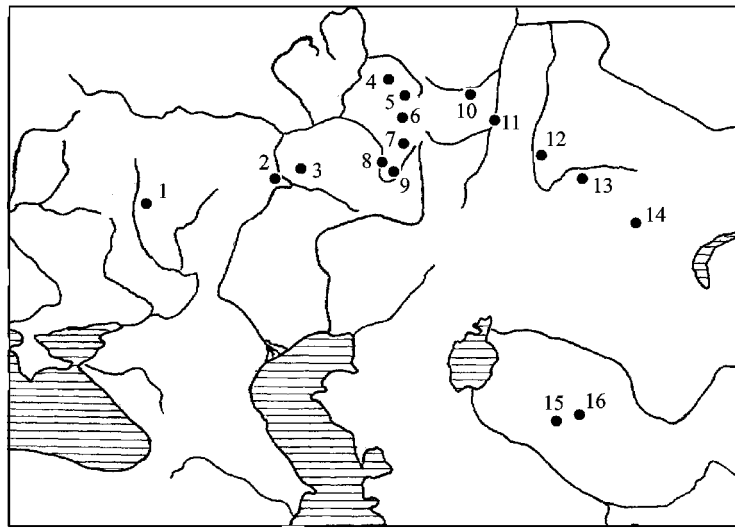


Рис. 13-2. Находки медных шлаков с включениями железа: 1 — Мосоловское, 2 — Шигонское, 3 — Попово Озеро, 4 — Новокизганово, 5 — Юкалекулевское, 6 — Байгильдино, 7 — Новобарятино, 8 — Аитово, 9 — Верхнебиккузино, 10 — Коршуново, 11 — Верхняя Алабуга, 12 — Вишневка, 13 — Усть-Кенетай, 14 — Кара-Тюбе, 15 — Беш-Булак, 16 — Аякагитма

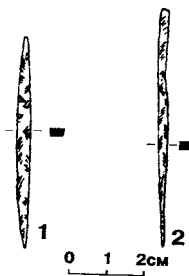


Рис. 13-3. Железные изделия с поселения Мосоловское (по А. Д. Пряхину, 1996)

либо их не слишком четкая стратиграфическая позиция. Для белозерской культуры Северного Причерноморья известно уже достаточное количество железных предметов, преимущественно ножей и кинжалов. В целом, в ПБВ известны десятки предметов в срубной и сабатиновской культуре и 33 предмета культурах финальной бронзы, из которых 25 найдено на памятниках белозерской и бондарихинской культур. Основная масса находок приурочена к Подонью. Предполагается, что это уже попытки кричного производства (Корякова и др., 2011, с. 11). Иногда допускается, что это были не местные попытки, и эти изделия были импортированы из Балкано-Дунайского региона (Никитенко, 1998).

Я думаю, что в случае с белозерской и бондарихинской культурами конца эпохи бронзы мы должны говорить о принципиально иных технологических схемах получения железа, основанных на плавке собственно железной руды (этого мы коснемся в следующей главе). Но более ранние комплексы могут отражать попутное извлечение железа при плавке медной руды. В Донбассе, на поселении Пилипчатино 1 в слое XIV—XII вв. до н. э. рядом с медеплавильными горнами найден железный слиток весом до 0,4 кг с повышенным содержанием меди, что объясняется плавкой сульфидной медной руды и отклонением от температурного режима при длительном времени плавки (Татаринов, 1986, с. 36; 2003, с. 197).

Все сказанное о ситуации в Северной Евразии в значительной степени относится и к ближневосточной. Вероятно, часть железа на Ближнем Востоке получали действительно из метеоритов. На это указывает этимология терминов для обозначения железа («железо неба» у египтян и «черное железо неба» хеттов¹) (Waldbaum, 1980, p. 79). Вместе с тем, принятие в качестве маркера для метеоритного железа наличия примеси никеля (что свойственно очень многим ближневосточным изделиям) следует признать необоснованным. Никелесодержащее железо могло быть произведено и при плавке медной руды. Теоретически это, на первый взгляд, невозможно, поскольку в системе

¹ Выше мы указывали, что это могло отражать и цветовые характеристики, что вообще типично для древних обозначений металлов (см. Иванов, 1983).

Ni—Cu—Fe никель будет полностью переходить в медь. Однако в более сложных системах, с участием мышьяка, никель будет распределяться между железом и медью. Кроме того, следует учитывать, что в металлургическом производстве отдельные химические процессы могут быть разделены в пространстве и во времени. Поэтому в чистом виде системы Ni—Cu—Fe могло не существовать. Этому есть и экспериментальные подтверждения. В некоторых случаях никель распределялся равномерно между железом и медью (Tylecote, 1981, p. 48).

Легирование меди мышьяком имело место в Анатолии и в Закавказье, начиная с IV тыс. до н. э. На материалах синташтинской металлургии достаточно хорошо видно, что легирование осуществлялось на стадии плавки руды каким-то мышьяковым минералом с высоким содержанием никеля. Последний компонент был нужен для удержания мышьяка в металле. И это единственная возможность легировать металл мышьяком.

Поэтому мы вправе допускать использование подобного способа легирования и на Ближнем Востоке. В этом случае соотношение железных изделий с никелем и без него указывает не на соотношение метеоритного и металлургического железа, а на соотношение легированного и нелегированного металла. Использование никельсодержащей бронзы в Передней Азии известно достаточно широко. Повышенные же концентрации никеля в древнем железе этого региона иногда сопровождаются более высокими концентрациями мышьяка (Piaskowski, 1991, tab. 1). Не следует забывать и о том, что, коль скоро речь идет о плавке халькопирита, сульфидные медные руды часто бывают сильно загрязнены различными примесями, включая мышьяк и никель.

Существуют и иные свидетельства попутного получения железа при плавке медных руд на Ближнем Востоке.

В наиболее древних железных изделиях встречается примесь меди, например, в изделиях из Тепечик содержание меди составляло 6,12 и 2,19% (Yener et al., 1994, p. 383).

В крупном горнодобывающем центре Тимна, на самом юге Палестины, выявлено совместное производство меди и железа при медной плавке в медеплавильных печах XIV—XII вв. до н. э. Этот вывод проверен с помощью исследования изотопов свинца в медных и железных изделиях (Gale et al., 1990, p. 182—191).

В Алалахе (XV в. до н. э.) обнаружен сплав меди с железом (Wertime, 1980, p. 15).

Проведенные Мьюли и Маддином на Кипре эксперименты с плавкой халькопирита без использования флюсов привели к получению некоторого количества металлического железа в шлаке (Wertime, 1980, p. 16). Эксперименты Тайликота с окисленной медной рудой, содержавшей значительное количество окислов железа, были тоже достаточно успешными (Tylecote, 1980, p. 188, 189).

Вызывает интерес и сырье, из которого производили железо. В староассирийских текстах термином *amutum* обозначено железо рудного происхождения. Сырьем для его получения служил *asi'um*. Предполагается, что это какая-то железная руда, но не гематит, поскольку ей торговали. Скорее этим термином обозначен какой-то металл (Muhly, 1980, p. 35, 36). Можно предположить, что речь идет о железе — продукте плавки халькопирита, требовавшем дополнительной переработки.

Возможности же для получения железа из халькопирита в Передней Азии существовали давно. На Кипре использование сульфидов началось в середине IV тыс. до н. э. и к концу тысячелетия распространяется довольно широко. С этого же времени известны и мышьяковые лигатуры (Zwicker, 1987, S. 194, 199). Более ранние единичные железные изделия могут быть изготовлены отчасти из метеоритного железа, отчасти из железа, полученного при плавке меди с использованием железистых флюсов. Хотя и для этого периода мы не можем исключить эпизодическое поступление в плавку сульфидных руд.

Безусловно, подобный способ производства железа не мог обеспечить устойчивого результата. Принципиальную возможность для этого давали два обязательных фактора:

наличие восстановительной атмосферы в печи, которой способствовала сульфидная руда (сера при горении забирает избыток кислорода), и преобладание железистых оксидов над силикатными. В противном случае вюстит образовывал фаялит, соединяясь с силикатными оксидами. Лишь избыточный вюстит в случае восстановительной атмосферы мог перейти в железо. Все это объясняет редкость и дороговизну этого металла, а также наличие упоминаний о плохом и хорошем железе. При наличии в железе не восстановленных окислов или серы, железо утрачивало ковкость, хотя визуальные его характеристики не слишком отличались. Не исключено, что непосредственно в печи могли создаваться условия и для получения стали.

На этом фоне особый интерес представляют находки древнейших железных предметов Восточной Европы в ямных курганах Оренбуржья, датируемые III тыс. до н. э. Они представлены долотом, биметаллическим теслом с рукоятью из меди и рабочим концом из железа, и дисковидным предметом. Исследования этих предметов под микроскопом позволили сделать вывод о том, что они изготовлены из метеоритного железа (Терехова и др., 1997, с. 33—39). В целом же в ямных комплексах РБВ обнаружено 24 предмета из метеоритного железа и 21 предмет выявлен в одновременных афанасьевских комплексах Южной Сибири. Один предмет происходит из катакомбного погребения периода СБВ, но в данном случае допускается возможность кричного характера железа (Корякова и др., 2011, с. 11). Вывод о метеоритном характере раннего железа полностью соответствует обосновываемым здесь положениям, поскольку в Южном Приуралье медная минерализация приурочена к медистым песчаникам, в которых отсутствуют первичные сульфиды. Она представлена почти исключительно окисленными рудами, при плавке которых железо восстановиться не могло. В особенности это было невозможно сделать в столь ранний период. Вероятно, на окисленных рудах базировалась и афанасьевская металлургия.

Таким образом, большая часть древнейших железных изделий Ближнего Востока и Восточной Европы (исключая изделия ямной эпохи), в том числе содержащие примесь никеля, была не метеоритного, а металлургического происхождения. Есть серьезные основания утверждать, что железо для их изготовления получено, главным образом, в качестве сопутствующего продукта при плавке медных руд, в первую очередь, сульфидных. Иногда его могли получать за счет восстановления железистых флюсов, но тогда необходима восстановительная атмосфера, и при плавке окисленной руды это все равно невозможно. С этим связана нестабильность его получения, редкость и дороговизна. Расширение добычи сульфидных руд вело к постепенному росту количества железных изделий. Однако говорить о начале металлургии железа на этом основании нельзя.

Некоторых исследователей смущает пассаж из хеттской переписки, где говорится про неподходящее время для производства железа. Поэтому предполагается, что существовала какая-то особая, непонятная современному исследователю технология. Однако это может объясняться простым обстоятельством — сезонностью работы на медных рудниках. Не исключено, что горные работы в зимнее время в анатолийских горах не производились. Кроме того, в большинстве регионов мира с переходом на плавку сульфидных руд осуществляется перенос плавильного процесса с поселений на месторождения. Отчасти это связано с тем, что при этом выделяется большое количество удушливого сернистого газа. Поэтому и плавильный процесс мог иметь сезонный характер.

Таким образом, существенные технологические изменения, произошедшие в волго-уральской металлургии в начале ПБВ, были стимулированы импульсами с Ближнего Востока. Этими импульсами привнесены первичные знания о получении, обработке и использовании железа. Но можно ли связывать технологию плавки халькопирита и попутное получение железа с последующей истинной металлургией железа из железной

руды? Вероятно, нет, так как сырьем для последующего производства железа служили окисленные руды. В Африке, например, для получения железа всегда использовались разные оксиды (Amborn, 1976, S. 4). А вышеописанная технология построена на плавке сульфидной руды. Соответственно, речь идет о различных химических процессах. И мы видели, что в большинстве районов, где плавил только окисленную руду, технология плавки была плохо выдержана, и это приводило к окислительной атмосфере и купритизации расплава. В этих условиях получить железо невозможно, и в шлаках этой плавки железа нет. Необходимые температуры металлургии получать уже имели, но создавать в печи требуемый для плавки железа баланс CO/CO_2 еще нет. То есть развитие технологии ПБВ подготовило появление металлургии железа в виде знакомства с ним во многих регионах, появления навыков обработки, умения достигать высоких температур. Но нужны были какие-то дополнительные инновации в области плавки окисленных руд, которые привели к умению плавить их в условиях восстановительной атмосферы. Поэтому не исключено, что эти инновации появились в тех районах, где плавил именно окисленные руды.

И в этом плане интересно то, что в конце эпохи бронзы на востоке формируется уже обсуждавшийся блок культур: карасукская, ирменская, бегазы-дандыбаевская, в которых наблюдается возврат к плавкам окисленных руд. Причем, эти культуры имеют ближневосточное происхождение, и возникают в то время, когда на Ближнем Востоке появляется металлургия железа. В этой связи вызывают интерес факты, приводимые А. Х. Маргуланом. На некоторых поселениях бегазы-дандыбаевской культуры (Каркаралы III (Суукбулак), Шортанды-Булак) обнаружены куски отсортированной железной руды, железный шлак, железные наконечники стрел, сходные с бронзовыми прототипами этой культуры. На двух других поселениях (Тагибайбулак в Баянаульском районе и Самембет в Каркаралинском районе) найдены железный крючок и обломок железной иглы с петельчатым ушком. Из этого сделан вывод, что начальный этап плавки железа в Центральном Казахстане должен быть отнесен в доскифское время (Маргулан, 2001, с. 73).

Глава 14. Metallургическое производство в раннем железном веке

Исследование характера metallургического производства в Северной Евразии в раннем железном веке не является задачей настоящей работы, поэтому отбор образцов этого времени, практически не производился. Весьма ограниченное количество образцов было привлечено в изучаемую выборку с одной целью — наметить в наиболее общих чертах пути развития metallургии после завершения эпохи бронзы. Однако даже этот ограниченный анализ вывел на серию сложных проблем, решение которых требует, к сожалению, привлечения значительного массива материала.

В этот период происходит очередное резкое изменение системы производства в Северной Евразии и перестройка территориального разделения труда. Вызвано это резко возросшим по сравнению с эпохой бронзы контрастом между степными и лесными культурами. С проникновением в степную зону новых племен и распространением кочевого скотоводства производство в степи на какое-то время исчезает. Не исключено, конечно, что это впечатление мнимое, поскольку работы, производимые в древности на рудниках, трудно датировать, а уже в эпоху поздней бронзы, судя по всему, наметилась тенденция к переносу производства ближе к рудникам. К тому же сами районы рудников изучены в степной зоне крайне слабо. Тем не менее, если подобное производство и существовало, оно, видимо, было достаточно ослаблено. Косвенно на это указывает бурный рост производства в горно-metallургических центрах лесных и горных районов Урала и Алтая. Во всяком случае, рост производства иткульского metallургического очага исследователи склонны объяснять именно тем, что оттуда шли поставки металла кочевникам. Причем эти поставки не ограничивались металлом, отправлялись готовые изделия, на что указывает обилие литейных форм на иткульских памятниках (Бельтикова, 1993, с. 100; 1993а).

В лесном Зауралье в начале раннего железного века формируется иткульская культура, датируемая VII—III вв. до н. э. (см. Бельтикова, 1993, с. 95; Таиров, 2000). Традиционно ее происхождение связывают с предшествующей межовской культурой эпохи поздней бронзы. Однако серьезных оснований к этому нет. У нас, практически, нет возможности для датировки межовских комплексов даже концом II тыс. до н. э. (Григорьев, 2000б, с. 391, 392). Более оправдана, по-видимому, гипотеза о том, что вся свита культур раннего железного века от Западной Сибири до Приуралья формируется в результате восточного импульса в конце эпохи бронзы (Акишев, 1973; Григорьев, 1999, с. 289—291; Итина, Яблонский, 2001, с. 108; Боталов, 2003; Таиров, 2003, с. 46). Причем, этим импульсом дело не заканчивается. Формирование степных культур раннего железного века в VII в. до н. э. было сложным процессом, обусловленным миграциями из Центральной Азии и воздействием этого населения на север, что оказало влияние и на иткульскую культуру. Это выразилось в формировании в уральских и казахстанских степях тасмолинской культурной общности. Но в конце VI — начале V вв. до н. э. на эту основу накладываются группы пришедших из Восточной Европы скифов, а также две волны азиатских кочевников — из Приаралья и Восточного Туркестана (Северный и Северо-Западный Китай) (Таиров, Гуцалов, 2006, с. 312—315).

В какой-то степени эти процессы подтверждаются и исследованиями metallургического производства.

Metallургия меди

Важной частью metallургического производства эпохи раннего железного века является metallургия меди. Для данного исследования те ограниченные анализы медных

Спектральный анализ (%) шлаков памятников раннего железного века
 Анализ выполнен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосurvey».

Пометка	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ca	Y	Yb
Иткуль	39	0.005	0.003	0.007	0.07	0.15	0.3	0.0015	0.0003	>1	0.1	0.015	0.00007	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.015	<0.001	0.00005	0.0002	nd	0.001	0.015	0.001
Иткуль	40	0.003	0.001	0.007	0.1	0.02	0.2	0.002	0.00015	>>1	0.1	0.005	0.00007	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.00015	0.015	<0.001	<0.0005	0.0002	nd	0.001	0.003	0.00015
Руда	43	0.005	0.002	0.007	0.1	0.02	0.2	0.002	0.00015	>>1	0.1	0.005	0.00007	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.00015	0.015	<0.001	<0.0005	0.0002	nd	0.001	0.003	0.00015
Звонец	444	0.015	0.002	0.02	0.03	0.01	0.5	0.0015	<0.0003	0.02	0.007	0.001	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.01	<0.001	0.0003	0.0002	0.02	0.0015	0.003	0.0002
Засеяно	161	0.002	0.0015	0.001	0.3	0.02	0.5	0.001	0.00015	0.02	0.015	0.0007	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.00015	0.015	<0.001	0.0007	0.00003	0.003	<0.001	<0.001	0.0001
Думная	606	0.0007	0.0007	0.003	0.2	0.001	0.05	<0.0005	0.001	>>1	0.015	0.0007	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.0001	0.01	<0.001	0.0015	<0.00003	nd	0.001	<0.001	<0.0001
Думная	607	0.003	0.002	0.001	0.1	0.005	0.05	<0.0005	0.003	>1	0.07	0.003	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	nd	0.0005	<0.001	<0.0001
Думная	608	0.002	0.001	0.001	0.1	0.003	0.1	0.0005	0.0015	>1	0.015	0.003	0.00005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	nd	0.0005	<0.001	0.0001
Думная	609	0.002	<0.0003	0.0015	0.05	0.003	0.07	<0.0005	0.001	>1	0.05	0.001	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.001	<0.00003	nd	0.001	<0.001	0.0001
Думная	610	0.001	0.002	0.001	0.1	0.005	0.1	0.0005	0.0015	>1	0.015	0.003	0.00005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	nd	0.0005	0.0015	0.00015
Думная	611	0.0015	0.001	0.0015	0.07	0.007	0.2	0.0015	0.0015	>1	0.02	0.005	0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.015	<0.001	0.001	0.0001	nd	0.0015	0.005	0.0007
Думная	612	0.003	0.003	0.005	0.05	0.015	0.3	0.0015	0.0007	>>1	0.03	0.01	0.003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.03	0.015	<0.001	0.0007	0.00015	0.01	0.002	0.005	0.0002
Думная	613	0.0015	<0.0003	0.002	0.07	0.03	0.03	0.0005	0.0015	>1	0.05	0.0007	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	nd	0.0005	0.001	0.00015
Думная	614	0.005	0.015	0.005	0.05	0.01	0.2	0.002	0.0007	>1	0.1	0.007	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.015	<0.001	0.0003	0.00015	0.007	0.001	0.005	0.0005
Думная	615	0.003	0.0015	0.0015	0.1	0.0015	0.1	0.0005	0.001	>1	0.03	0.007	0.0002	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.015	0.01	<0.001	0.001	0.00003	nd	0.001	0.0015	0.00015
Думная	616	0.0015	0.005	0.0015	0.3	0.003	0.1	<0.0005	0.0007	>1	0.15	0.001	0.00015	0.0015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.0007	<0.00003	nd	0.001	0.001	0.0001
Думная	617	0.001	<0.0003	0.0015	0.2	0.003	0.1	0.0005	0.0003	>1	0.03	0.0005	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.01	0.01	<0.001	0.0003	0.00003	nd	0.0005	0.001	0.00015
Думная	618	0.005	0.003	0.015	0.07	0.01	0.3	0.0015	0.0003	>1	0.07	0.007	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	nd	0.0015	0.01	0.00015
Думная	619	0.002	0.0015	0.002	0.1	0.007	0.1	0.0005	0.0007	>1	0.015	0.003	0.00007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.05	0.01	<0.001	0.0005	<0.00003	nd	0.001	0.002	0.00015
Думная	620	0.005	0.002	0.007	0.1	0.007	0.2	0.0015	0.0007	>1	0.15	0.005	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	0.0005	0.00015	nd	0.001	0.007	0.00005
Думная	621	0.0015	0.002	0.001	0.2	0.007	0.15	<0.0005	0.0007	>>1	0.07	0.002	0.001	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	0.0005	0.00003	0.001	0.0005	0.01	0.0001
Думная	622	0.005	0.005	0.005	0.1	0.0015	0.2	<0.0005	0.0007	>>1	0.15	0.015	0.0002	0.02	0.0015	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.01	<0.001	0.0015	0.00007	0.0015	0.001	0.0015	0.00015
Думная	623	0.005	0.002	0.003	0.1	0.003	0.15	0.0005	0.002	>>1	0.15	0.015	0.0002	0.02	0.0015	<0.001	<0.001	0.00015	0.015	0.01	<0.001	0.0015	0.00007	0.0015	0.001	0.0015	0.00015
Думная	624	0.003	0.003	0.005	0.07	0.01	0.2	0.0015	0.0005	>1	0.03	0.0007	0.0005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.03	0.03	<0.001	0.0005	0.00005	0.005	0.0015	0.015	0.00015
Думная	625	0.0015	0.0007	0.001	0.2	0.003	0.15	0.0005	0.001	>1	0.1	0.005	0.00005	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.02	0.02	<0.001	0.0003	0.00005	nd	0.001	0.0015	0.00015
Думная	626	0.005	0.003	0.003	0.2	0.003	0.15	0.0005	0.001	>1	0.05	0.005	0.00015	0.015	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.03	0.015	<0.001	0.002	0.00003	nd	0.001	0.0015	0.00015
Думная	627	0.0015	0.001	0.002	0.3	0.003	0.15	0.0005	0.0015	>1	0.1	0.003	0.0001	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.03	0.01	<0.001	0.0015	0.00005	nd	0.0015	0.001	0.00015
Думная	628	0.002	0.002	0.0015	0.1	0.0015	0.07	<0.0005	0.003	>1	0.1	0.002	0.0015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.015	0.01	<0.001	0.0015	<0.00003	nd	0.002	0.0015	0.00015
Думная	630	0.0015	0.002	0.003	0.1	0.005	0.15	0.0005	0.0003	0.5	nd	0.003	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.015	0.02	0.015	0.0003	nd	0.0005	0.002	0.0003	
Думная	631	0.005	0.002	0.0015	0.1	0.007	0.15	0.001	0.002	>1	0.15	0.015	0.00007	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.015	0.01	<0.001	0.001	0.00007	nd	0.0015	0.002	0.0002
Думная	632	0.003	0.0015	0.015	0.1	0.01	0.3	0.0015	0.00015	>1	0.15	0.005	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.02	0.015	<0.001	0.0003	0.00015	0.005	0.0015	0.003	0.0003
Думная	633	0.001	0.0015	0.002	0.15	0.002	0.07	0.0005	0.001	>1	0.07	0.005	0.00015	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.00007	0.015	0.015	<0.001	0.0015	<0.00003	nd	0.001	0.0015	0.0003
Думная	634	0.0015	0.001	0.0015	0.15	0.005	0.07	0.0005	0.002	>1	0.07	0.001	0.001	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.00015	0.02	0.015	<0.001	0.0015	<0.00003	nd	0.0015	0.001	0.00015
Думная	635	0.003	0.003	0.01	0.1	0.015	0.5	0.0015	0.0015	>>1	0.1	0.015	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	0.003	0.0002	0.03	0.01	<0.001	0.0005	0.00015	0.005	0.002	0.005	0.0002
Думная	636	0.005	0.003	0.005	0.1	0.01	0.2	0.0015	0.0007	>1	0.1	0.015	<0.0003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.02	0.01	<0.001	0.0005	0.00007	nd	0.0015	0.003	0.0002
Думная	637	0.002	0.0015	0.0015	0.15	0.003	0.1	0.0005	0.002	>1	0.07	0.007	<0.0003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.1	0.015	<0.001	0.0015	<0.00003	0.003	0.0015	0.003	0.0002
Иткуль	638	0.005	0.007	0.007	0.15	0.01	0.3	0.0015	0.0007	>1	0.05	0.007	0.0001	0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0002	0.1	0.03	<0.001	0.002	0.0002	0.015	0.0015	0.015	0.001
Иткуль	639	0.007	0.02	0.005	0.2	0.01	0.2	0.0005	0.0015	>>1	0.15	0.007	0.0002	0.03	<0.003	<0.001	0.002	0.00015	0.07	0.015	<0.001	0.002	0.0001	0.01	0.0015	0.01	0.0007
Иткуль	640	0.0007	0.0005	0.001	0.1	0.007	0.07	<0.0005	0.0007	>1	0.05	0.0007	0.00003	<0.01	<0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.1	0.015	<0.001	0.0015	<0.00003	nd	0.001	0.001	0.0002
Иткуль	641	0.003	0.001	0.005	0.2	0.007	0.2	0.0015	0.002	>1	0.15	0.007	0.002	0.015	0.003	<0.001	<0.001	0.0001	0.3	0.02	<0.001	0.003	0.0001	0.007	0.0015	0.002	0.0001
Иткуль	642	0.0015	0.0003	0.001	0.15	0.01	0.1	0.0005	0.0003	0.7	0.03	0.0005	0.00003	0.005	<0.003	<0.001	<0.001	0.0003	0.3	0.01	<0.001	0.0005	0.00003	0.0015	0.001	0.0001	0.0001
Иткуль	643	0.005	0.0015	0.005	0.15	0.005	0.1	0.0005	0.002	>1	0.2																

Пометник	Материал	№	Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	As	Sb	Cd	Bi	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	
Иткуль	шлак	660	0,002	0,002	0,02	0,1	0,015	0,5	0,0015	<0,0003	>1	0,01	0,003	0,00015	0,0005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,1	0,03	<0,001	0,0003	0,0002	0,015	0,0015	0,003	0,0002	
Иткуль	шлак	661	0,001	0,0003	0,0015	0,3	0,005	0,15	0,001	0,0015	>1	0,07	0,015	0,00005	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,00015	0,1	<0,001	0,005	0,00005	nd	0,0015	0,003	0,0002	
Иткуль	шлак	663	0,002	0,001	0,0015	0,15	0,005	0,1	0,0005	0,002	>1	0,2	0,002	0,0002	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,07	<0,001	0,003	0,00003	0,003	0,0015	0,0015	0,0015	
Иткуль	шлак	664	0,002	0,003	0,0005	0,1	0,015	0,0005	0,0015	0,0015	>1	0,15	0,007	0,0002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,5	<0,001	0,01	0,00002	nd	0,001	0,007	0,0003	
Иткуль	шлак	665	0,015	0,003	0,02	0,2	0,007	0,5	0,0015	0,002	>1	0,02	0,001	0,00015	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,5	<0,001	0,01	0,00002	0,015	0,0015	0,002	0,0001	
Иткуль	шлак	666	0,003	0,003	0,003	0,3	0,01	0,15	0,0005	0,0007	>1	0,1	0,007	0,0002	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0007	0,0007	0,7	<0,001	0,003	0,00015	nd	0,0015	0,007	0,0005	
Иткуль	шлак	667	0,005	0,01	0,02	0,15	0,01	0,2	0,0015	0,001	>1	0,15	0,01	0,0005	0,03	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,00015	0,1	<0,001	0,003	0,0002	0,007	0,002	0,01	0,0007	
Иткуль	шлак	668	0,007	0,002	0,01	0,07	0,007	0,15	0,001	0,0005	>1	0,03	0,007	0,0002	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,0002	0,2	<0,001	0,002	0,00007	0,005	0,0015	0,007	0,0003	
Иткуль	шлак	669	0,007	0,002	0,015	0,1	0,01	0,15	0,001	0,0005	>1	0,05	0,007	0,0005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,0002	0,02	<0,001	0,002	0,00001	0,005	0,0015	0,005	0,0005	
Иткуль	шлак	670	0,003	0,0015	0,005	0,05	0,01	0,2	0,001	0,0015	>1	0,15	0,02	0,00015	0,005	0,0015	<0,001	<0,001	0,00015	0,00015	0,02	<0,001	0,015	0,00007	nd	0,001	0,003	0,0002	
Иткуль	шлак	671	0,002	<0,0003	0,002	0,07	0,003	0,1	0,0005	0,005	1	0,15	0,0015	0,0001	0,015	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,03	<0,001	0,007	<0,00003	nd	0,003	0,0015	0,0003	
Мальд анбисней Кордон	шлак	779	0,003	0,0015	0,007	0,15	0,0015	0,2	0,0005	0,00015	0,1	0,015	0,0015	0,00015	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0002	0,0002	0,1	0,02	<0,001	0,002	0,01	0,001	0,001	0,0015	
Партизанская Катюшка	шлак	781	0,005	0,003	0,001	0,05	<0,001	0,07	<0,0005	0,00015	0,2	0,015	0,001	0,00007	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,15	0,01	<0,001	<0,0005	0,001	0,0005	<0,001	0,0001	
Островное 3	шлак	788	0,0015	0,0005	0,002	0,2	0,01	0,2	<0,0005	<0,0003	0,015	0,01	0,0015	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00015	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	0,005	0,0005	0,0015	0,00015	
Островное 3	шлак	789	0,007	0,0015	0,015	0,05	0,015	0,5	0,002	<0,0003	0,7	0,007	0,01	0,0015	0,1	0,02	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,1	0,03	0,001	0,01	0,0003	0,02	0,0015	0,003	0,00015
Островное 3	шлак	790	0,005	0,0015	0,015	0,07	0,1	0,7	0,0015	<0,0003	0,7	0,015	0,02	0,0001	0,01	0,0015	<0,001	<0,001	0,00015	0,00015	0,15	0,03	0,001	0,00005	0,0003	0,03	0,001	0,003	0,00015
Островное 3	шлак	791	0,007	0,05	0,01	0,1	0,007	0,5	0,0015	0,00015	>1	0,015	0,05	0,0015	0,05	0,0015	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,1	0,03	<0,001	0,007	0,0002	0,02	0,005	0,002	0,0001
Островное 3	шлак	792	0,005	0,0015	0,01	0,1	0,007	0,3	0,001	<0,0003	1	0,007	0,003	0,0015	0,02	0,005	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,1	0,03	<0,001	0,015	0,0002	0,015	0,001	0,0015	0,0001
Долмагово	шлак	2033	0,02	0,003	0,005	0,1	0,003	0,02	<0,0005	<0,0003	0,05	0,01	0,0015	0,0003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0001	0,0001	0,02	0,01	<0,001	0,003	<0,00003	0,003	<0,0005	<0,001	<0,0001
Долмагово	шлак	2034	0,015	0,003	0,07	0,15	0,007	0,5	0,0005	<0,0003	0,07	0,01	0,0015	0,00005	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,00005	0,00005	0,1	0,02	0,001	0,00005	0,0015	0,015	0,001	0,0015	0,0015
Гусева Гора	шлак	2208	0,015	0,001	0,003	0,5	0,003	0,05	<0,0005	<0,0003	0,02	0,03	<0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	0,0015	0,001	<0,001	<0,0001
П Иргинское гор.	шлак	2211	0,007	<0,001	0,003	0,5	0,002	0,05	<0,0005	<0,0003	0,02	0,03	<0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	0,0015	0,0005	<0,001	<0,0001
Киреты 1	шлак	2213	0,002	<0,001	0,015	0,3	0,01	0,05	<0,0005	<0,0003	0,01	0,02	<0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,04	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	0,0015	0,0005	<0,001	<0,0001
П Иргинское гор.	шлак	2214	0,015	<0,001	0,003	0,15	0,002	0,05	<0,0005	<0,0003	0,7	0,1	<0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0005	0,0005	0,06	0,02	<0,001	<0,0005	0,00002	0,0015	0,0015	0,009	0,0003
Узкой остров	шлак	2215	0,02	0,002	0,02	0,01	0,3	0,001	<0,0003	0,015	0,02	0,003	<0,003	<0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,015	0,01	<0,001	<0,0005	0,0001	0,01	0,001	0,003	0,0003
Гусева Гора	шлак	2209	0,0005	<0,0003	0,005	>1	0,005	0,15	0,0005	<0,0003	0,015	0,01	<0,003	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,03	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	0,005	0,0005	0,007	0,00007
Гусева Гора	шлак	2210	0,0005	<0,0003	0,01	>1	0,01	0,2	0,0005	<0,0003	0,005	0,01	<0,003	0,00003	0,005	<0,003	<0,001	<0,001	0,0003	0,0003	0,03	0,01	<0,001	<0,0005	0,00003	0,005	0,0001	<0,001	<0,0001
Долмагово	шлак	2033	0,015	0,0015	0,015	0,15	0,0015	0,1	<0,0005	<0,0003	0,03	0,015	<0,003	<0,0003	0,01	<0,003	<0,001	<0,001	0,0015	0,02	0,01	<0,001	0,0003	<0,00003	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,0001
Курамангау-5	мель	2233	0,02	0,003	0,01	0,05	<0,001	0,05	nd	nd	>>1	0,02	0,5	>>0,003	0,1	0,07	nd	0,015	nd	0,015	nd	nd	>0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Курамангау-5	мель	2234	0,015	0,007	0,003	0,3	0,003	0,1	nd	nd	>>1	0,02	0,15	>0,003	0,05	0,015	nd	0,005	nd	0,03	nd	nd	>0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Курамангау-5	мель	2235	0,007	0,003	0,007	0,07	<0,001	0,05	nd	nd	>>1	0,007	0,1	>0,003	0,1	0,003	nd	<0,001	nd	0,015	nd	nd	>0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Курамангау-5	мель	2236	0,03	0,003	0,007	0,05	<0,001	0,05	nd	nd	>>1	0,01	0,07	>0,003	0,07	0,02	nd	0,015	nd	0,01	nd	nd	>0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Рудник Ологу	руда	2336	0,015	0,005	0,01	0,05	0,02	0,3	nd	nd	>1	0,015	0,003	>0,003	0,007	<0,003	nd	<0,001	nd	0,03	nd	0,01	0,01	0,01	nd	nd	nd	nd	nd
Рудник Ологу	руда	2337	0,001	<0,0003	0,005	0,05	0,01	0,05	nd	nd	>>1	0,007	0,0015	>0,003	0,015	<0,003	nd	<0,001	nd	0,015	nd	0,015	nd	0,0001	nd	nd	nd	nd	nd
Улак-6	шлак	2338	0,007	0,002	0,1	0,07	0,015	0,3	nd	nd	0,03	0,01	0,002	0,00007	0,007	0,0015	nd	<0,001	0,00007	0,015	nd	0,00007	0,005	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Улак-6	шлак	2339	0,01	0,003	0,03	0,06	0,01	0,2	nd	nd	0,015	0,01	0,002	0,00007	0,005	0,0015	nd	<0,001	0,00007	0,1	nd	nd	0,0005	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Витимировское	мель	2340	0,007	<0,0003	0,01	0,06	<0,001	0,01	nd	nd	>>1	0,005	0,05	>0,003	0,015	0,005	nd	0,005	nd	0,015	nd	nd	0,1	nd	nd	nd			

шлаков, которые были сделаны, крайне важны по той причине, что они позволяют проследить тенденции дальнейшего развития металлургического производства на территории, которую прежде занимала Евразийская металлургическая провинция. Кроме того, металлургия железа формировалась не на пустом месте. Она была наследницей металлургии меди. И понимание развития технологии медного производства позволяет понять каким образом возникла металлургия железа.

Металлургия меди в РЖВ Алтая и Южной Сибири

К шлакам, полученным при плавке медной руды, безусловно, относится образец 791, происходящий с поселения Островное III. Кстати, и спектральный анализ этого образца показал высокое содержание меди (таб. 14-1). Характер рудовмещающей породы по этому образцу определить невозможно, поскольку единичные нерудные включения могут быть связаны с обмазкой печи. Руда использовалась окисленная, малахит. Однако плавка шла в восстановительной атмосфере, что позволило меди сформироваться и хорошо отделиться от шлака.

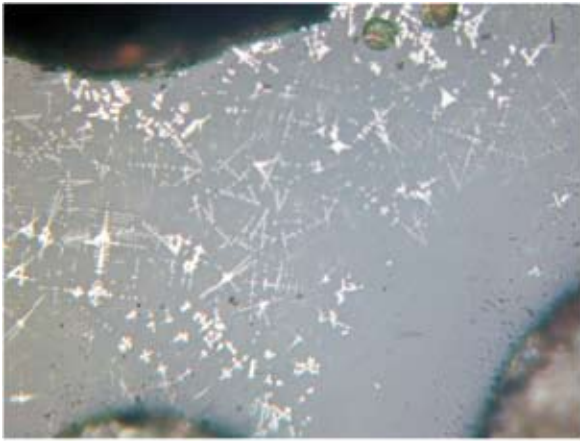
Скорость остывания была, по-видимому, достаточно высокой, поэтому кристаллизация, практически, не прошла (рис. 14-I.1, 2). Температура плавки, возможно, была невысокой, так как отмечено нерасплавленное зерно куприта, но данных для уверенных суждений на эту тему явно недостаточно. Не исключено, что данный конкретный образец шлака формировался в периферийной части печи, чем и объясняются все его характеристики.

Во втором образце с того же поселения (№ 790) медные компоненты не выявлены, зато присутствуют включения металлического железа. Однако это очень пористый образец с ограниченным количеством каких-либо включений (за исключением редких игл оливина и столь же редких мелких прорастающих дендритов магнетита). Скорее всего, это фрагмент ошлакованной обмазки или пода печи.

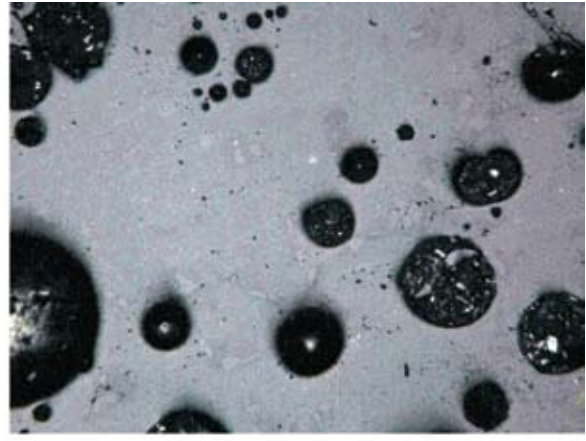
Прочие шлаки этого поселения, исследованные с помощью спектрального анализа, выявили присутствие около 1% меди. Видимо, все шлаки этого поселения относятся к плавке медной руды. Исключением является образец 788, исследованный с помощью спектрального анализа. В этом образце содержится гораздо меньше меди (0,015%). Однако в этом случае нет оснований для утверждений, что шлак получен при плавке железных руд, так как образец тоже может быть фрагментом обмазки.

Таким образом, для этой эпохи Алтай у нас, практически, нет данных для обоснованных суждений о характере плавки медных руд. Можно говорить лишь о сохранении традиции использования, преимущественно, окисленных руд с возможными добавками вторичных сульфидов.

Более многочисленные данные по плавкам в эпоху раннего железного века получены для Хакасско-Минусинской котловины (Сунчугашев, 1975). Медеплавильни здесь обнаружены в районе рудников. Они хорошо фиксируются по крупным шлаковым отвалам. Предполагается, что плавка осуществлялась в тиглях, которые устанавливались над углубленными на 15 см горнами размером 40×50×15 см — 30×40×15 см. Рядом располагались ямки для слива шлака. За одну плавку выплавляли до 300г меди. Исследована и более сложная углубленная двухкамерная печь позднетагарского времени. Одна из камер использовалась для установки мехов (Сунчугашев, 1975, с. 93, 94). Та же технология плавки в тиглях реконструирована и для Тувы. Это позволяло вести плавку в одной печи, меняя тигли, и избавляло от необходимости разбирать и строить печь заново, как это делали 200—300 лет спустя при сыродутной плавке железа (Сунчугашев, 1975, с. 115). Последнее подтверждают и наши экспериментальные работы. По наблюдениям Я. И. Сунчугашева, в Хакасско-Минусинской котловине в плавку использовались окисленные руды. Температура плавки превышала 1000 °С. Однако это не было пределом тем-



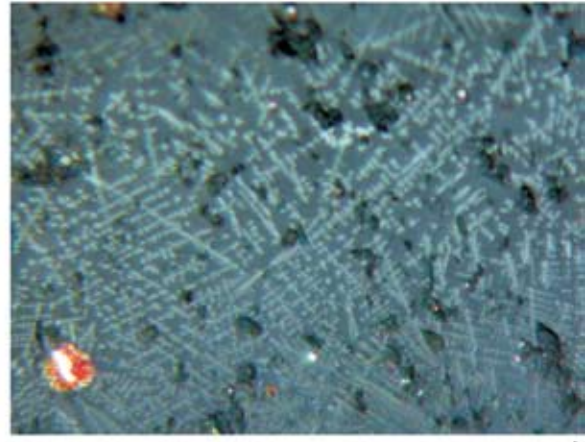
1



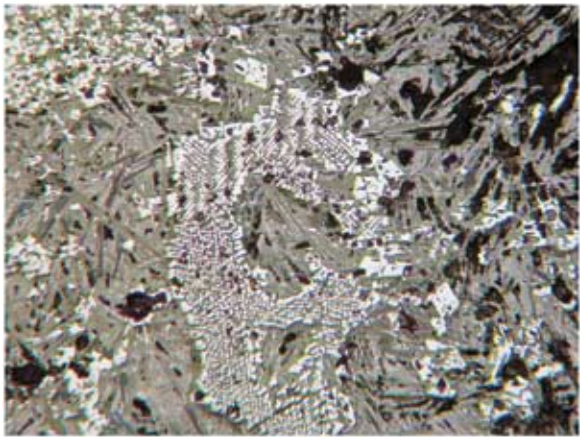
2



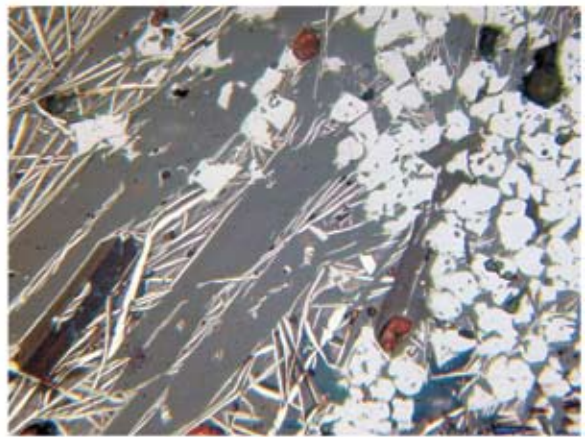
3



4



5



6

Рис. 14-Г. Микроструктуры шлака медной плавки раннего железного века: 1 — Островное III, обр. 790 (длина снимка 1,55 мм), мелкие дендриты магнетита, кристаллизующиеся из расплава; 2 — Островное III, обр. 790 (длина снимка 1,55 мм), мелкие поры в кварцевом стекле; 3 — Иткуль I, обр. 109 (длина снимка 0,54 мм), слабо заметные на фоне стекла мелкие сросшиеся призмы оливина (серые), скелеты, мелкие дендриты и октаэдры магнетита (белые) и корольки меди; 4 — Иткуль I, обр. 111 (длина снимка 0,54 мм), мелкие кристаллизующиеся дендриты магнетита и корольки меди в стекле; 5 — Иткуль I, обр. 114 (длина снимка 1,55 мм), игольчатые и мелкие призматические кристаллы оливина (серые), октаэдры магнетита и решетчатая оплавленная структура магнетита, сохраняющая границы первичного зерна; 6 — Иткуль I, обр. 114 (длина снимка 0,54 мм), октаэдры магнетита, иглы дельтафосфита и корольки меди в стекле

пературных возможностей тагарских металлургов. Согласно анализу лаборатории ЛОИА РАН, тагарские ножи отлиты при температуре 1350 °С (Сунчугашев, 1975, с. 117).

Помимо меди в тагарское время известны и редкие свинцовые изделия, а также значительные примеси свинца в медных котлах, необходимые для придания металлу жидкотекучести (Сунчугашев, 1975, с. 107, 109, 114, 147).

Таким образом, при переходе к раннему железному веку четких технологических новаций в регионе мы не фиксируем, но не исключено, что причина этого кроется лишь в скудости информации.

Однако в составе лигатур происходят существенные изменения. На фоне безусловного доминирования мышьяковых лигатур в эпоху финальной бронзы в раннем железном веке возрождается и выходит на первое место традиция легирования оловом. Этот процесс охватывает всю Западную Сибирь и юг Средней Сибири (Сунчугашев, 1975; с. 146; Гришин, 1975, с. 68; Бобров, 2002а, с. 159; Бобров и др., 1997, с. 171; Троицкая, Галибин, 1983). Даже в таежных районах к северу от Красноярска, где в карасукское время доминировала чистая медь, в скифское время распространяется оловянная лигатура, составляющая до 80% изделий (Хаврин, 2006). Интересно то, что на Алтае и в Туве на раннескифском этапе доминируют оловянные бронзы, а потом их количество сокращается (Хаврин, 2005).

Исключением для раннего этапа является, пожалуй, один, но крайне важный комплекс металла кургана Аржан, в котором резко преобладают сплавы с мышьяком (Пяткин, 1983). Однако этот курган является царским, и находки в нем могут отражать характер не только местного производства. В Западном Забайкалье в скифское время (культура плиточных могил) распространены сплавы с мышьяком (Миняев, 1983, рис. 8), поэтому не исключен импорт металла и из этого региона.

Более значима все же тенденция распространения в Южной Сибири оловянных лигатур. Трудно сказать, с чем связано восстановление этой традиции. Было бы, по-видимому, ошибкой делать вывод о том, что это возрождение связано с западными очагами ЕАМП, поскольку там в степной зоне к концу эпохи бронзы, практически, исчезают археологические памятники. Кроме того, ЕАМП и в эпоху бронзы обеспечивалась оловом с Алтая, поэтому причины нового возрождения оловянных лигатур следует искать на востоке. В этом смысле интересно то, что именно в Восточном Забайкалье по Онону есть медные и оловянные рудники. Последние эксплуатировались как в эпоху бронзы, так и в раннем железном веке, поскольку в изделиях карасукского и тагарского времени региона очень высок процент олова (Гришин, 1975, с. 67, 68). У сюнну Ордоса тоже наблюдается доминирование олова, в отличие от сюнну Южной Сибири (Миняев, 1983, рис. 7), что указывает на достаточно устойчивую традицию оловянных лигатур в восточном регионе в районах, близких к Китаю.

Описывая отказ от легирования оловом в Центрально-Азиатской металлургической провинции эпохи бронзы, мы обсуждали сохранение этой традиции в Китае. Причем, в этом регионе подавляющее доминирование оловянных лигатур сохраняется и далее, в раннем железном веке (периоды Весны и Осени, 771—476 гг. до н. э. и Воюющих Царств, 476—221 гг. до н. э.). Единственная отмечаемая динамика, это возрастание доли свинцовых сплавов (Wang, Mei, 2009, p. 383). Собственно, то же мы наблюдаем и севернее, где в тагарской культуре присутствуют тоже сплавы со свинцом.

Поэтому не исключено, что последующее возрождение сплавов с оловом связано с восточными импульсами, так как именно на востоке они сохраняются в довольно обширном ареале. Но до систематических исследований это предположение о восточных истоках распространения оловянных бронз может рассматриваться лишь в качестве гипотезы, хотя она вполне ложится в контекст распространения с востока на запад кочевой культуры и типов инвентаря.

Металлургия меди в РЖВ Зауралья

Иткульские печи для плавки медной руды

Иткульская культура являлась, вероятно, одной из самых металлопроизводящих культур региона. На многих иткульских памятниках обнаружены следы металлургического производства, выявлена и серия металлургических печей (рис. 14-2). Еще на заре исследования иткульской культуры на горе Петрогром было изучено 18 печей. Было сделано предположение, что это печи открытого типа, и они использовались для непрерывной плавки руды, с периодическим добавлением шихты и сливом шлака и металла (Берс, 2004, с. 6; Бельтикова, Морозов, 2004, с. 7). Последующие исследования показали, что многие иткульские памятники являются местами специализированного производства металла со сложным устройством производственных площадок. Помимо металлургических печей на них изучены места для подготовки руды, ямы непонятного назначения (возможно, для хранения угля или руды), углубленные и наземные площадки с проклами и глиняной обмазкой, на которых найдены различные остатки металлургического производства. Предполагается, что эти площадки использовались для металлообработки (Бельтикова, 1988, с. 108, 109). Подобную сложную организацию производственного пространства мы не наблюдаем в синташтинской культуре эпохи средней бронзы, где специализированное производство отсутствовало, но видим на Шайгинском городище чжурчженей, явном специализированном производственном центре. Часть ям там служила для сбрасывания отходов производства, часть для хранения сырья и топлива (Леньков, 1974, с. 31).

Помимо металлургических печей на горе Петрогром, на иткульских памятниках было выявлено и описано множество иных сооружений этого типа (Остров Малый Вишневый, Иткульское I городище, гора Думная) (Бельтикова, 1986, с. 67, 68; 1988, с. 107; 1993, с. 101; Бельтикова, Стоянов, 1984, с. 134—138). К сожалению, предварительные публикации этих материалов не всегда дают возможность понять их конструктивные особенности, а тем более, функциональные различия (рис. 14-2). Однако в дальнейшем, вероятно, появится детальная сводка и классификация печей иткульской культуры. В целом, печи разделяются на однокамерные и двухкамерные. Вторая камера рассматривается как предпечь, служившее для слива шлака. Подобное допущение делается, впрочем, для печей с восьмеркообразным сечением пода. Дополнительным аргументом в пользу подобной возможности выступают печи, так называемого, открытого типа на горе Петрогром.

Подобные сливные ямы известны в более позднее время на железоделательных печах у чжурчженей (Леньков, 1974, с. 31). Однако в иткульской культуре в ряде случаев предпечь понижается в сторону печи, и подобное его устройство не могло обеспечивать слив шлака, зато это было удобно для установки двухкамерных мехов. Как показали наши экспериментальные работы, сопло должно быть направлено в нижнюю часть печи. Будучи соединено с верхней камерой двухкамерных мехов, конструкция должна предусматривать пространство для нижней камеры в раздвинутом состоянии. Поэтому двухкамерные печи, возможно, отражают наличие двухкамерных мехов. Но это не может являться окончательным выводом, так как наши исследования шлака тоже допускают возможность его частичного выпуска. Но проанализированный шлак не связан с конкретными печами. Поэтому, скорее всего, существование различного типа печей и указывает на обе эти возможности (Бельтикова, Стоянов, 1984, с. 142), но уточнить этот вывод могут лишь будущие исследования.

Размеры самой плавильной полости были невелики, колеблясь в пределах 0,7—1 м. Печи слабо углублены, хотя известны и конструкции, углубленные в грунт на 50 см. Толщина стенок печей составляет 20 см, а реконструируемая высота — 40—50 см. У некоторых печей фиксируются развалы стенок, сложенных из камня, хотя часто стенки

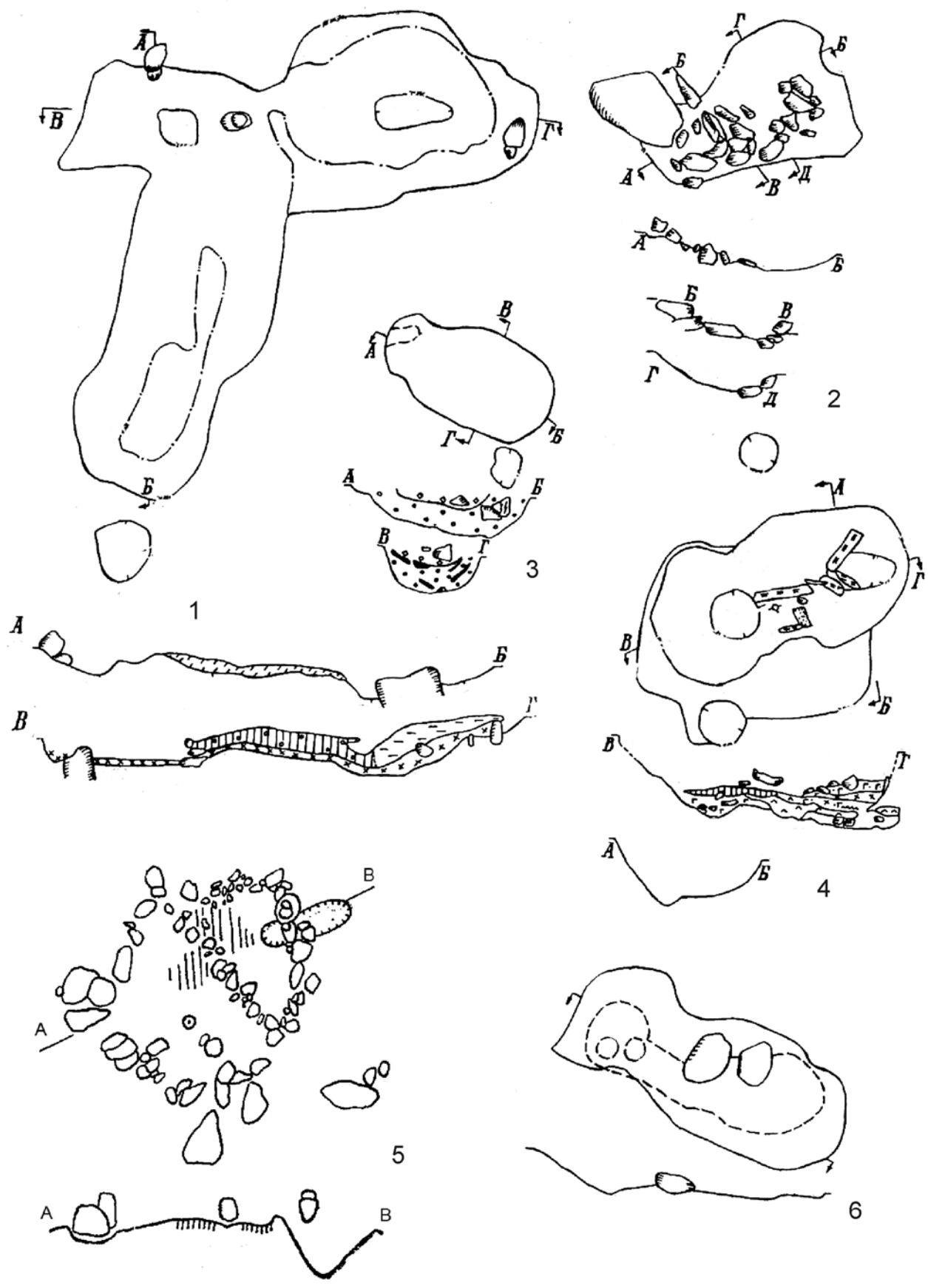


Рис. 14-2. Печи иткульской культуры (по Г. В. Бельтиковой): 1—4, 6 — гора Думная, 5 — о-в Малый Вишневый

были глиняные. Обнаружены и глиняные остатки рухнувшего свода. На острове Малый Вишневый от центра плавильной полости печи наружу выходит канавка-сток (Бельтикова, 1988, с. 107). Поэтому не исключено, что часть меди все же старались удалить из печи в ходе плавки, хотя мне этот вариант представляется сомнительным. Не исключено, что печь просто совпала с тектонической трещиной в гранитном основании, которые достаточно типичны для региона.

В районе печей обнаружено много остатков, связанных с металлургическим производством: обломки прокаленной печной обмазки, мелкая рудная крошка и кусочки малахита, каменные орудия для дробления и растирания руды, капли металла, кусочки шлака, глина для ремонта печей, береста, обломки воздуходувных сопел и литейных форм, кальцинированные кости (Берс, 2004, с. 6; Бельтикова, 1986, с. 68, 76; 1988, с. 107; Бельтикова, Стоянов, 1984, с. 134—138). На острове Малый Вишневый руда не найдена, но обнаружено много каменных орудий, и на одном песте видны следы работы по зеленому минералу, видимо, малахиту. Однако это поселение имело специализацию в металлообработке (Бельтикова, 1988, с. 110, 116). На Иткульском I городище на основании обнаружения шлаков и бурого железняка предполагается и плавка железа (Бельтикова, 1986, с. 68), но, как будет показано ниже, медная руда с этого поселения находилась в железистых рудовмещающих породах, а внешний вид шлаков не всегда позволяет судить о том, какой металл выплавлялся. Поэтому, скорее всего, обнаруженный бурый железняк маркирует обогащение медной руды на поселении. Интересен и факт использования костей животных в качестве флюсов, что было зафиксировано нами для синташтинской металлургии. Примечательно то, что на месте медеплавильен были обнаружены только окисленные руды.

Дробление руды производилось здесь же, причем установлено, что измельчалась руда до порошкообразного состояния. Источники руды иткульского времени пока надежно не определены. В районе Иткульского городища имеется много мелких жил с малахитом, азуритом, хризоколлой, а в 30—40 км располагается Гумешевский рудник (Бельтикова, 1986, с. 76). Этот рудник содержит медно-скарновые руды, преимущественно малахит. На нем фиксируются многочисленные древние карьеры и шахты. На горе Думной, возможно, плавил руду с Гумешевского рудника. Однако надежности этого вывода мешает то обстоятельство, что руда Думной и Гумешевского рудника различается по содержанию в ней примеси свинца (Черных, 1970, с. 45, 46). Не исключено, что важным рудным источником был Полевской рудник, где русские промышленники обнаружили древний карьер глубиной до 12 саженей (25,6 м)¹. Это указывает на огромные масштабы добычи.

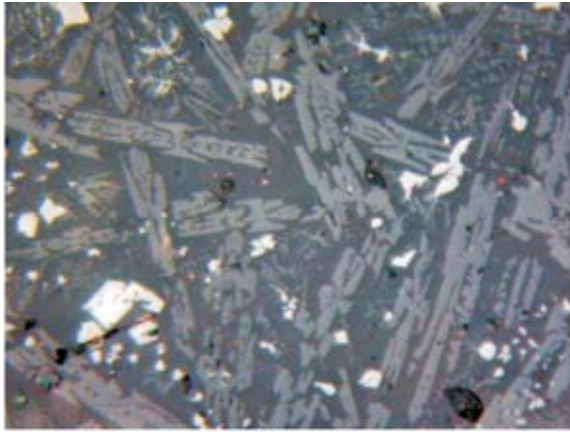
Шлаки медной плавки иткульской культуры

К сожалению, изученный материал не слишком представительен, и ограничивается 21 образцом из трех плавильных центров: гора Думная (5 образцов), Палатки I (6 образцов) и Иткуль (10 образцов). Кроме того, 65 образцов медеплавильного шлака и одна руда были проанализированы с помощью спектрального анализа: гора Думная (30 образцов), Иткуль (36 образцов).

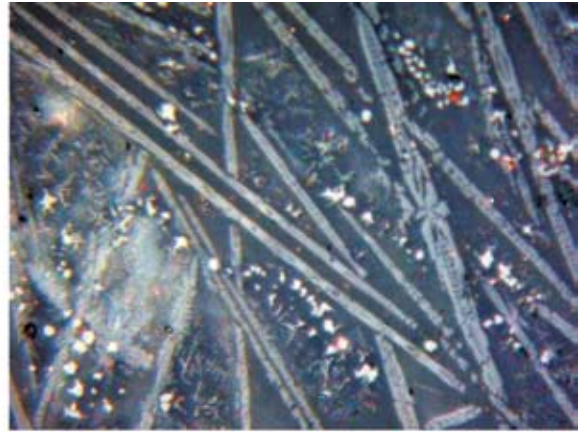
Большая часть проанализированного материала представлена плотным бесформенным шлаком с мелкими или крупными порами и оплавленными поверхностями.

Во всех образцах шлака с трех иткульских памятников оливинная кристаллизация представлена либо в виде небольших плотно расположенных призм, либо иголок или зародышей кристаллизации (рис. 14-I-II; 14-III.1). Содержание их довольно велико, до 40—60%. На многих участках кристаллизация не прошла вовсе, хотя стекло, судя по

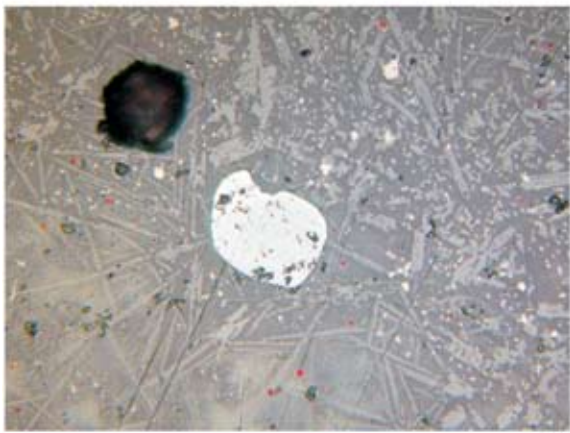
¹ Благодарю Е. Ю. Рукосуева, познакомившего меня с этими архивными данными. К сожалению, к настоящему времени эти выработки не сохранились.



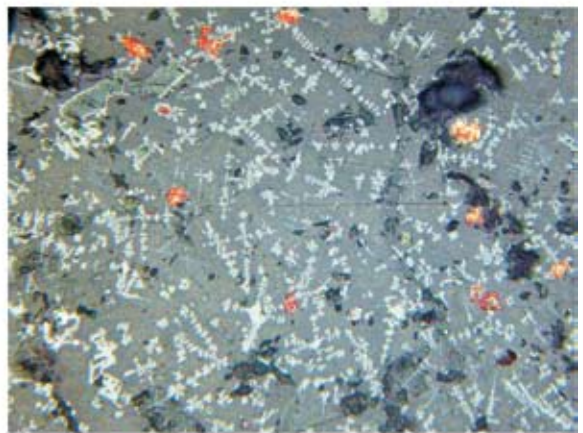
1



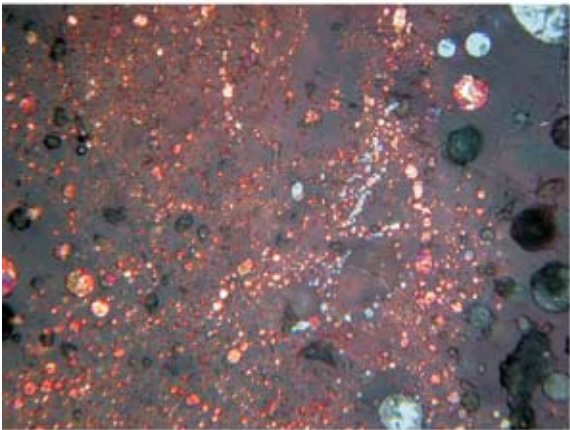
2



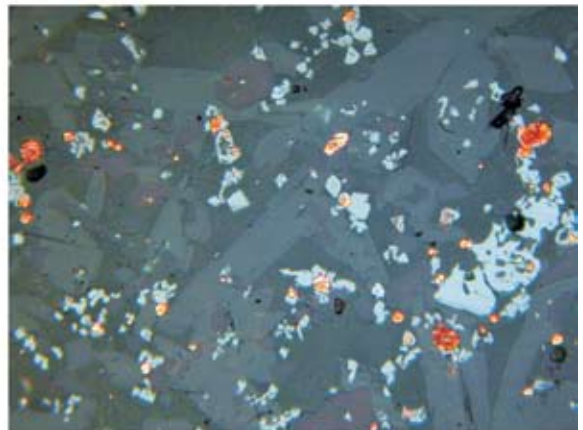
3



4

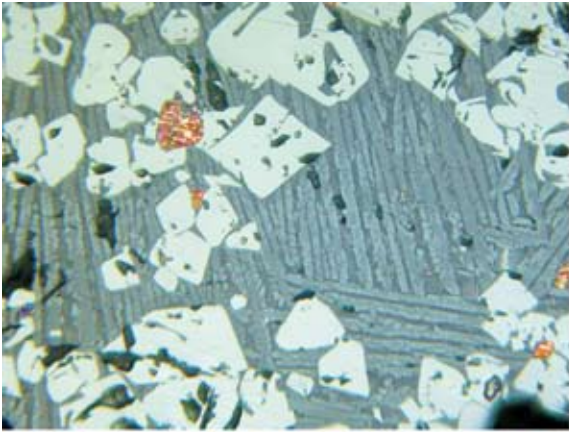


5

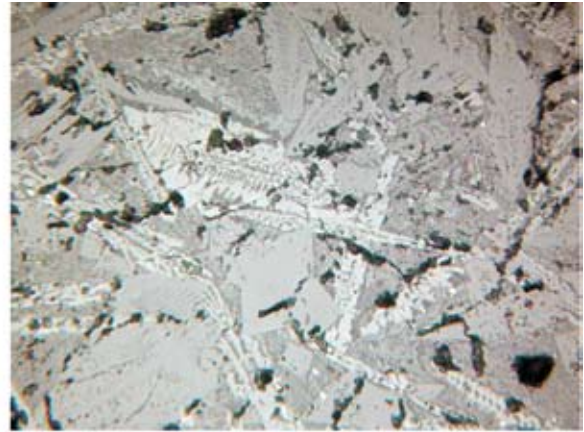


6

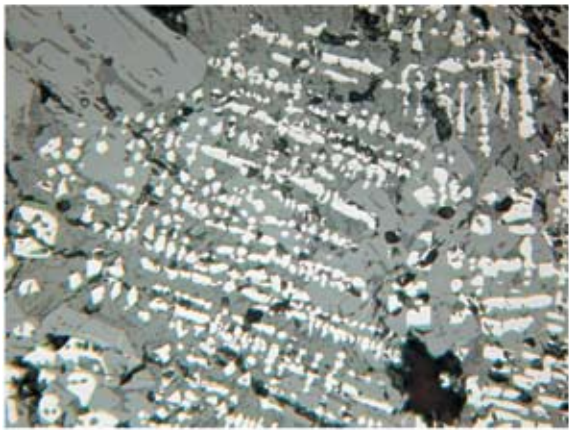
Рис. 14-II. Микроструктуры шлака медной плавки раннего железного века: 1 — Палатки I, обр. 139 (длина снимка 0,22 мм), удлиненные скелетные призмы оливина (светло-серые), сыпь октаэдров и частиц магнетита (белые), поры (черные), корольки меди; 2 — Палатки I, обр. 140 (длина снимка 0,22 мм), длинные иглы оливина, мелкие октаэдры магнетита и мелкие корольки меди; 3 — Палатки I, обр. 140 (длина снимка 0,54 мм), иглы и мелкие призмы оливина (светло-серые), зерно хромита (в центре), мелкая магнетитовая сыпь и корольки меди; 4 — Палатки I, обр. 141 (длина снимка 0,54 мм), скелеты магнетита и корольки меди, частицы малахита (зеленые); 5 — Палатки I, обр. 141 (длина снимка 0,54 мм), мелкие корольки меди и более крупные куприта (светло-голубые), оплавленные частицы малахита (зеленоватые); 6 — Палатки I, обр. 143 (длина снимка 0,54 мм), призматические кристаллы оливина (серые), октаэдры магнетита и корольки меди



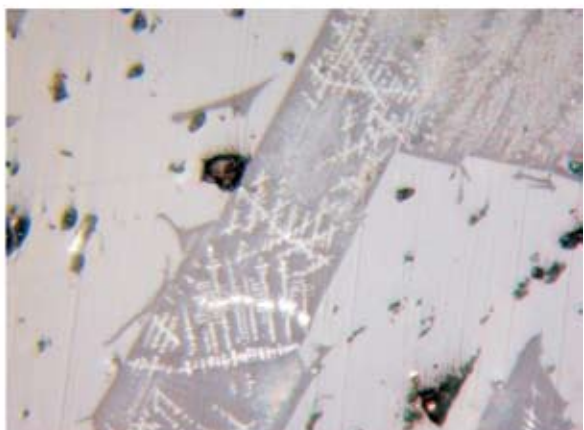
1



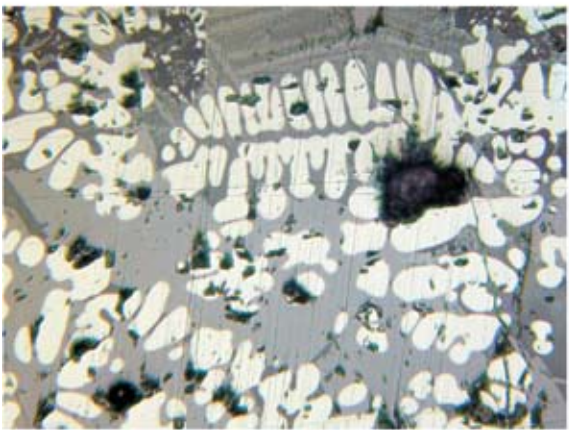
2



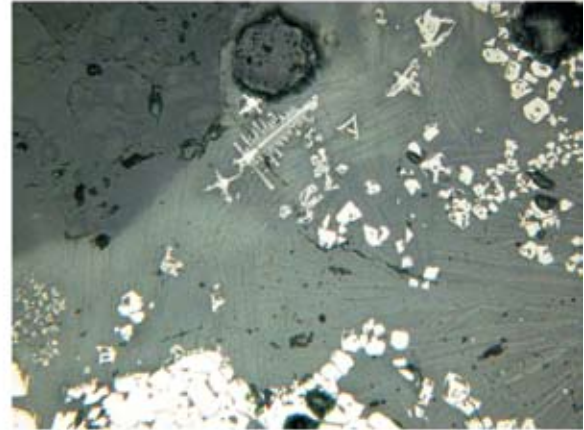
3



4



5



6

Рис. 14-III. Микроструктуры шлака медной плавки раннего железного века: 1 — Палатки I, обр. 145 (длина снимка 0,54 мм), длинные иглы оливина, крупные октаэдры магнетита и корольки меди; 2 — Skorodum, обр. 149 (длина снимка 0,54 мм), призматические кристаллы оливина; 3 — Skorodum, обр. 149 (длина снимка 0,54 мм), призматические кристаллы оливина и решетчатые структуры вюститита; 4 — Турбино I, обр. 317 (длина снимка 0,22 мм), таблитчатые кристаллы оливина и мелкие дендриты магнетита; 5 — Турбино I, обр. 317 (длина снимка 0,22 мм), таблитчатые кристаллы оливина (светло-серые) в стекле (темно-серое) и оплавленные крупные дендриты вюститита (белые); 6 — Турбино I, обр. 318 (длина снимка 0,22 мм), длинные скелетные призмы оливина (зеленовато-серые), дендриты, скелеты и частицы магнетита (белые), зерно кварца (темно-серое)

цвету, имеет оливковый состав. Вероятно, компонентов для формирования оливина было достаточно, но высокая скорость кристаллизации помешала формированию более крупных кристаллов.

Количество и форма кристаллов магнетита слегка различается на отдельных памятниках. Так, в шлаке с горы Думная магнетит представлен мелкими частицами и зародышами кристаллизации, октаэдрами, скелетами, реже дендритами. Большая часть магнетита кристаллизуется из расплава. Содержание его колеблется в промежутке 3—5%. Шлак Палаток I демонстрирует сходную ситуацию, но магнетита больше, и заметно, что часть его формируется за счет распада более крупных зерен железосодержащего минерала, а между частицами встречается расплав медного сульфида, что указывает на связь оруденения с железосодержащей породой. При этом в образцах этого памятника встречаются оплавленные частицы вюстита или оплавленные скелеты магнетита, которые сформировались, вероятно, в результате окисления вюстита. Шлак Иткульского городища в целом схож, но содержание магнетита в большинстве образцов значительно выше, колеблясь от 5 до 30%. Лишь в трех образцах содержание магнетита в виде тонкой сыпи очень незначительно (обр. 116, 118, 121). Фиксируется образование магнетита по краям королек меди или медного сульфида. Магнетит образуется из расплава или распада более крупных зерен железосодержащей породы. Встречаются решетчатые структуры, в том числе оплавленные решетчатые или дендритные структуры вюстита, иногда с сохранением границ первичного зерна. Вероятно, эти случаи фиксируют плавку халькопирита.

Кварц в образцах всех памятников встречается, скорее, как исключение, в виде мелких зерен. Но они вполне могут происходить из обмазки печи. Чуть лучше они представлены в двух образцах, где в кварце встречены также восстановленные частицы меди (обр. 131 с горы Думной и 118 с Иткульского городища). В целом же можно достаточно уверенно говорить, что в плавку поступали, скорее всего, руды из железосодержащих пород.

Медные минералы в шлаке с горы Думной и с поселения Палатки I представлены зернами куприта и малахита, но встречаются также корольки сульфида меди, заполнение сульфидом трещин (последнее указывает на то, что шлак застыл при температуре выше точки плавления сульфида). Сульфид иногда образует каемки вокруг пор или зерна с восстановленной внутри медью. Встречаются ассоциации сульфида, куприта, меди и магнетита. В одном случае сульфид оторочен магнетитовой каймой. Но иногда отмечены и ассоциации сульфида и малахита. Все это указывает на то, что в плавку поступали, преимущественно, минералы из зоны окисления месторождения в железосодержащей породе, представленные малахитом и вторичными сульфидами, типа ковеллина и халькозина. Корольки халькозина зафиксированы в отдельных образцах. Медь иногда восстанавливается непосредственно из сульфида, не всегда, при этом, расплавляясь. Малахит же при восстановлении формирует первоначально куприт, и уже затем медь. Корольки куприта в среднем крупнее, чем медные, что указывает на то, что куприт сформировался в процессе плавки, а не в результате вторичного окисления. Но содержание куприта не слишком велико. В двух образцах с Иткуля и Палаток I (обр. 114, 143) обнаружены участки с иглами делафоссита.

Медь представлена корольками различных размеров. Потери меди незначительны. Встречен участок, заполненный скоплением медных королек, с четкой границей. Вероятно, расплавился какой-то минерал. Иногда стекло подкрашено в красный цвет мелкими медными включениями. В отдельных крупных корольках фиксируются включения сульфида. Поэтому медь, вероятно, требовала рафинирования. Обычно потери меди невелики и составляют не более 1—2%, хотя в одном из образцов с Палаток I зафиксировано много медных королек и крупных их скоплений (5—10%).

Во многих шлаках встречаются единичные корольки или частицы белого металла, по-видимому, железа.

Технология плавки меди в Зауралье

Исходя из анализа шлака, можно заключить, что в качестве сырья выступала медная руда из зоны окисления сульфидных месторождений, представленная, преимущественно, малахитом, купритом и вторичными сульфидными минералами типа ковеллина и халькозина. Последние использовались, по-видимому, достаточно широко, что способствовало созданию в печи восстановительной атмосферы. В сущности, иткульские металлурги плавил идеальную для древнего производства рудную смесь, позволявшую восстанавливать малахит при помощи сульфидных руд. Это обуславливалось хорошей представленностью этих руд в ареале иткульской культуры. Вместе с тем, в ряде случаев можно говорить о том, что в плавку поступал и халькопирит, хотя он и не был главной рудой иткульской металлургии. В различных плавках баланс сульфидных и окисленных руд, по-видимому, колебался; поэтому и атмосфера плавки слегка различалась, будучи, преимущественно, все же восстановительной. Это приводило к тому, что в шлаке присутствует ограниченное количество восстановленного железа, хотя его включения и единичны, по сравнению со шлаком лесной и лесостепной зоны эпохи поздней бронзы. Руда обогащалась на месте медеплавилен и перетиралась до порошкообразного состояния.

Дутье осуществлялось с помощью воздуходувных мехов. Расположение ряда производственных площадок на горе вовсе не является подтверждением распространенного в археологической среде мифа о том, что это делалось с целью использования дутья ветром. Технологически это трудновыполнимая задача, а с учетом наличия воздуходувных мехов, маркируемых находками сопел, и абсолютно бессмысленная. Расположение на горах обуславливалось чем угодно: задачами обороны, близостью источников сырья, культовыми соображениями, но только не стремлением использовать ветер (Бельтикова, Стоянов, 1984, с. 142). Собственно, вывод этот абсолютно правомерный и очевиден для любого, кто пытался хоть раз работать воздуходувными мехами. Никакой ветер не способен создать такое давление воздуха в печь.

Рудовмещающей породой были оксиды железа, что позволяло легко получать, сравнительно жидкотекучий шлак. Какие-либо данные об использовании флюсов в настоящее время отсутствуют. Поэтому источник силикатного компонента, необходимого для формирования оливинового шлака, не ясен. Не исключено, что он присутствовал в рудовмещающей породе. Дополнительным флюсующим компонентом были дробленые кости животных.

Шихта, по-видимому, загружалась непосредственно в печь. У иткульских медеплавилен обнаружены фрагменты тиглей, но большая часть из них имеет небольшие размеры (90—100 см³), и использовалась, вероятно, в металлообработке. Но встречаются и крупные тигли в виде блюд диаметром 30 см. Один из таких тиглей был исследован петрографическим анализом и был сделан вывод о том, что он служил для плавки черновой меди (Бельтикова, 1986, с. 68). Однако не исключено, что подобные тигли устанавливались на под печи, защищая его от металла и шлака. Это избавляло от необходимости перестройки печи после каждой плавки. В некоторых печах на поде зафиксированы ямки. Считается, что они служили для установки тигля (Бельтикова, Стоянов, 1984, с. 138). Но подобное возможно только при металлообработке. В Африке такие ямки широко распространены в древних и современных железодельных печах. В них клали лекарственные травы, и эти ямки служили в ритуальных целях (Schmidt, 1997, р. 239—240, 242, 247). Но это слишком отдаленная и маловероятная параллель.

В ходе плавки достигалась температура плавления меди, куприта, халькозина, фаялита, вюстита. Но температура плавления магнетита достигнута не была. Единичные случаи

оплавленного магнетита объясняются, по-видимому, окислением вюститита. Таким образом, температура держалась в пределах около 1300 °С, что являлось, в целом, стандартом для древней металлургии, достигая порой 1360 °С, на что указывает расплавленный иногда вюстит. Петрографическое исследование образцов обвалившегося свода позволило сделать вывод о том, что температуры были не менее 1000—1200 °С, а изучение тигля выявило температуру 1200—1300 °С (Бельтикова, 1986, с. 68), что вполне соответствует результату, полученному при анализе шлака. Дело в том, что в районе свода температура и должна быть ниже, чем в нижней части печи, куда направлялось дутье.

Таким образом, мы фиксируем интересную ситуацию: при относительно высоких температурах и преимущественно окисленном характере руды металлургам удавалось поддерживать в печи восстановительную атмосферу. Это нельзя объяснить каким-то одним фактором, вероятно, сказывалось сочетание различных факторов, основанных на накопленном за тысячелетия опыте: присутствие какого-то количества сульфидов, режим дутья, конструкция печи, основной состав шихты, что в совокупности и приводило к этому результату.

Застывание шлака происходило с различной скоростью, но, преимущественно, быстро. Можно допустить, что шлак частично выпускался, что и обеспечило присутствие в серии шлака с различной скоростью остывания. Но уверенно об этом судить на данном этапе исследований невозможно.

Вместе с тем, в ходе плавки шлак был достаточно жидкотекуч, что позволяло довольно хорошо оседать меди и вело к совершенно незначительным потерям металла.

Химические анализы шлака и руды

Была сделана попытка каким-то образом расчленив иткульский шлаковый материал на основании спектрального анализа с помощью Brookhaven Date Handling Programs, однако к каким-то определенным результатам она не привела. Анализу были подвергнуты образцы лишь двух мест — Думной и Иткуля. На его основе было выделено четыре кластера, в который попадают образцы обоих плавильных центров, лишь кластер 4 представлен образцами с Иткуля (таб. 14-3). Попытки проследить какие-либо зависимости на основе изучения отдельных элементов успехом тоже не увенчались. Вероятно, эта картина объясняется тем, что в иткульской время металлургии использовали произвольные рудные смеси. Но судить по этим данным о рудных источниках нет никакой возможности.

Таб. 14-3.

Кластеры, выделенные для шлака иткульской культуры на основе спектрального анализа

	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3	Кластер 4
Думная	13	3	13	1
Иткуль	4	10	5	16

Выводы по иткульской металлургии меди

Среди исследователей традиционным является мнение о том, что иткульская металлургия является результатом аккумуляции прежних традиций — черкаскульских, межовских, бархатовских и саргаринских (Бельтикова, 1993, с. 100). Однако, на мой взгляд, мы видим резкий отход от традиций межовской металлургии, в которой сульфидные руды в качестве сырья использовались гораздо шире. В определенной степени, можно говорить о необъяснимом технологическом регрессе. Но с традициями металлургического производства восточных металлургических центров, как этого периода, так и периода финальной бронзы, иткульская металлургия, по-видимому, сопоставима. Вероятно, и рецептуры

металла иткульских металлургов имеют те же восточные корни, а не наследуют более ранние традиции ЕАМП. Выше мы уже обсуждали распространение в Западной Сибири легирования оловом, что выглядит резким отказом от прежней традиции легирования мышьяком. В иткульской культуре безусловно доминирует чистая медь, составляя 90% от всего объема металла. На долю оловянных бронз приходится лишь 10%. Однако это не является показателем какой-то иной технологической традиции, а было связано с дефицитом легирующего компонента (Бельтикова, 1993, с. 98, 101). Поэтому наиболее вероятным представляется предположение, что металлургия Зауралья получает импульс к своему развитию в раннем железном веке с востока. К этому следует добавить и то, что в шлаке олово в заметных концентрациях отсутствует, и легирование производилось металлом в металл, что является типичным уже с эпохи поздней бронзы.

Приуралье в раннем железном веке

В раннем железном веке Среднего Поволжья и Приуралья исследователи (Кузьминых, 1983) выделяют два металлургических очага: ананьинский и аозинский. Первый очаг наследует традиции приказанской металлообработки, а второй — позднебронзовых племен с текстильной керамикой. Для металлургии региона в этот период характерны следующие группы меди: ВК — сурьмяно-мышьяковые сплавы (56%, из которых 83% совпадают с оловянными бронзами), ВУ (23%, из которых с оловянными бронзами совпадают 70% изделий), МП (5% изделий, из которых лишь 4% совпадают с оловянными бронзами), ЕУ (6% и 34% легировано оловом) и предметы, не отнесенные к какой-либо группе (7% и 76% легировано оловом). Определенные различия в динамике развития наблюдается по отдельным очагам. В аозинском очаге, который рассматривается как металлообрабатывающий, работающий на привозном с востока металле, по сравнению с позднебронзовым приказанским несколько сокращается доля групп ВК и ВУ, нет МП, и резко растет доля изделий, легированных оловом, что было не характерно для приказанского очага. В ананьинском очаге на Средней Волге плавка руды отсутствовала, а в Прикамье плавил медистые песчаники. Тем не менее, сырьевой основой были, все же, привозные группы восточного происхождения ВК и ВУ. Очаг наследует приказанские традиции, где доля меди ВК составляла 70%, доминирующие и на ранней стадии ананьинского очага, но ананьинская медь в большей степени легирована оловом, чем приказанская (Кузьминых, 1983, с. 11, 157, 167—172).

Все это все же ставит ряд вопросов о формировании и функционировании аозинского и ананьинского очагов. Увеличение доли изделий, легированных оловом, в принципе, укладывается в тенденцию восстановления роли этой лигатуры на востоке по сравнению с металлургией периода финальной бронзы. Однако выводы о восточных корнях большей доли металла в целом, вероятно, требуют корректировки, во всяком случае, для ананьинской металлургии. В первую очередь, обратим внимание на то, что доля оловянных бронз здесь выше, чем в иткульской металлургии. Таким образом, эта медь не могла поступать из Зауралья в виде слитков. Источники степные или лесостепные, казахстанские и сибирские в силу отсутствия данных о металлургии меди в этих регионах обсуждать сложно. Можно допустить, конечно, отдельные поставки меди из Зауралья и олова с востока по югу, в обход Зауралья, но этому противоречит набор химико-металлургических групп. В металле региона явно доминирует группа ВК. Как мы обсуждали ранее, эта группа являлась, по-видимому, результатом плавки первичных сульфидных руд, что было характерно для лесной и лесостепной зон Урала и прилегающих районов. Часть этой группы связана с мышьяково-сурьмяным легированием. Однако для иткульской металлургии все это не было характерно, где в плавку поступала смесь вторичных сульфидов и окисленной руды. Следовательно, металл был местного приуральского происхождения, чему не противоречит использование первичных руд в эпоху поздней бронзы региона.

Шлаки медной плавки в РЖВ Приуралья

К сожалению, в проанализированной серии присутствует слишком мало образцов шлака из этого региона, причем многие образцы имеют не слишком надежную датировку.

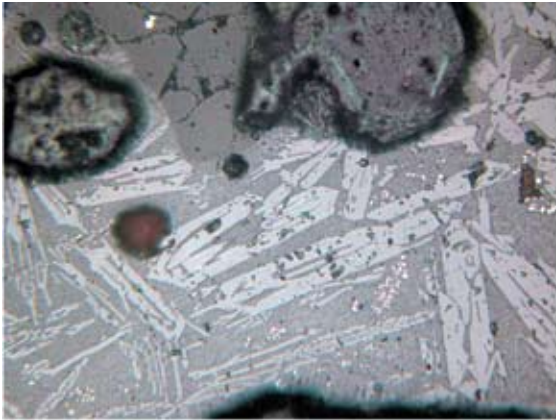
В первую очередь, это образец с селища Скородум из жилища эпохи поздней бронзы — начала раннего века (Збруева, 1952). По мнению С. В. Кузьминых, в рамках ананьинского очага выделяется две фазы: первая — с середины VIII по конец VI в. до н. э. и вторая — с конца VI по IV в. до н. э. На первой фазе, судя по присутствию отдельных импортов кавказских изделий, наблюдаются связи с местной позднебронзовой металлургией и с Кавказом. В рамках второй фазы более значимыми становятся связи с востоком — Средней Азией, Казахстаном, Западной Сибирью и Алтаем. Материалы селища Скородум относятся к первой фазе (Кузьминых, 1983, с. 171, 178). Поэтому данный образец и отражает, по-видимому, эту постулируемую связь местной металлургии эпохи поздней бронзы и раннего железного века, что и проявилось в его микроструктуре (рис. 14-III.2, 3).

Образец представлен плотным тяжелым шлаком с небольшим количеством пор среднего размера. На некоторых участках пор больше, и кристаллизация здесь не прошла. Шлак насыщен призматическими скелетами и крупными призмами оливина, между которыми рассеяны частицы магнетита, хотя это наблюдается не на всех участках. На некоторых участках оливин представлен тонкими скелетными призмами и иголками, но чаще, все же, полностью оформленными призмами. Есть участки с крупными оплавленными дендритами вюстита, образующими иногда решетчатые структуры. Призмы и таблитчатые кристаллы оливина формировались уже после них. Встречаются маленькие единичные корольки меди, зернышки кварца, единичные мелкие зерна хромита, одно из которых окружено магнетитовой каймой.

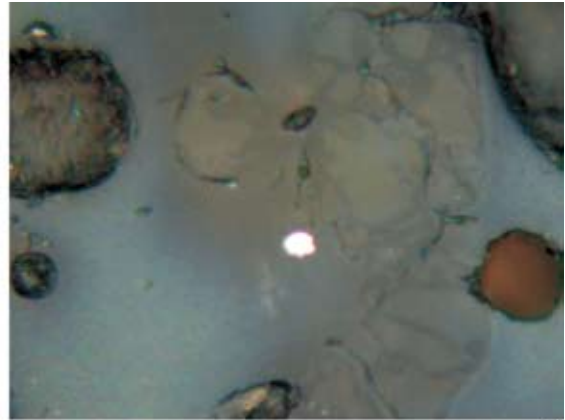
Вероятно, шлак получен при плавке халькопирита. Определить рудовмещающую породу не представляется возможным, так как зернышки кварца могут происходить из обмазки печи. Атмосфера плавки восстановительная, расплав остывал медленно, по-видимому, непосредственно в печи. Температуры плавки определить по одному образцу затруднительно. Вероятно, они превышали 1200 °С, достигая, судя по оплавлению вюстита, 1360 °С.

Два образца происходят из раскопок А. В. Шмидта в 1925 на сейминско-турбинском могильнике Турбино I. Верхний горизонт этого грунтового могильника представлен ананьинско-гляденовским слоем (Черных, Кузьминых, 1989, с. 18). Один образец (№ 317) представлен плотным тяжелым бесформенным железистым шлаком с металлическим блеском. Основное включение в нем — крупные таблитчатые и призматические кристаллы оливина, между которыми прорастают игольчатые и длинные скелетные кристаллы этого минерала, а также крупные оплавленные дендриты и решетчатые оплавленные структуры вюстита (рис. 14-III.4, 5). Встречаются и мелкие дендриты магнетита, выкристаллизовавшиеся из расплава. Из металлических включений выявлены немногочисленные мелкие корольки и оплавленные частицы железа. Железо явно формируется замещением вюстита, повторяя его форму. Иногда встречается расплав медного сульфида или отдельные крупные деформированные его корольки. Один подобный корольек окружен магнетитовой каймой.

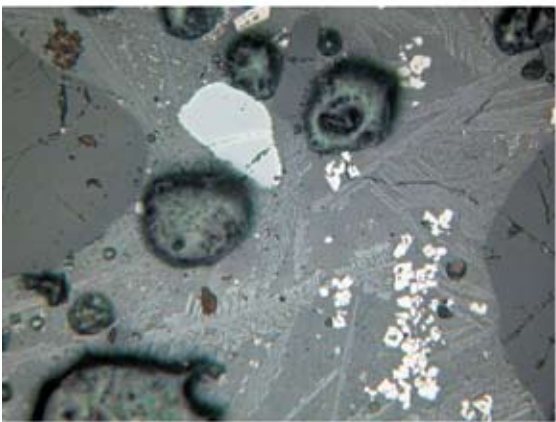
Другой образец (№ 318) представлен толстой шлаковой коркой, сформировавшейся на округлом поде печи, дне тигля или в ямке. Шлак плотный, железистый с включениями светлой породы. Шлак имеет зональное строение (рис. 14-III.6; 14-IV). Нижняя часть керамзитовая. В ней кристаллизация оливина прошла хуже, и вюстита встречено меньше. В верхней части типичны крупные октаэдры, скелеты и дендриты вюстита. Иногда они выпадают из расплава, иногда распадаются из более крупных зерен. Встречаются решетчатые структуры оплавленного вюстита с четко очерченными границами первич-



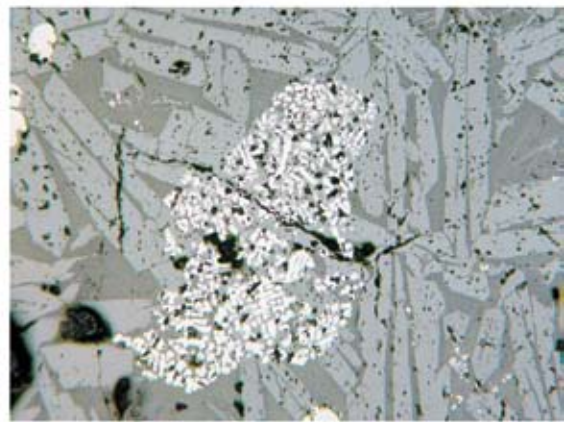
1



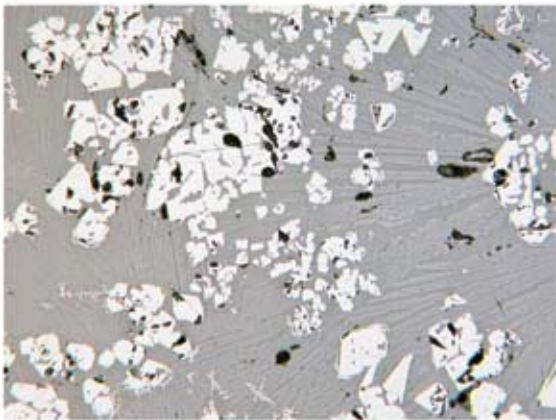
2



3



4



5

Рис. 14-IV. Микроструктуры шлака медной плавки раннего железного века (Турбино I, обр. 318): 1 — скелетные призмы оливина (светло-серые) и мелкие корольки меди в стекле (серое), зерно кварца (темно-серое сверху) с включением зерна малахита и частицы железа (длина снимка 0,22 мм); 2 — оплавленное зерно кварца и королек меди в пористом стекле (длина снимка 0,22 мм); 3 — удлинено-скелетные призмы оливина (светло-серые) в стекле (серое), зерна кварца (темно-серые), зерно хромита (серое с белой магнетитовой каймой), октаэдры магнетита (белые) и поры (длина снимка 0,22 мм); 4 — решетчатая структура оплавленного вюстита с границами первичного зерна, удлинено-призматические кристаллы оливина (светло-серые) (длина снимка 0,54 мм); 5 — крупные частицы и мелкие дендриты магнетита (белые), длинные скелетные призмы оливина (светло-серые) в стекле (серое) (длина снимка 1,55 мм)

ного зерна. Следовательно, формируются они из кусков какого-то железистого минерала. Судя по размеру, дробили его на куски 1,5—2 мм, может немного больше. Здесь же встречены вытянутые иглы и скелетные призмы фаялита. Корольки меди единичны. Изредка встречаются оплавленные мелкие частицы железа. Много мелких зернышек кварца, но он может происходить из обмазки печи, а не отражать состав рудовмещающей породы. Встречены небольшие единичные зернышки хромита. Причина различий в кристаллизации оливина в верхней и нижней части шлака, видимо, кроется не в различиях в скорости остывания расплава. Скорее всего, в нижней части шлака попросту не хватало компонентов для формирования оливина. Шлак в этой части, в большей степени, сформировался в результате ошлаковки обмазки пода. Возможно, различия микроструктуры образцов вызвано также тем, что они происходят из разных зон печи. В сущности, это шлак, близкий тому, что мы прежде видели в межовских сериях.

Некоторые образцы были лишь осмотрены или проанализированы с помощью спектрального анализа. С поселения Половинное I III—I вв. до н. э. (раскопки А. Ф. Мельничука, Н. В. Соболевой) осмотрено четыре образца. Один из них (№ 160) представлен шлаковой лепешкой, чья форма указывает на жидкотекучесть шлака, второй (№ 162) — шлаком с керамзитовой коркой, следовательно, плавка велась на обмазке пода печи, и два (№ 163, 164) — кусочками керамзита. Данные образцы не анализировались, но, в целом, не противоречат проанализированной серии.

Сходный шлак был получен и на Зуевском городище (№ 444). Это кусок продолговатого изогнутого тяжелого шлака. Одна поверхность его бугристая, оплавленная. Вторая представлена присохшей ошлакованной глинистой породой. Образец шлака (№ 150) и руды (№ 161) взяты из коллекции Заосиново V. Шлак с Зуевского городища и руда с Заосиново были проанализированы с помощью спектрального анализа (таб. 14-1). В обоих случаях обращает на себя внимание невысокое содержание примесей в обоих образцах и отсутствие мышьяка и сурьмы. Поэтому, скорее всего, речь идет о руде, которая не могла привести к формированию меди ВК. В обоих случаях бросаются в глаза высокие концентрации титана (0,5%), однако трудно сказать, чем это обусловлено.

Технология плавки медной руды

Таким образом, судя по исследованным образцам, чаще в плавку поступала сульфидная руда, вероятно, халькопирит. Плавка велась непосредственно в печи в условиях восстановительной атмосферы при температурах, явно превышающих 1300 °С. По аналогии со шлаками поздней бронзы можно предполагать и более высокие температуры, но пока аналитических оснований для подобных выводов мало. Печь остывала сравнительно медленно. Более быстрая кристаллизация в районе пода печи была обусловлена исключительно составом шлака в этом месте. Потери меди очень невелики, плавку можно назвать вполне совершенной. В целом, шлак соответствует тому, который получен с селища Скородум. Данная технология не соответствует технологии иткульской, но имеет прямую связь с технологией эпохи поздней бронзы региона.

Была изучена также серия образцов из Башкирского Приуралья, которые происходят с поселения Курмантау-5 и Биктимировского городища кара-абызской культуры в центральной части региона, а также с поселения Улак-6 и рудника Олотау (хребет Ирендык, Баймакский район)¹. Последнее поселение примечательно тем, что расположено на юго-востоке региона в степной зоне, и содержит кочевнические материалы раннесакского времени. В противоположность этому, кара-абызская культура рассматривается как результат продвижения с севера ананьинских племен и влияния с востока (из лесостепного Зауралья) гафурийских.

¹ Материалы любезно предоставлены Н. С. Савельевым и В. В. Овсянниковым.

Часть образцов Биктимировского городища и Улак-6 оказалась связана с плавкой железа. К медным шлакам отнесены обр. 2233—2236 с поселения Курмантау-5 и обр. 2340—2342, 2345—2348 Биктимировского городища. Это небольшие бесформенные и тяжелые куски с ошлакованной поверхностью с включениями медной зелени. При подготовке проб выяснилось, что все они являются ошлакованными слитками меди. Поэтому единственной реальной задачей была попытка выяснить — являются ли эти ошлакованные капли и слитки результатом плавки руды или переплавки металла, чтобы установить сам факт наличия плавки руды в этой зоне. С двух образцов Биктимировского городища (2341 и 2347) на анализ была взята, преимущественно, ошлаковка, образованная на поверхности металла, что видно и по содержанию в этих пробах меди (0,2 и 0,6%) (таб. 14-1). Была проведена серия статистических процедур, которая показала, что по сравнению с медью, распределение примесей в этих образцах более соответствует рудному шлаку. Но закономерности перехода элементов-примесей в шлак довольно очевидны на статистически достоверных сериях. При единичных выборках возможны любые факторы. Поэтому можно допускать, что население кара-абызской культуры практиковало плавку медной руды, но строгих доказательств этому нет. Уверенно говорить можно пока лишь о металлообработке.

Проблема происхождения металлургии железа

Как обсуждалось в предыдущей главе, металлургия железа, безусловно, связана с развитием медной металлургии. В шлаках эпохи поздней бронзы и в шлаках раннего железного века мы встречаем включения железа. Но, как правило, они присутствуют в тех шлаках, которые маркируют плавку халькопирита. А эта связь попутного извлечения железа из сульфидных медных руд с собственно металлургией железа находится под большим вопросом. Дело в том, что последняя базировалась на плавке окисленных железных руд и, соответственно, на восстановительных процессах. Поэтому с точки зрения химизма процессов более правомерно искать корни металлургии железа в регионе, где освоили успешное восстановление окисленных медных руд, активно используя, при этом окислы железа, или в качестве флюсов, или они попадали в шихту как рудовмещающая порода.

Не ясны и стимулы к этому переходу. Обычно принято считать, что причина в широкой распространенности железа, но эти идеи не работают на Кипре, где меди более чем достаточно, и во многих других регионах. Но и непосредственный переход от плавки медных руд трудно просматривается. Целенаправленное производство железа таким образом невозможно — для этого нужны очень специфические условия, которых нельзя достигнуть при постоянной рутинной работе плавильщиков. И объемы получения такого попутного железа невелики. Невозможен и прямой перенос опыта плавки и последующейковки меди (Maddin, 1982, p. 303).

Физические и химические принципы архаичного производства железа

Существует серия отличий металлургии меди от металлургии железа. Некоторые отличия видны при поверхностном взгляде, не вдаваясь в химию процесса. При обсуждении проблемы получения меди, мы все время говорили о выплавленной меди, часто о вязком шлаке, из которого приходилось небольшие слитки меди извлекать. Плавка железа иная. Металлурги получали твердое железо, из которого старались выплавить шлак (Tylecote, 1987, p. 114). Особенностью железа является то, что оно тугоплавко, в отличие от меди. Температура плавления железа составляет 1534 °С. Но при этом железо химически более активно, может иметь разную валентность и отдает связанный с ним кислород только при наличии большого объема монооксида углерода. Поэтому сложность плавки состоит, главным образом, в создании печи, которая позволяет до-

стигать высоких температур и создавать восстановительную атмосферу (Schmidt, 1997, p. 110). Печь должна вмещать большее количества угля. Восстановление вюстита (FeO) требует больше оксидов углерода, чем восстановление меди, а восстановление железа еще больше. И дутье должно быть не слишком интенсивным, обеспечивая, при этом, высокую температуру (Wagner, 1993, p. 48). Судя по этнографическим данным из Того, иногда печи на 90% заполнялись углем, что и позволяло получать не только железо, но и сталь (Hahn, 1997, S. 136).

Восстановление железа в печи начинается уже при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, но интенсивней оно проходит при $900\text{—}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. На практике нужны более высокие температуры, но не для восстановления железа, а для отделения шлака (Amborn, 1976, S. 17, 18). Известны случаи (по этнографическим плавкам в Буркина Фасо и Мали в излучине Нигера), когда при плавке достаточно чистой руды обходились и низкими температурами, $900\text{—}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, но плавка велась очень долго, 3—7 дней (Martinelli, 2004, p. 178). Дело в том, что прямое восстановление железа и получение губчатого железа или окатышей без плавления пустой породы возможно и при низких температурах до $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, исключая плавление и спекание. Восстановителем при этом выступает монооксид углерода. Но для его постоянной регенерации необходимо время. Поэтому в этих условиях процесс протекает очень медленно. К тому же количество формирующегося монооксида углерода будет невелико (это прекрасно иллюстрируется приведенным выше примером низкотемпературных плавков в Буркина Фасо и Мали, которые длились несколько дней). Лишь при температуре более $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях крупных современных печей газовая фаза содержит уже до 99% CO. Однако для получения крицы (спекшейся массы губчатого железа) нужны более высокие температуры с образованием шлака (Общая металлургия, 1986, с. 61—63).

Температура не должна быть чрезмерно высокой, так как при высокой температуре ($1600\text{ }^{\circ}\text{C}$, например) будет происходить плавление железа, а затем и его окисление. Но существует и нижний предел, около $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, в противном случае не произойдет формирование жидкого шлака и металл от него не отделится. Типичный кричный шлак содержит вюстит и SiO_2 , небольшую примесь гематита и магнетита (Schmidt, 1997, p. 101).

Химия процесса, на первый взгляд, достаточно проста. Но в случае с железом, все же имеется ряд особенностей, которые влияют на ход плавки. Сам процесс восстановления, как и в случае с медной рудой, осуществляется монооксидом углерода. Поэтому здесь тоже необходимы условия для его формирования, и эти условия, а также последующие процессы с рудой резко различаются в различных типах печей. Археологически известно два типа печи для плавки железа: чашевидные (в углублении и перекрытые куполом) и шахтные (с высокими стенками). Первый тип печи аналогичен тому, что мы видели на примере металлургии меди. В таких печах идет простое формирование монооксида углерода и восстановление железа. Часть железа, при этом, переходит в шлак (Tylecote, 1987, p. 152). То есть, в данном случае процесс не столь отличен от процесса плавки медной руды, но качество криц будет ниже, восстановительные условия не столь хороши, и производительность печи низка.

В шахтных печах процессы иные. Они основаны на постепенном перемещении продуктов сверху вниз. Но условия в разных частях печи будут различны. В районе сопла, или в нижней части печи, монооксид углерода еще не успевает в достаточном объеме формироваться, здесь наблюдается его смесь с диоксидом углерода, поэтому тут условия менее восстановительные, чем выше. В верхней части печи сначала происходит обезвоживание и распад карбонатов, а потом реакции с окислами и металлом. Монооксид углерода реагирует с окисленной рудой, и железные оксиды руды переходят в вюстит (FeO). Это очень важный компонент, поскольку именно из него восстанавливается железо. Но он же при температуре $1175\text{ }^{\circ}\text{C}$ соединяется с силикатами и формирует жидко-

текучий фаялитовый шлак. В этом есть определенный парадокс: этот шлак необходим для успешной плавки, но его формирование уменьшает долю конечного продукта, ситуация, с которой мы не сталкивались при обсуждении металлургии меди. Фаялит и вюстит при высокой температуре плавятся и постепенно начинают погружаться вниз. При этом уже в верхней части печи может формироваться какое-то количество железа, которое, будучи в твердом состоянии, остается в верхней части печи (Schmidt, 1997, p. 120—124, 133). Но и с железом могут происходить новые метаморфозы. Железо соединяется с углеродом, формируя Fe_3C , но даже при меньших содержаниях температура плавления становится ниже. Железо с содержанием углерода 4,3% плавится при температуре 1147 °С (в отличие от чистого, чья температура плавления 1534 °С). И такое расплавленное железо могли получать всегда и везде, но использовать стали только в Китае. Здесь существует обратная зависимость — чем меньше в железе углерода, тем выше температура его плавления. И особенности дальнейшего процесса зависят от этого баланса температуры и содержания углерода. Поэтому идет разделение: вверху остается твердое чистое железо, ниже находится сталь, а расплавленное железо, вобравшее большее количество углерода, опускается в самый низ печи. Естественно, такое разделение не происходит в полной мере, и наличие этого расплавленного железа способствует объединению железа в крупные крицы с небольшими включениями шлака. Науглероженное расплавленное железо, опускающееся вниз, попадает в более окислительную среду, где часть железа восстанавливается, теряя углерод, а часть окисляется и, соединяясь с силикатами, формирует фаялитовый шлак. Часть опускающегося вниз вюстита (при недостатке силикатов) может восстановиться до железа, а может остаться в шлаке в виде оксида. В результате, в разных частях печи идут разные процессы и получаются различные продукты. В принципе, большое содержание вюстита в шлаке означает частичную потерю конечного продукта, и это характеризует многие ранние плавки. Это может быть вызвано тем, что он недостаточное время находился в восстановительных условиях или было недостаточно науглерожено опустившееся вниз железо, так как вюстит помогает избежать карбонизации, отдавая кислород и восстанавливаясь, при этом, до железа. При других условиях, если вюстит с науглероженным железом не реагировал, или в нижней части печи условия были восстановительными, могло получаться большее количество стали (Tylecote, 1980a, p. 209; Tylecote, 1987, p. 152; Childs, 1996, p. 299). В этой же нижней части печи скапливалась большая часть шлака.

Поэтому конечным продуктом древнего кричного производства в шахтной печи было сыродутное железо и какое-то количество стали, которые, благодаря наличию расплавленных компонентов (науглероженное железо и шлак) сплавлены в крицы. Эти крицы (а это вовсе не обязательно одна большая крица) необходимо было подвергать дополнительной обработке в видековки в горячем состоянии для удаления из них включений угля и шлака, соединяя их в более крупные крицы. Второй причиной этойковки является необходимость уплотнения металла (Fluzin, 2004, p. 71). В ходе этой операции происходят дополнительные потери железа. До этого мы видели, что много железа остается в шлаке в виде фаялита и вюстита. Обычно шлак содержит 40—50% железа. Но, с учетом объема шлака, потери могут быть достаточно большими. В крупные (2,5—3 м высотой) шахтные печи народности банджери в Западной Африке загружали 55 кг руды, 18 кг угля и 15 кг дров. На выходе из печи извлекалось 29 кг шлака, 14 кг железа и 5 кг не прогоревшего угля (Goucher, Herbert, 1996, p. 50).

Этнографические данные по плавкам в Индии дают детальные сведения по последующим потерям при обработке криц. В Мадрасе приковке крицы весом 11 фунтов получали 6, иногда 3 фунта железа. Частично это происходит за счет удаления шлака и иных включений, но и само железо приковке шлакуется и откалывается. Поэтому при кричном производстве можно использовать только самые богатые месторождения

(Craddock, 2003, p. 233). Исходя из вышеприведенных цифр, на 55 кг руды при архаичных сыродутных технологиях получали 3,8—7,6 кг готовых криц. Есть и несколько более низкие цифры. В Кэмэр Джода в Индии в чашевидную печь помещали 30 фунтов руды и столько же угля, получая на выходе 2 фунта железа (Chakrabarti, 1992, p. 138).

Крицы старались проковывать сразу после извлечения из печи, но, в случае остывания, был необходим и их дополнительный нагрев. Это тоже зафиксировано этнографически в Индии (Chakrabarti, 1992, p. 135). Естественно, это делалось уже в других печах. В оппидуме Михельсберг (ранний железный век Германии) разогрев криц осуществлялся в открытых очагах (Pleiner, 1980, p. 400). В Северо-западной Танзании обнаружены небольшие печи для нагрева и спекания криц, датированные I тыс. до н. э. (Schmidt, Childs, 1996, p. 213). Но это не кузнечные горны, которые являются более открытыми. В той же Танзании у народности фипа существовали два типа сооружений: для спекания криц, их нагрева и удаления шлака (с высотой стенок до 40 см) и открытые очаги для последующейковки (Barndon, 1996, p. 63).

Весь процесс плавки непосредственным образом связан с последующими кузнечными технологиями. В известном смысле, здесь мы имеем дело с той же системной ситуацией, которую мы наблюдали в технологиях эпохи бронзы. Дело в том, что железо — уникальный металл, который можно легировать углеродом, и он резко меняет свойства. Если содержание углерода не превышает 0,008%, это чистое железо, феррит. Это железо хорошо куется, но оно слишком мягкое. При больших содержаниях (до 1,7% C) мы имеем дело со сталью, которая тоже ковкая, но при более высоких содержаниях углерода железо уже легко плавится и становится хрупким. Кричное железо может быть ненауглероженным ферритом или сталью низкой степени (Amborn, 1976, S. 15; Wertime, 1980, p. 6; Schmidt, 1997, p. 101). Получение какого-то количества стали есть вполне нормальная вариация кричного процесса, отмеченная в Европе и для раннего железного века и для раннего средневековья (Killick, 1996, p. 259, 260).

И с этим связан очередной ряд трудностей. Именно сложность обработки была причиной медленного распространения этой технологии (Waldbaum, 1980, p. 87). Далее мы увидим, что железоделательные технологии начинают распространяться достаточно рано, в XIII—XI вв. до н. э. в разных частях света, но это не приводит к тому, что железо становится доминирующим металлом. Бурное распространение происходит несколько позже.

Это связано еще с одной особенностью железа, но если прежние особенности еще как-то выводимы из металлургии меди, то эта не имеет с медью ничего общего. Дело в том, что бронза гораздо лучше по своим свойствам, чем железо в чистом виде. Она достаточно прочна, хорошо куется, ее можно отливать. Железо, если его не подвергать специальной обработке, ей уступает по всем параметрам. Железо начинает преобладать над бронзой только после науглероживания, процесса, который нельзя перенести непосредственно из металлообработки бронзы, где этот эффект отсутствует. Научиться этому можно лишь опытным путем, после длительной работы с железом. Частично углерод может содержаться уже в некоторых крицах. Поверхностное науглероживание и упрочнение происходит с железом уже при горячейковке под слоем угля. Но выдающиеся свойства железо (в данном случае, сталь) получает при длительном нагреве с углем. Такое железо (перлит) состоит из двух фаз: мягкого и ковкого железа (феррит) и твердого и хрупкого карбида железа (цементит). Их вариации и обеспечивают свойства металла. Но если этот металл после термической обработки резко остудить, то он преобразуется в мартенсит, который тверже перлита, но более хрупок (Wheeler, Maddin, 1980, p. 118, 119, 121, 124; Maddin, 1982, p. 303, 304). Разные варианты обработки позволяли получать железо различного качества и для различных целей. Поэтому присутствие в железе углерода без признаков закалки не является показателем, он часто встречается в

крицах Средиземноморья в тех же содержаниях, как и в современной стали (Snodgrass, 1980, p. 338).

Это закаливание могли делать после кузнечных операций, но иногда и до них. В Индии сталь получали достаточно простым способом: в тигель помещали небольшие кусочки железа с углем или ветками дерева, покрывали их листьями, тигель закупоривали глиной, ставили в печь, заполняли печь углем и нагревали несколько часов. Иногда железо доставали и сразу остужали (Tylecote, 1980a, p. 214; Chakrabarti, 1992, p. 144).

Существуют и иные элементы, которые изменяют свойства железа. В первую очередь, это фосфор, который снижает температуру плавления железа, но и дает нежелательные свойства при ковке. Железо при небольших содержаниях фосфора становится даже более твердым, чем науглероженное, но это делает его хрупким. Обрабатывать его можно только горячей ковкой, так как при холодной ковке могут возникать трещины. Снижение температуры плавления позволяет формировать крицы больших размеров. Но при ковке возникает множество непредсказуемых проблем, и работать с этим металлом надо было очень осторожно. Поэтому в древности не легировали фосфором. Фосфор мог содержаться в руде и угле, но в процессе плавки большая часть его испарялась (Schmidt, 1997, p. 126, 127; Childs, 1996, p. 299, 301, 309, 311). Поэтому основным способом упрочнения железа оставался углерод.

Этим важным процессом, науглероживанием, овладели между XII и X вв. до н. э. в Восточном Средиземноморье, но еще в IX в. до н. э. это науглероженные по поверхности изделия (Wheeler, Maddin, 1980, p. 116; Maddin, 1982, p. 311). То есть, науглероживание осуществлялось во время специальных кузнечных операций. В описании Гомера железо становится тверже при охлаждении в воде. Но это возможно только для стали, которая, следовательно, во время Гомера (VIII в. до н. э.) уже существовала (Muhly, 1980, p. 52). Наряду с этим употреблялись кричное железо и сталь. В скифское время в Восточной Европе повсеместно заметную роль играли изделия из мягкой неравномерно науглероженной (сыродутной) стали (Терехова и др., 1997, с. 48—72). Та же ситуация наблюдается повсюду (Pleiner, 1980, p. 388).

Железоделательные печи Старого Света

Прежде, чем приступить к описанию печей, зафиксированных в Северной Евразии, обратимся к данным по печам иных ареалов, что позволит нам оценить характер конструкций и определить, насколько мы можем отождествлять их с железоделательным производством.

Если говорить о принципиальных типах печей для производства железа, то таких выделяется три: чашеобразная, шахтная и купольная. Правда, первый тип, с углублением пода выделяется условно, так как археологические данные не всегда могут надежно реконструировать высоту и форму стен или перекрытия. Поэтому не исключено, что это вариант шахтной или купольной печи с углубленным подом. Чашеобразная и купольная печи могли работать только на принудительном дутье из воздуходувных мехов. Из ранних печей шлак не выпускался, а опускался на под печи. Предполагается, что для его извлечения печь разбирали, а допускаемые для такой печи температуры составляли 1150 °С. Развитие этого типа печей выразилось в появлении ям для выпуска шлака (Tylecote, 1980a, p. 210, 212). Такие купольные печи со сливом шлака зафиксированы в Центральной Европе. Диаметр их составлял 1 м, а высота до 1—2 м (Pleiner, 1980, p. 399). Тот же тип отмечен в Нигерии на памятниках VIII в. до н. э. Печи там 0,85—1,25 м диаметром соединены каналом с ямами для выпуска шлака. Достижимые температуры колебались в пределах 1155—1455 °С (Ekafor, 2004, p. 44). В печах этого типа сложно создать достаточно восстановительную среду, поэтому в шлаках присутствует много вюстита.

Впрочем, наиболее высокие печи этой серии, вероятно, уже нельзя относить к купольным, они могут быть отнесены к шахтным печам. Например, на поселении Мюльбах, в Миттерберге в Австрии, исследовано восемь печей высотой 1—1,5 м, с внутренним диаметром 50—60 см (Herdits, 2003, p. 71, 72). Поскольку высота стенок здесь гораздо больше диаметра, печи могут быть отнесены к шахтным. В упомянутой выше Нигерии (в Таруга) развитие идет в том же направлении. Здесь зафиксированы шахтные печи без слива шлака, высотой 1—2 м, датируемые периодом V—III в. до н. э. (Jemkur, 2004, p. 39). Аналогичные печи IV—III вв. до н. э. отмечены в культуре Нок в Нигерии (van der Merwe, 1980, p. 479). В этих печах уже было меньше проблем с созданием восстановительной атмосферы, для этого печь должна быть высокой, с высотой в два раза больше, чем диаметр (Schmidt, 1997, p. 172). В Африке эта тенденция постепенно развилась в производство в высоких печах с естественным дутьем и нагревом воздуха, производством высокоуглеродных криц, которые в процессековки разуглероживались. Поэтому здесь можно говорить об определенном типологическом ряде печей: чашеобразные, низкие шахтные без ямы для слива шлака, низкие шахтные с отверстием для слива шлака и извлечения криц, высокие с естественным дутьем (van der Merwe, 1980, p. 486, 489). Этот ряд, в целом, можно рассматривать как принципиально генетический, но он не строг. Разные типы могут или существовать или обнаруживаться на одной территории. В районе Гвинейского залива археологически известны, например, печи шахтные, чашевидные и купольные. Есть и печи с выпуском шлака (De Maret, Rhiy, 1996, p. 33). Не исключено, что это связано с тем, что плавка в этих печах дает разное по качеству железо. Насколько можно судить по этнографическим данным из Индии, в результате плавки в шахтной печи получали смесь железа и стали, а плавки в чашевидной печи позволяли произвести достаточно чистое железо, без серы, углерода и иных примесей (Chakrabarti, 1992, p. 138). Это вполне естественно, так как содержание углерода в шахтной печи значительно выше. Поэтому, в принципе, сосуществование этих двух типов печей на соседних территориях возможно, но это зависит от традиций последующей обработки металла.

О динамике развития печей в Европе судить сложнее, так как многие ранние данные очень спорны. Для наиболее раннего периода появления железа в Европе (гальштатт) очень часто встречаются упоминания о плавках железа, но реальных данных почти нет. Те печи, что упоминаются — крупные ямы, которые служили, скорее, для обжига руды (Pleiner, 1980, p. 386). В Юго-восточной Германии уже в начале РЖВ отмечено два типа печей: шахтные со встроенной ямой, куда опускался шлак, и купольные (Gassmann et al., 2005, p. 85). В Австрии (конец периода гальштатт D, около 500 г. до н. э.), на поселении Вашенберг зафиксировано девять очагов диаметром и глубиной 30—40 см, с глиняной обмазкой и ошлаковкой. Рядом найдены шлак и крицы, что указывает на плавку руды. Такие же небольшие печи отмечены в кельтское время, когда появляется гораздо больше данных. В Британии это печи с углублениями 20 см, 25—35 см диаметром, но высота стенок не ясна. В таких печах проблематично отделить железо от шлака (Pleiner, 1980, p. 386, 397). Но, из-за малого диаметра, если бы это была купольная печь, ее реакционная зона была бы незначительной, и в такой печи было бы невозможно восстановить железо. Поэтому очень вероятно, что стенки были достаточно высоки, и это вариант шахтной печи с углубленным подом для приема шлака. Например, в некоторых районах Индии (по этнографическим данным) плавки вели в печах всего лишь 1 фут диаметром, имевших углубление в основании и стенки высотой до 2 футов. Плавка позволяла получать очень чистое железо, но была не слишком производительна (Chakrabarti, 1992, p. 138).

В древней Европе в шахтную печь с углубленным подом вниз укладывали ветки, а выше слои руды и угля. Ветки не давали шихте сразу опуститься вниз, и при горении создавали внизу достаточное количество углерода. Шлак стекал вниз, где накапливался

вместе с углем, крица оставалась выше, на уровне сопла. Предполагается, что этот тип печи происходит из Богемии, Малой Польши и Тюрингии (Pleiner, 1980, p. 398). После заполнения ямы шлаком печь ставили в новом месте (Tylecote, 1987, p. 154). Это, в принципе, должно хорошо фиксироваться археологически, что прекрасно подтверждается целой серией африканских материалов.

Прием размещения в нижней части печи мелких веток или травы хорошо изучен этнографически в Африке. В этом случае трава дает обилие угля, и стекающий вниз сквозь нее шлак (содержащий фаялит и вюстит), с ним активно реагирует, происходит не только восстановление железа в этой нижней части печи, но и его науглероживание. Если железо получает 2,4% углерода, то местами появляется даже расплавленное железо (Schmidt, Avery, 1996, p. 179). Это достаточно традиционный способ, так как в шлаках первой половины I тыс. н. э. Северо-западной Танзании иногда фиксируются отпечатки листьев или камыша. В одной из печей этого времени железо оказалось науглерожено до 1%, в результате продолжительного нагрева при 800—850 °С (Schmidt, Childs, 1996, p. 219, 220). То есть, в этом случае всегда происходит образование стали в нижней части печи. Иногда фиксируется стремление поднять реакционную зону выше уровня сопла, чтобы в нижней части печи скапливался шлак. Сделать это можно и без углубления пода. Металлурги народности фипа в Юго-западной Танзании заполняли печь слоями руды и угля, а ниже клали сырые бревна (Barndon, 1996, p. 63; Childs, 1996, p. 285). Результат в данном случае был тот же, что и при углублении пода.

По мнению Тайликота, основными типами печей в Европе были купольная и шахтная со встроенной ямой. Шахтные печи появились в Анатолии около 1000 г. до н. э., и вскоре после этого стали распространяться на запад. Потом возникла идея сооружать внизу яму — приемник для шлака. Эти печи распространены во Франции и Британии (иногда они имеют совершенно незначительный диаметр). Купольные и близкие им чашевидные печи присутствуют в Германии, и в разных районах Северной Европы сосуществуют с шахтными. Вероятно, это привело его к мысли о том, что этот тип печей мог распространяться из Анатолии вместе с шахтными, но возможен и отдельный путь — через Кавказ (Tylecote, 1987, p. 156—158, 167—173, 176).

Но вершиной развития железоделательных печей в Европе стали римские провинциальные шахтные печи (Pleiner, 1980, p. 399). В римский период даже в Нубии производили выпуск шлака из сравнительно небольших печей 1 м высотой и 50 см внутреннего диаметра (van der Merwe, 1980, p. 474).

В большинстве районов Африки этнографически зафиксированные печи относятся к шахтному типу, и принцип их работы изучен очень хорошо. Высота этих печей достигала 2 м, а иногда и 3 м. Диаметр печей колебался в пределах 80—140 см. Такая высота позволяла создавать значительную реакционную зону и осуществлять успешное восстановление железа; часто попутным продуктом была сталь (Goucher, Herbert, 1996, p. 46; Schmidt, 1997, p. 173, 175; Hahn, 1997, S. 107; Barndon, 1996, p. 62). Чаще всего в такие печи дутье осуществлялось без мехов. В основание печи вставляли 8—12 сопел. Воздух через них поступал за счет того, что в печи горячий легкий газ поднимался вверх, и печь втягивала воздух снаружи. Это менее эффективно, чем дутье воздуходувными мехами, но с этой работой мог справляться один человек. Регулировали поступление воздуха пробками из дерева, обмазанного сырой глиной. Это позволяло достигать температуры более 1000 °С и выше, 1200—1300 °С (Hahn, 1997, S. 107, 134, 135; De Maret, Rhiry, 1996, p. 33; Goucher, Herbert, 1996, p. 46, 48). Но для этого нужна высокая печь или наличие высокого дымохода. Без этого трудно превзойти температуру 850 °С (Tylecote, 1987, p. 181).

Однако это чисто африканское явление. В большинстве же случаев высота печей была меньше, и дутье осуществлялось с помощью воздуходувных мехов. Так повсемест-

но поступали в Индии. При этом для крупных печей мехи делались из бычьей шкуры, а для небольших из овечьей. Здесь в одну эпоху наблюдается значительная вариабельность и типов печей и обращения со шлаком. Он временами или по завершении плавки выпускался или оставался в печи до конца плавки. Отверстия для извлечения железа и шлака располагались внизу. И высота печей колебалась от 2 до 7 футов (Chakrabarti, 1992, p. 130—140).

Таков общий историко-технологический фон, позволяющий рассматривать материалы Северной Евразии.

Металлургия железа в Донецком бассейне

Очень вероятно, что в Донбассе металлургия железа стала складываться еще в эпоху финальной бронзы в рамках бондарихинской культуры XI—IX вв. до н. э. Мы помним из предыдущей главы, что здесь тоже ранее имело место знакомство с железом, полученным при плавке сульфидных медных руд.

На поселении Лиманское озеро обнаружены куски окисленной железной руды, лимонита, а также железоплавильный горн (рис. 14-4). Горн имел размеры 2,1×0,8 м и состоял из трех углубленных на 0,33—0,42 м частей. В заполнении обнаружены куски ошлакованной обмазки, шлаки, лепешка железа диаметром до 8 см, толщиной 4 см¹, с выпуклым нижним краем и круглой впадиной сверху; железный стержень длиной 2,5 см, толщиной 2—3 мм; куски глиняного сопла. Находки железа известны и на других поселениях этой культуры (Татаринов, 1980, 1986).

Этому типу печей известна лишь более поздняя аналогия в кельтском оппидуме Михельсберг. Она представляла собой траншею длиной 186 см и шириной 80 см (Pleiner, 1980, p. 400).

Возможно, эти вытянутые конструкции были нужны для того, чтобы увеличить реакционную зону и создавать восстановительную атмосферу, но этот тип конструкции менее эффективен, чем шахтные печи.

Здесь известно 25 железных изделий этого времени, которые повторяют формы бронзовых образцов. При их изготовлении применялась горячая ковка, иногда сварка, встречаются следы карбонизации. К концу IX в. до н. э. количество изделий растет, они известны на Северном Кавказе, в Северном Причерноморье и Среднем Поволжье. С VIII—VII вв. до н. э. отмечена цементация. Предполагается, что в основе этого производства лежали две традиции — восточноевропейская (получение низкокачественного железа) и восточноевропейская (цементация и производство стали) (Корякова и др., 2011, с. 11, 12; Эрлих, 2011, с. 46). То есть, предполагается, что технология плавки руды является местной разработкой, а последующее ее совершенствование южным заимствованием. Но мы видим, что это абсолютно синхронно этапам освоения железа в Восточном Средиземноморье. Переход от плавок медных руд к плавке железных не столь прост. Поэтому вероятнее поступление первичного импульса тоже с юга. Возможно, что технология цементации была заимствована. Но данный переход проще. Поверхностное науглероживание происходит уже при ковке изделий. Тем не менее, с восточноевропейским влиянием в данном случае можно согласиться, так как юг Восточной Европы был связан через Кавказ с более развитыми производящими центрами. И диффузия технологических усовершенствований была просто неизбежна. В Закавказье производство стали появляется уже в X в. до н. э., а на Северо-западном Кавказе, позже, в VIII в. до н. э., но, в первую очередь в предгорных центрах, связанных с Закавказьем (Эрлих, 2011, с. 46). С конкретным районом Ближнего Востока эти

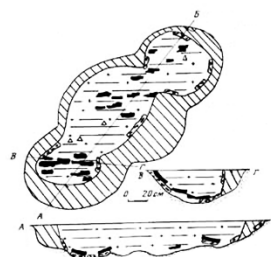


Рис. 14-4. Железоплавильный горн с поселения Лиманское озеро (по Татаринов, 1980)

¹ Поскольку удельный вес железа 7,8 г/см³, то общий вес этой лепешки железа составляет около 1570 г.

импульсы связать трудно. В Иране, на Хасанлу, есть биметаллические изделия, появляющиеся на Кавказе, есть и множество железных изделий, хотя его получение из руды здесь и не зафиксировано (Pigott, 1989, p. 71, 74).

Предполагается, что с Кавказа технологии получения железа проникают в VIII—VII вв. до н. э. на север, в Поволжье и Прикамье, в среду ананьинской культуры. Часть этого железа явно южный импорт, но для части предполагается местное производство (Корякова и др., 2011, с. 12). Южные параллели в технологии металлообработки и типах изделий (в особенности биметаллические изделия) позволили сделать вывод о том, что имела место миграция с Северного Кавказа, с которой пришли и мастера (Терехова и др., 2007, с. 77). С этим нельзя не согласиться. Выше мы рассматривали единичные, к сожалению, образцы медного шлака этой культуры. Плавка руды здесь наследовала прежние традиции ПБВ региона и, в принципе, здесь могли получать ограниченное количество попутного железа. Но из этой технологической схемы производство железа напрямую не вытекает. И, если диффузия технологии кузнечной обработки через разные районы допустима (если это тоже показано, а не декларировано), то появление плавки руды без прихода мастеров вряд ли возможно.

Однако остается вопросом — насколько далеко эти влияния простирались на восток, где не исключено и самозарождение этого производства. Можно допускать и какие-то ближневосточные импульсы на востоке, но какие-либо серьезные основания для подобного вывода пока отсутствуют. Это предположение может строиться лишь на гипотезе о ближневосточном происхождении карасук-ирменского блока культур, позднеирменских импульсах на запад и на фиксации признаков плавки железа в бегазы-дандыбаевских комплексах.

К сожалению, имеющиеся на сегодняшний день аналитические материалы не позволяют делать каких-либо заключений по этому поводу. Проанализированные нами серии шлака, документирующие этот процесс, пока слишком невелики.

На первый взгляд представляется оправданным связать появление железа с дальнейшим развитием традиции плавки первичных сульфидов, характеризующих металлургию Уральского региона в эпоху поздней бронзы. Однако, как следует из весьма ограниченных, но показательных анализов шлака эпохи финальной бронзы, к началу раннего железного века происходит повсеместный переход на окисленные руды и вторичные сульфиды. И именно эта традиция наследуется большинством производящих центров Северной Евразии эпохи раннего железа. Обращает на себя внимание и то, что, во всяком случае, на Урале металлургия железа возникает не сразу с началом раннего железного века. Поэтому, как и использование метеоритного железа, традиция плавки халькопирита с попутным получением некоторого количества металлического железа, к возникновению металлургии железа, по-видимому, не привела, хотя и способствовала знакомству с железом и развитию навыков его обработки и использования. Учитывая малый объем проанализированного шлака периода финальной бронзы и раннего железного века, этот вывод нельзя рассматривать в качестве окончательного, но в настоящее время впечатление складывается именно такое. Какие-то гипотезы появляются лишь с исследованием шлаков железной плавки.

Металлургия железа в Зауралье

Металлургические печи

К сожалению, печи, связанные с металлургией железа в Зауралье надежно не документированы. Считается, что они имели конструкцию, идентичную печам для плавки медной руды и допускается, что это были наземные печи с приемником для шлака (Бельтикова, 1993, с. 101, 104). На первый взгляд, такие печи действительно существуют. Во время наших работ на городище Гусева Гора¹ на оз. Большая Нанюга была выявлена серия печей. Городище расположено на гористом острове, возвышающемся над озером.

¹ Работы осуществлялись А. Г. Гаврилюком, С. А. Григорьевым, А. М. Наумовым, Ю. В. Васиной.

Возвышенная часть острова окружена рвом и валом, внутри выявлены жилые постройки, материалы иткульской культуры, по склонам обнаружено большое количество металлургического шлака от железоделательного производства. Следы медных плавок на городище не отмечены. Две печи близки обсуждаемому типу (рис. 14-5.1, 2).

Первая из них (уч. 1Б/1) имела прямоугольную форму и размеры 2×1,15 м. В юго-восточной части в верхнем очертании расчищен кусок прокаленной обмазки с цилиндрическим вдавлением диаметром около 9 см. Видимо, это фрагмент основания трубы. Ниже пошли куски прокалов и золистые слои. Но в северо-западной части обмазка основания толщиной 4 см лишь подсушена, но не прокалена, то есть, она подвергалась легкому температурному воздействию. Эта часть углублена на 25 см от уровня материка. Юго-восточная часть поднимается небольшой ступенькой, и в центре зафиксирован прокал мощностью 25 см, то есть, основная температура была именно здесь. Но свод печи над обеими частями был единый, что обеспечило его прокаливание в обеих частях и подсушивание основания на северо-западе. Он рухнул, перекрыв все. Это единое перекрытие обеспечило температуру в обеих частях, подсушивание и прокаливание обмазки на северо-западе, хотя горение происходило только на юго-востоке.

Вторая печь (уч. 1А, 1Б/1, 2) фиксировалась в виде углубления Г-образной формы со скругленными углами и тоже состояла из двух частей. Юго-восточная часть имела размеры 70×65 см, материковые края здесь с самого верха были сильно прокалены. В заполнении расчищены фрагменты прокаленных рухнувших стенок или свода, обожженные камни размером 5—15 см. Вниз стенки несколько расширились, образуя небольшой материковый свод. Они сильно прокалены и покрыты слоем обмазки с мелким камнем. Северо-западная часть имела размеры 80×50 см, и прокалы здесь отсутствовали. В центре основание этой части находилось на уровне пода печи, севернее и южнее располагались небольшие возвышения.

В принципе, эти печи можно пытаться трактовать как плавильные печи с приемником шлака в северо-западной части. Но обе эти печи располагались в жилищах. Правда, и для железоделательного производства в Европе известны печи в жилищах. Особенно это характерно для северных районов (Pleiner, 1980, p. 401; Tylecote, 1987, p. 171). Однако рядом с этими печами не обнаружено ничего, указывавшего на металлургическое производство. Поэтому, скорее всего, это обычные бытовые печи.

Но две другие печи совершенно определенно связаны с производством железа, поскольку рядом с ними и внутри найдены шлаки и крицы. Вокруг этих печей лежало большое количество прокаленных кусков стенок.

Обе печи стояли на краю глиняных площадок. Перед их сооружением убирали почву и клали слой гумуса, принесенного снизу, от озера (поскольку он не содержал включений мелкого камня), который утрамбовывался и перекрывался слоем глины мощностью 10—20 см. В основании одной из площадок лежали кости животных. Этнографические параллели этому существуют. В Танзании, у народности фипа, где плавильный процесс был ритуализирован, при строительстве печи приносились жертвы, и в печь могли вмонтировать кости льва (Barndon, 1996, p. 65—67). Но более правомерны какие-то рациональные объяснения. Вероятно, в нашем случае кости исполняли роль арматуры.

Ширина глиняных площадок составляла 1,5—1,7 м, длина 2,5—3 м. На площадках обнаружены куски деревянных плах, лежавших в поперечном направлении, вероятно, остатки навеса. Навес, видимо, был достаточно капитальный, срубного типа, так как столбовых ямок вокруг не обнаружено, а по краям одной из площадок расчищены камни, некоторые из которых были достаточно крупными, до 50 см. Отдельные камни перекрывали плахи навеса, то есть, они прижимали перекрытие. Такие камни на легком перекрытии из камыша наверняка бы не удержались.

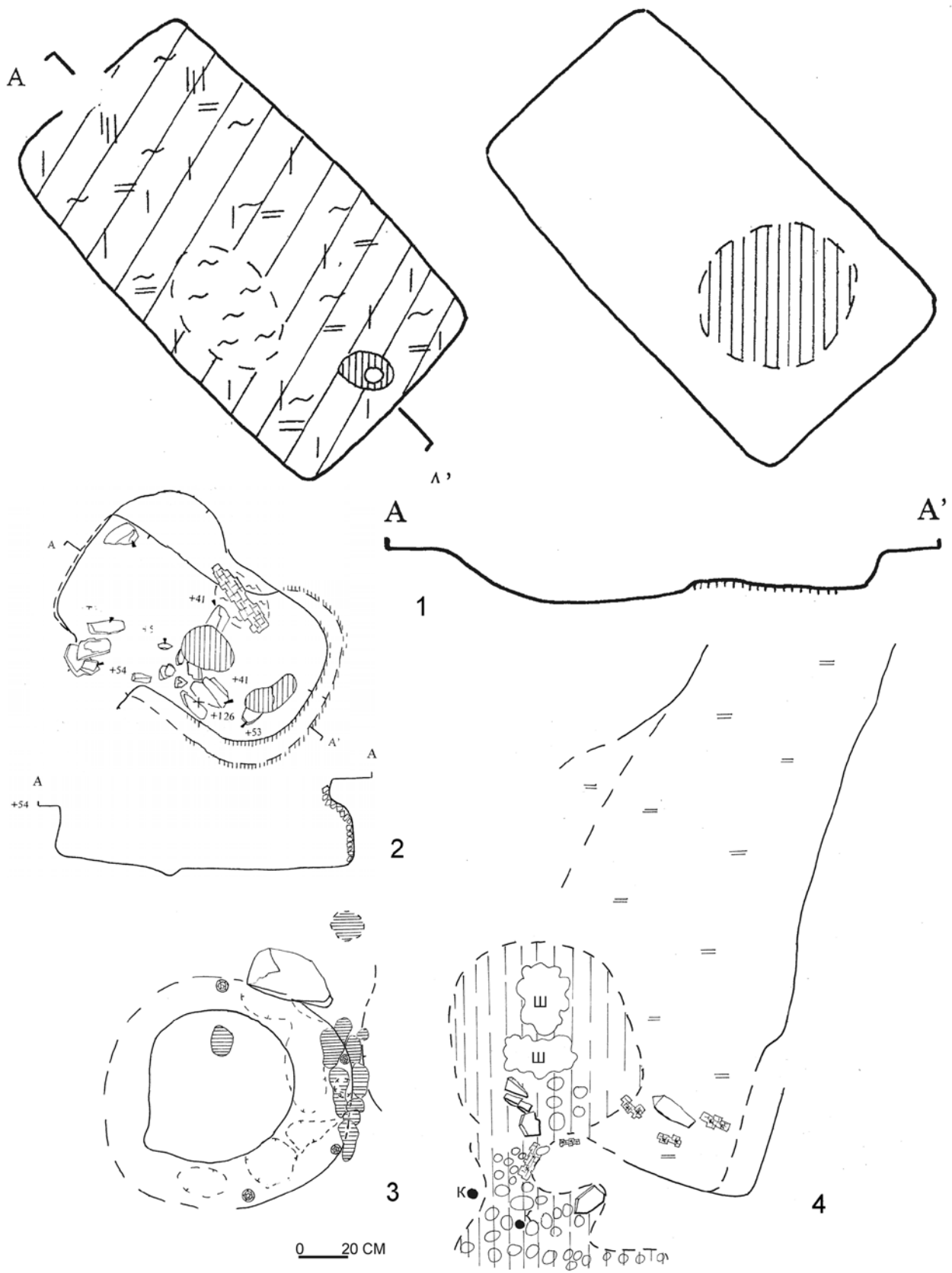


Рис. 14-5. Бытовые (1, 2) и металлургические (3, 4) печи городища Гусева Гора. 1 — уч. 1Б/1; 2 — уч. 1А,1Б/1,2; 3 — уч. 1Г,1Д/2; 4 — уч. А,Б/-1

Назначение этих площадок не вполне ясно. Аналоги им есть в железоделательных печах римского времени, которые ставились на краю глиняной платформы, рядом находились ямы-приемники, и вся эта конструкция служила для выпуска шлака (Tylecote, 1980a, p. 217, fig. 7.12.a). Но, как мы увидим из анализа микроструктуры шлака, он не выпускался. Поэтому аналогом являются глиняные площадки, которые мы обсуждали для позднебронзового поселения Горный, где шлак тоже не выпускался. Это служило только для удобства работы.

В глиняной площадке при строительстве одной печи (уч. 1Г, 1Д/2) выкапывался кольцевой ровик диаметром 1 м, шириной 15—20 см, глубиной 3—4 см. Вдоль внешнего его края вбивались колья диаметром 5 см на глубину 5 см. Их перевязывали, и с внутренней стороны намазывали глину и обертывали мокрой тканью. В результате, на фрагментах стенок сохранились отпечатки этих колея и ткани. Обматывание мокрой тканью осуществлялось для того, чтобы обеспечить равномерное просыхание печи и избежать трещин в стенках. Соответственно, печи были цилиндрическими и строились в один прием, а не постепенным намазыванием слоев. Параллельно с возведением стенок намазывали под печи. При строительстве второй печи (уч. А, Б/-1) был сделан кольцевой фундамент из гумуса, но прочая технология была та же.

Такая тщательная подготовка стенок печи объясняется необходимостью предотвратить их оплавление в условиях длительной плавки при высоких температурах. Это было, вероятно, стандартной операцией при строительстве железоделательных печей. В Африке плавильщики старательно заглаживали стенки, а потом жгли внутри траву, чтобы ускорить сушку. На под печи помещали слой песка, чтобы защитить его от воздействия шлака (Goucher, Herbert, 1996, p. 46, 47), но у нас последняя операция не зафиксирована.

Полученный размер плавильной полости у одной печи был 60×40 см, а у второй 60×55 см. В нижней части стенки, обращенной к краю площадки, зафиксированы отверстия, служившие, вероятно, для нагнетания воздуха и извлечения продуктов плавки из печи. Стенки и под печей были прокалены. Фрагменты прокаленных стенок были собраны, и это позволило оценить размер конструкции. Первоначальная высота ее составляла 1,5 м. В одной из печей обнаружено два крупных куса шлака, а в развале стенок две железные крицы.

Сочетание печи со специально подготовленной площадкой, присутствие навеса указывают на то, что печь служила долго. Печи в некоторых районах Африки после плавки разбирали (Schmidt, 1997, p. 100—102). Но, вероятно, если плавильный комплекс размещался на поселении, это была относительно долговременная конструкция. Судя по наличию отверстий внизу, извлечение продуктов плавки осуществлялось именно через них. Загружали печь, естественно, сверху. Это позволяло в ходе плавки делать и дополнительные загрузки шихты, как это имело место иногда в той же Африке (Amborn, 1976, S. 27), но у нас таких данных нет.

Таким образом, эти две исследованные печи надежно связаны с плавкой железной руды, и их конструкция позволяет понять — каким образом удавалось достичь восстановительной атмосферы, используя окисленные руды и поддерживая высокую температуру. Поскольку дутье осуществлялось снизу, а шихта заполняла всю печь, воздух проходил значительное расстояние через шихту, что приводило к интенсивному формированию монооксида углерода и создавало восстановительную атмосферу. Вероятно, этот переход от купольных печей к высоким цилиндрическим (или шахтного типа) и позволил окончательно утвердиться металлургии железа. Где-то это могло реализовываться и иначе, но общий принцип — создание достаточного пространства для формирования монооксида углерода, должен был соблюдаться везде. Вместе с тем, как мы видели, подобные печи маркируют отнюдь не раннюю стадию развития железоделательных печей,

хотя технологически эти печи уступают более развитым печам со спуском шлака или с ямой — приемником в основании.

Шлаки

Небольшая серия шлака, связанного с металлургией железа, была отобрана для анализа с городищ в районе Озерска (рис. 14-6). Это предгорная лесная зона на севере Южного Зауралья, изобилующая озерами и с многочисленными выходами медной и железной руды. Всего для анализа было отобрано 9 образцов шлака, происходящих с городищ II Иртышское, Ужовой остров и Киреты 1 на озере Иртыш, и с городища Гусева Гора на озере Большая Наного.

На городище II Иртышское выявлены материалы второй половины VI—IV веков до н. э. (иткульская и гамаюнская культуры). Поэтому шлаки с этого городища определенно относятся к раннему железному веку.

Шлаки с городищ Ужовой остров и Киреты 1 относятся к эпохе Средневековья (петро-громская культура X—XII веков).

На городище Гусева Гора представлены иткульские материалы раннего железного века и средневековые X—XIII веков. Это городище наиболее богато шлаками. Крупные куски шлака диаметром до 30 см встречаются в больших количествах у подножия холма, на котором располагается памятник. Поэтому, в принципе, шлаки могут датироваться как ранним железным веком, так и средневековьем.

В силу столь малой выборки и хронологической неопределенности образцов Гусевой Горы, результат исследования этих шлаков не в состоянии решать какие-то частные вопросы металлургии этого региона в различные периоды поздней древности. Наше исследование их обусловлено лишь стремлением представить наиболее общие тенденции последующего развития металлургического производства в Северной Евразии, что позволит в будущем наметить пути этих исследований.

Все проанализированные шлаки из района Иртышского озера однотипны. Это куски, полученные при дроблении более крупных шлаков, типичных для этого района. Для извлечения металла шлак явно дробился. Шлак тяжелый и плотный, поверхности его оплавлены.

Плавка осуществлялась на древесном угле. В шлаке иногда присутствуют включения древесного угля или его отпечатки на поверхности.

В плавку поступала относительно чистая железная руда. Примеси породы, практически, отсутствуют. Иногда встречены очень мелкие зернышки кварца, но они могли попасть в шлак из обмазки печи. Поэтому характер рудовмещающей породы определить не представляется возможным. В шихте присутствовал и силикатный компонент, поскольку в шлаке довольно много фаялита, образование которого без этого компонента невозможно. На фоне того, что плавка, безусловно, велась для получения железа, любопытно присутствие мелких единичных включений халькопирита в шлаках Иртышского городища. В некоторых образцах спектральным анализом (таб. 14-1) зафиксировано повышенное для обычной железной руды содержание меди (0,2—0,7%). Подобное содержание встречается часто и в тех случаях, когда мы имеем дело с плавкой меди. Не исключено, что железная руда бралась с какого-то медного месторождения или с железного месторождения, в котором халькопирит был сопутствующим минералом. Определить это более точно на базе ограниченного количества анализов не представляется возможным. Невозможно также на основании лишь семи сделанных спектральных анализов определить с группами шлака. Можно лишь наметить некоторую разницу, фиксируемую по содержанию отдельных элементов. Так, в двух образцах Гусевой Горы (2209, 2210) и в одном с Ужового острова заметно выше содержание марганца, чем в других пробах. В тех же пробах выше содержание титана, скандия, бериллия, итрия,

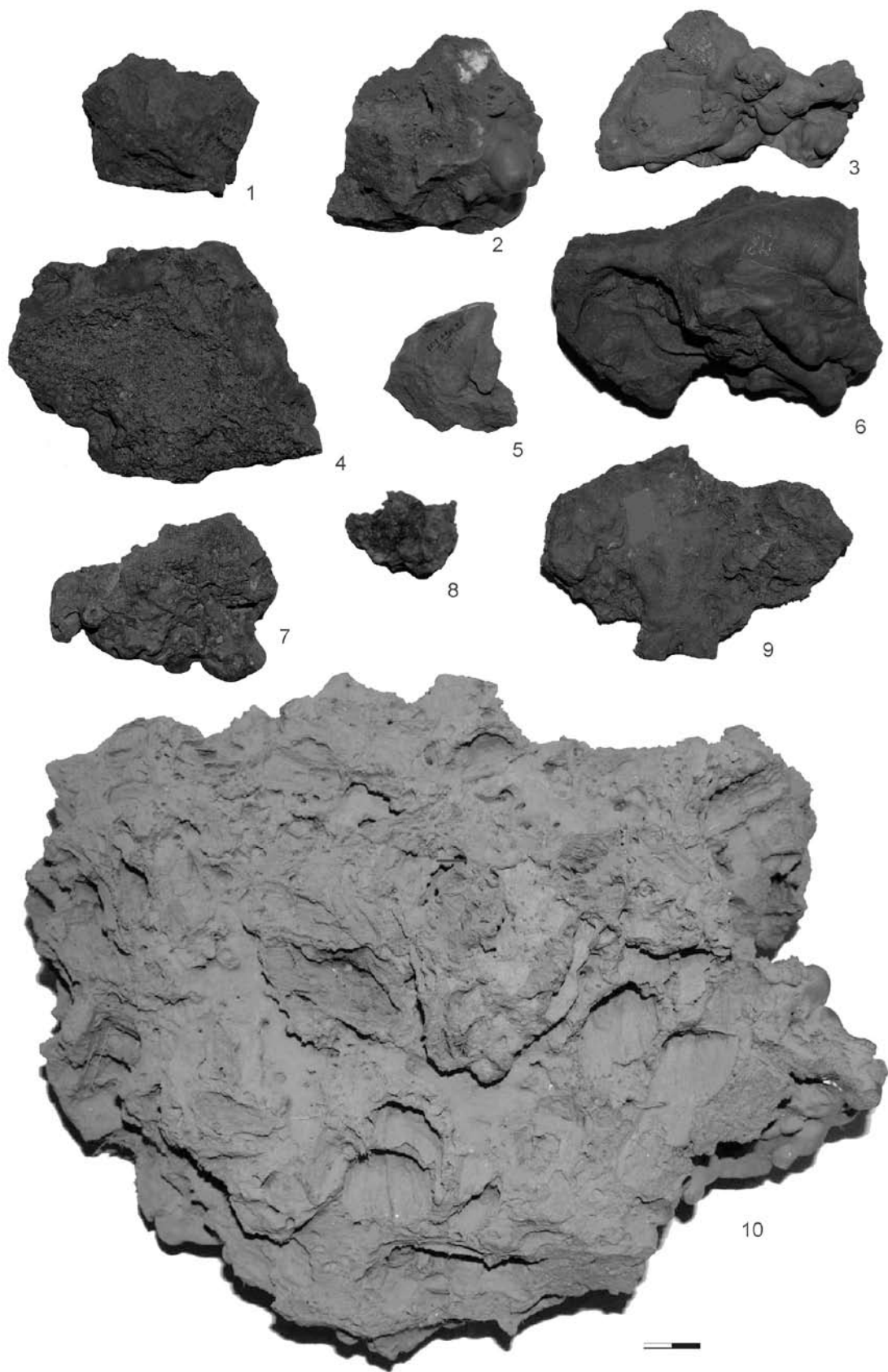


Рис. 14-6. Форма шлака железной плавки из района Озерска в Южном Зауралье: 1 — Гусева Гора, обр. 2207; 2 — Гусева Гора, обр. 2208; 3 — Гусева Гора, обр. 2209; 4 — Гусева Гора, обр. 2210; 5 — Иртяшское II, обр. 2211; 6 — Ужовой, обр. 2212; 7 — Киреты, обр. 2213; 8 — Иртяшское II, обр. 2214; 9 — Ужовой, обр. 2215; 10 — Гусева Гора, подъем. сборки

несколько ниже цинка. Поэтому не исключено, что эти шлаки получены при плавке руды одного источника.

Образцы с II Иртышского городища и один из образцов Гусевой Горы (2208) химически тоже идентичны. Поэтому здесь тоже не исключено, что они получены из одного источника.

Для двух образцов был сделан общий химический анализ (таб. 14-7). Высокое содержание оксидов железа и значительное количество силикатного компонента удивления в шлаке железной плавки не вызывает. Обращает на себя внимание малое содержание кальция и калия, что (может только в данном конкретном случае) не указывает на использование кальцита или костей в качестве флюсов. 5—6% глинозема может объясняться поступлением его как из руды, так и из обмазки. В сущности, химический состав шлака близок тому, что мы наблюдали во многих шлаках медной плавки, где иногда содержание железа тоже может быть достаточно велико. Резко отличается этот шлак только по низкому содержанию меди. Это стандартная ситуация для шлаков, полученных при плавке железа (Tylecote, 1980a, p. 223).

Таб. 14-7

Химический анализ (%) шлака железной плавки
Анализ выполнен в комплексной лаборатории ОАО «Челябинскгеосъемка»

Образец	Памятник	Материал	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
2207	Гусева Гора	шлак	73,15	2,24	0,31	1,73	0,10	0,47	6,09	22,22
2212	Ужовой остров	шлак	72,34	3,00	1,02	1,73	0,04	0,47	5,35	22,44

Обилие оксидов железа способствовало хорошей кристаллизации шлака и его невысокой вязкости (таб. 14-8). Соответственно, коэффициент основности в этих шлаках, рассчитанный по химическому составу, очень высок, и проанализированные образцы относятся к ультраосновной группе (таб. 14-9).

Таб. 14-8

Соотношение окислов снижающих вязкость (TiO₂, MgO, Fe₂O₃, MnO, K₂O, CaO, Na₂O) к окислам, повышающим ее (SiO₂, Al₂O₃) — коэффициент Kz и коэффициент вязкости (в Па·с) при температуре 1400 °С, рассчитанный по Bachmann и. а., 1987

№	Памятник	Материал	Kz	η 1400 (Па·с)
2207	Гусева Гора	шлак	2,76	1,33
2212	Ужовой остров	шлак	2,83	1,28

Таб. 14-9

Коэффициенты основности шлаков железной плавки

Образец	Памятник	Основность	Группа
2207	Гусева Гора	2,76	Ультраосновной
2212	Ужовой остров	2,83	Ультраосновной

Расчеты химического состава на нормативный минеральный состав тоже не позволили делать каких-то определенных суждений о характере рудной базы (таб. 14-10).

Пироксены в шлаках этими расчетами не определены. Силикатный компонент представлен исключительно оливином, причем, в высоких содержаниях (75,4 и 76,5%).

Преобладание железистых оливинов (фаялита) над магнезиальными является подавляющим, и высока доля магнетита. В небольших количествах выявлен корунд, присутствует анортит. Однако расчетные значения его могут объясняться попаданием в шлак обмазки печи и золы.

**Нормативный минеральный состав шлака и руды (%),
полученный с помощью программы Minpret**

Образец	Памятник	Корунд	Анортит	Оливин	Ол. (Fo)	Ол. (Fa)	Магнетит
2207	Гусева Гора	2,43	8,58	75,40	0,54	74,87	16,45
2212	Ужовой остров	1,69	8,56	76,50	1,77	74,74	16,42

Таким образом, произведенные расчеты показывают лишь плавку железных руд и не дают возможности для более подробных суждений о характере месторождения. Можно лишь допускать, что образец 2207 Гусевой Горы и образец 2212 Ужового острова получены при плавке руды одного месторождения, так как рассчитанный нормативный минеральный состав шлака, практически, идентичен.

Фаялит в большинстве образцов выкристаллизовался достаточно хорошо (рис. 14-V; рис. 14-VI.1, 2), что указывает на невысокую скорость остывания расплава. В отдельных образцах его кристаллизация проходила быстрее, но это может указывать на то, что проанализирована периферийная часть шлака. К тому же, выше мы обсуждали, что в шахтных печах на разной высоте могут происходить разные процессы. Судя по всему, остывание шлака происходило непосредственно в печи, он не выпускался. Чаще всего кристаллы фаялита имеют различную ориентацию. Следовательно, определенного направления кристаллизации нет, и не было какой-то части печи, в которой температуры были заметно ниже. Этому противоречит мнение Г. В. Бельтиковой, которая полагает, что шлак из печей выпускался (Бельтикова, 1993, с. 104). Для более поздних эпох (Шайгинское городище чжурчжэней, XII в.), на основании того, что в печах не обнаружено шлака, руды и отходов, делается предположение о том, что, железную руду плавил в тиглях, из которых шлак потом сливался (Леньков, 1974, с. 98). Однако, это предположение и для этого случая недостаточно обосновано, а в случае с иткульской металлургией говорить о сливе шлака вовсе не приходится.

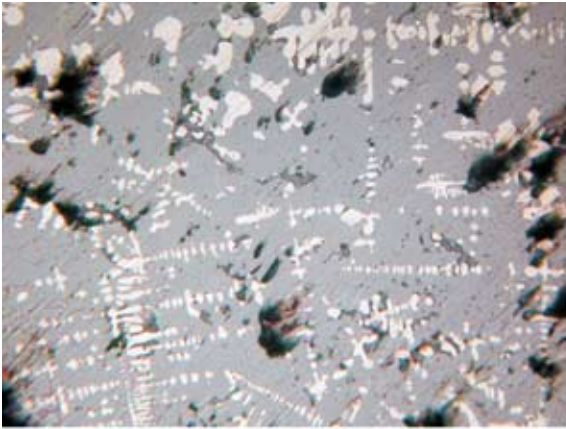
Распространенным компонентом в шлаке является вюстит. Основная его часть формируется за счет восстановления из какого-то железистого минерала. В результате, вюстит, образуясь, расплавляется. Однако часть вюстита формируется за счет кристаллизации из расплава, образуя крупные оплавленные дендриты. Судя по всему, в интервале кристаллизации фаялита и вюстита (1205—1360 °С) шлак остывал очень медленно. Видимо, и время плавки было достаточно продолжительным, так как без продолжения дутья температура упала бы очень быстро.

Предложенный температурный предел подтверждается и температурными расчетами, сделанными на основе общего химического анализа шлака (рис. 14-11). Шлак этого состава плавится при температуре ниже 1300 °С.

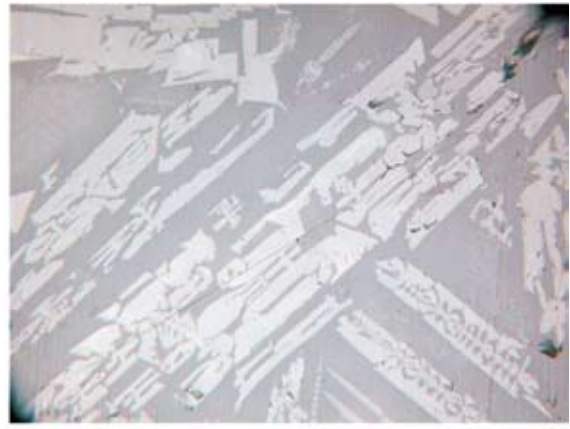
Атмосфера плавки была восстановительной. В шлаке присутствуют частицы восстановленного железа. Иногда они оплавлены, но не расплавлены. Восстанавливаются они из вюстита или непосредственно из какого-то гидрооксида, внутри его зерен.

Близок по характеру и шлак с городища Долматово в Курганской области (14-V.5), который, по-видимому, отражает плавку железной окисленной руды, вероятно, гидроокислов железа. Плавка осуществлялась в печи при довольно высоких температурах 1205—1400 °С. Остывание происходило медленно и длительное время, что позволило хорошо выкристаллизоваться фаялиту и вюститу. Присутствие корольков железа, видимо, указывает не на то, что расплавилось собственно железо. Скорее, был расплавлен вюстит, восстановившийся впоследствии до железа. Но не исключено и то, что часть железа науглерожена, что снизило точку ее плавления.

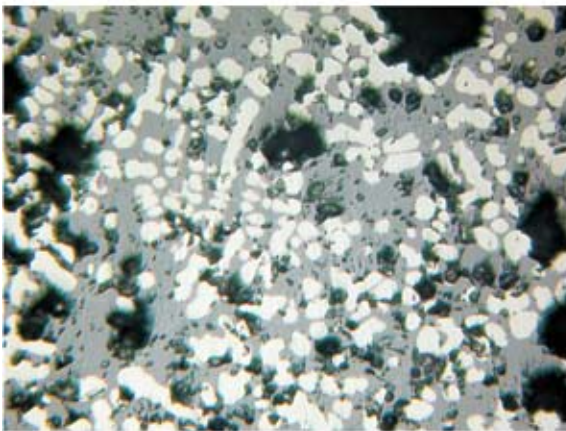
Образец шлака из Нижне-Тагильского округа, в принципе, фиксирует ситуацию близкую той, которую фиксируют шлаки с Иртышских городищ. В данном случае, можно



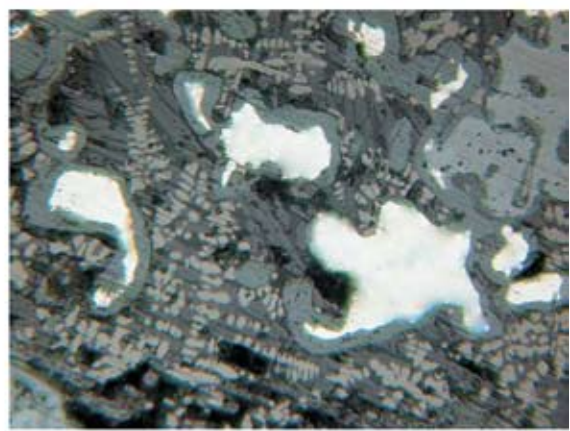
1



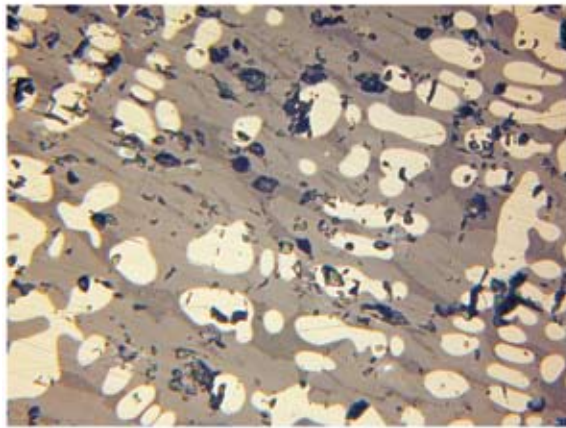
2



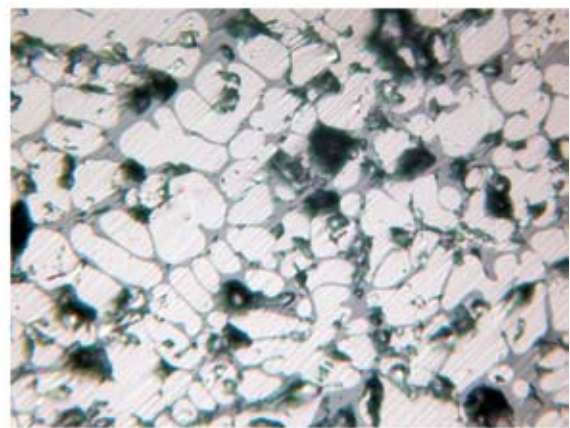
3



4

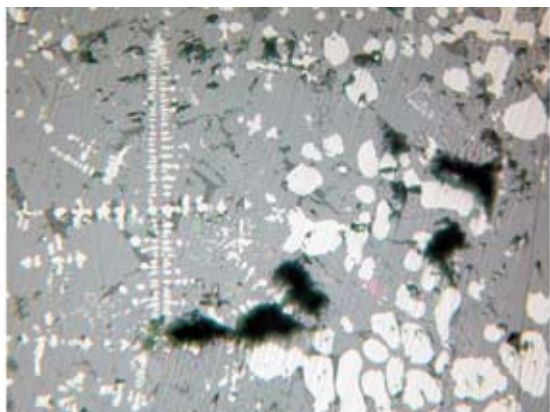


5



6

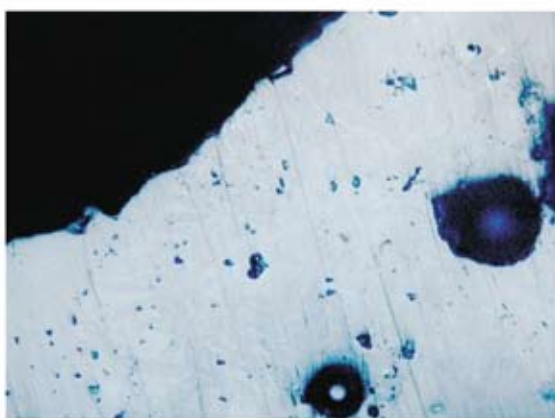
Рис. 14-V. Микроструктуры шлака раннего железного века (длина снимков 0,54 мм): 1 — Гусева Гора, обр. 2207, оплавленные дендриты вюстита; 2 — Гусева Гора, обр. 2210, скелетные и удлиненно-призматические кристаллы фаялита; 3 — Иртяшское II, обр. 2211, расплавленные зерна вюстита; 4 — Иртяшское II, обр. 2214, оплавленные дендриты вюстита и включения железа в окантовке гидроокислов; 5 — Долматово, обр. 2033, оплавленные дендриты вюстита и призматические кристаллы фаялита; 6 — Киреты, обр. 2213, расплавленные включения вюстита



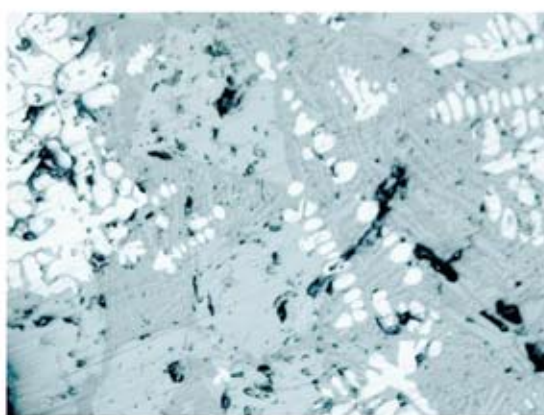
1



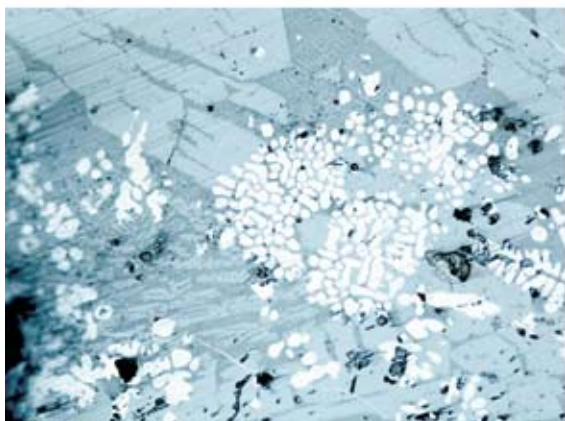
2



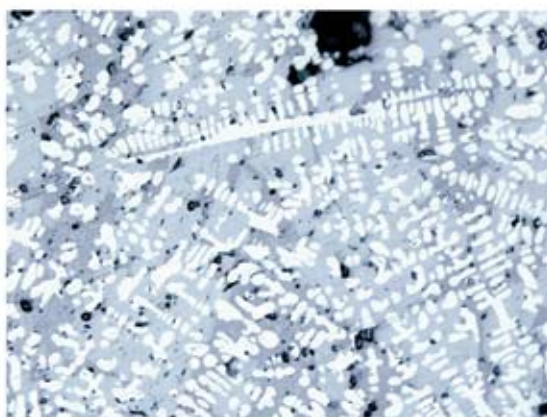
3



4



5



3

Рис. 14-VI. Микроструктуры шлака раннего железного века (длина снимков 0,54 мм): 1 — Ужовой, обр. 2212, сросшиеся таблитчатые кристаллы фаялита (светло-серый фон), дендриты и оплавленные зерна вюстита (белые); 2 — Ужовой, обр. 2215, игольчатые кристаллы фаялита; 3 — Улак-6, обр. 2338, мелкие слабо различимые зародыши фаялитовой кристаллизации в пористом стекле; 4—6 — Биктимировское городище, обр. 2349: 4 — оплавленные дендриты вюстита (белые) и расплавленное распадающееся зерно вюстита, сформированное из иного оксида железа (слева), небольшие таблитчатые и игольчатые кристаллы фаялита (светло-серые) в стекле (темно-серый фон) с мелкими порами (черные); 5 — оплавленные частицы вюстита, сохраняющие форму первичного рудного зерна, призматические и тонкие скелетные кристаллы фаялита (светло-серые) в стекле (темно-серый фон) с мелкими порами (черные); 6 — оплавленные дендриты вюстита (белые) на фоне призматических кристаллов фаялита (светло-серые) в стекле (темно-серый фон) с мелкими порами (черные)

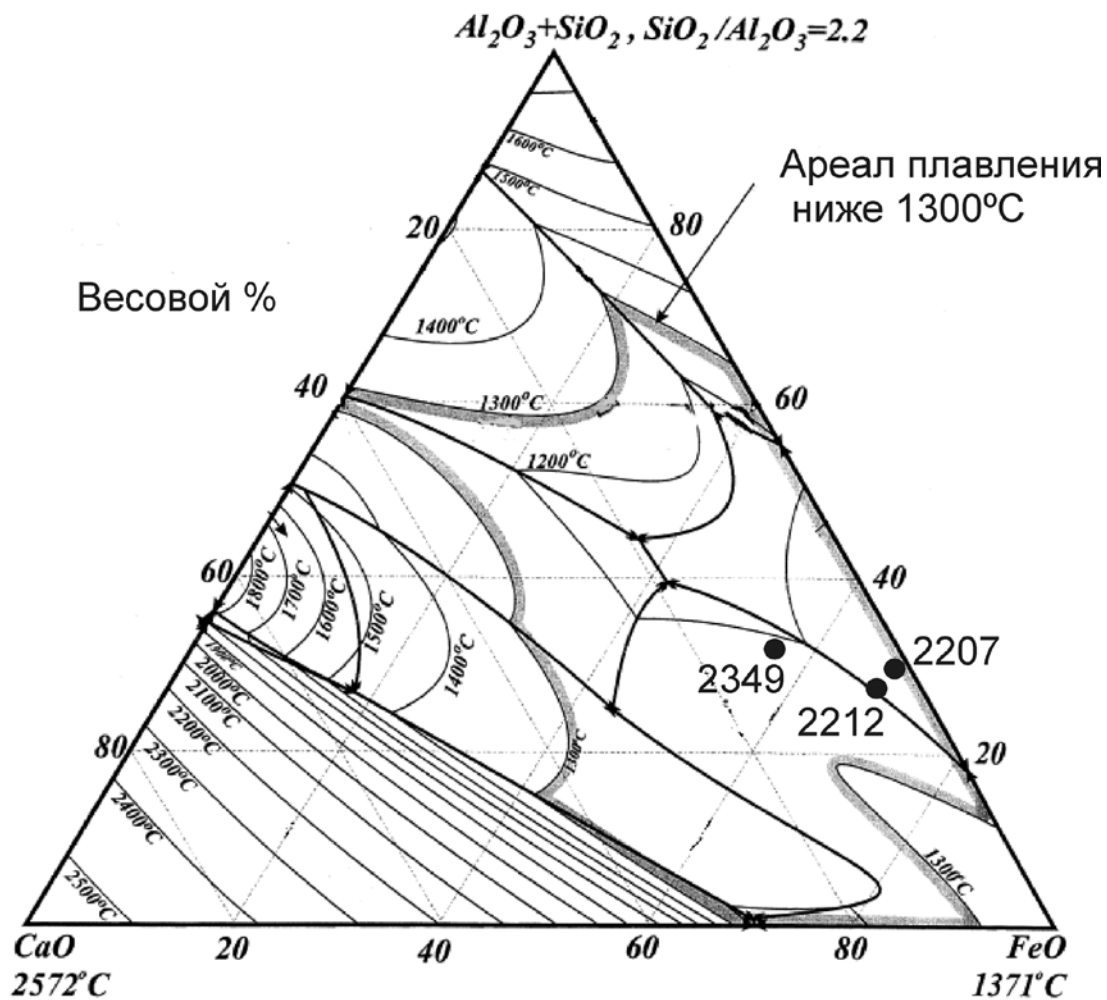


Рис. 14-11. Фазовая диаграмма системы FeO—Al₂O₃ + SiO₂ — CaO для шлака поселений Гусева Гора (2207), Ужовой Остров (2212) и Биктимировского городища (обр. 2349)

предполагать использование руды, связанной с кварцевыми породами. Однако остывание шлака более быстрое. Но это всего один образец, который может не отражать всей совокупности шлака с памятника.

Южнее с Биктимировского городища кара-абызской культуры в исследованную выборку попало четыре образца шлака. Два из них (№ 2343, 2344) это совсем мелкие бесформенные комочки плотного шлака. Третий (№ 2350) чуть крупнее и тяжелее, но тоже очень небольшого размера. И лишь один кусок тяжелого шлака (№ 2349) был чуть больше (3×4 см). Одна поверхность его относительно ровная, возможно, формировалась на поде, но приставшей обмазки нет. Прочие поверхности неровные. Два не слишком информативных, но очень важных образца, происходят с раннесарматского поселения Улак-6. Это небольшие (2 и 2,5 см) кусочки легкого пористого шлака. У одного из них (2338) поверхности оплавленные, темно-серого цвета; у второго (2339) поверхности бурого цвета, и не оплавлены.

Спектральный анализ показал (таб. 14-1) что во всех этих образцах содержание меди крайне незначительно, лишь в одном из образцов Биктимировского городища оно достигает 0,05%. Поэтому мы имеем дело с железоделательным производством.

По ряду элементов (Ag, As, Zn, Co, Ni) разница между шлаками этих памятников невелика. По другим (Mn, Ba, Pb, Ti, V, Sn, Cr, Sb) заметно более высокое содержание в шлаке с Улак-6. В шлаке же Биктимировского городища выше содержание Mo. Поэтому

эти шлаки явно сформировались при плавке руды различных источников (что вполне естественно для плавки железа), но что-то дополнительное по этому поводу сказать невозможно.

Был сделан один общий химический анализ образца шлака Биктимировского городища (таб. 14-12). В шлаке городища оксиды железа заметно преобладают над оксидом кремния. Вместе с иными компонентами, это дает очень высокий коэффициент основности, высчитываемый из химического состава (2), позволяющий относить этот шлак к основной группе. Поэтому и вязкость шлака незначительна, всего 2,02 Pa·s, что чуть выше вязкости шлака с Ужового острова и Гусевой Горы (1,28 и 1,33 Pa·s). Тем не менее, шлак был явно жидкотекучим. Небольшое количество глинозема (5,38%) может быть отчасти связано с протекшей обмазкой печи, но часть его могла содержаться и в руде. Относительно высокое содержание CaO (8,92%), возможно, указывает на флюсование кальцитом. Небольшая примесь оксида калия, видимо, обусловлена ее переходом в шлак из золы. Сера содержится в меньших концентрациях, чем это может уловить анализ. Соответственно, скорее всего, в плавку поступала окисленная железная руда с примесью силикатной породы.

Таб. 14-12

Химический анализ шлака Биктимировского городища, выполненный в химической лаборатории Челябинской геолого-съёмочной экспедиции (%)

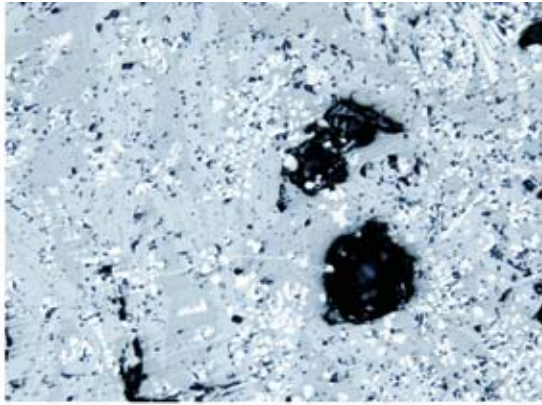
№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	K ₂ O	S	Cu	CuO	Сумма
2349	23,00	0,25	5,38	47,11	8,92	1,67	<0,05	0,03	0,04	86,36

Минералогические исследования под микроскопом шлака поселения Улак-6 (№ 2338) показали, что он насыщен порами, и кристаллизация в нем прошла очень слабо. На некоторых участках присутствуют мелкие игольчатые или призматические зародыши фаялитовой кристаллизации (рис. 14-VI.3). Местами фиксируются очень мелкие кристаллизующиеся дендриты магнетита. Магнетитовые включения настолько малы, что общее количество магнетита совершенно незначительно. Из металлических включений выявлен один королек железа.

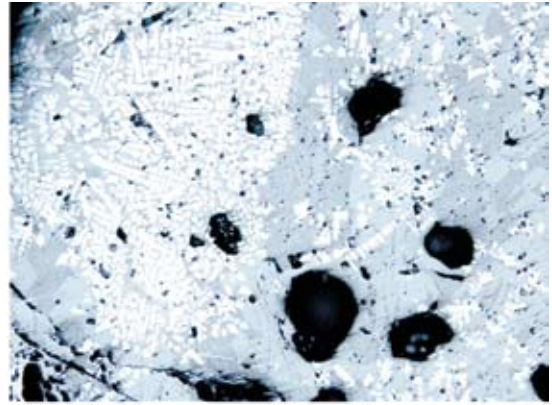
Подобные шлаковые структуры типичны для ошлакованных тиглей и обмазки печи. В шлаке явно не хватает железистого компонента. Можно предполагать, что шлак образован в результате протекания стенок печи при железоделательном производстве. При плавке медной руды в керамзитовых шлаках, при оплавлении обмазки, содержание меди тоже может быть очень низким. Поэтому для серьезного обоснования требуются более крупные фрагменты, большие аналитические серии и больший набор аналитических техник. Тем не менее, более вероятно, что это шлак железоделательного производства. Если это так, то не исключено, что на периферии кочевого мира существовали какие-то кочевнические группы, которые этим производством занимались.

Более определенные результаты были получены при анализе двух образцов Биктимировского городища (2349, 2350) (рис. 14-VI-4—6; 14-VII; 14-VIII.1, 2). Одним из основных включений в шлаке являются крупные оплавленные дендритные и решетчатые структуры вюстита, некоторые из которых сохраняют границы первичного рудного зерна, вероятно, железного оксида. Иногда встречается расплав вюстита в небольших трещинах в шлаковой матрице.

Вторым ведущим компонентом в этом шлаке являются кристаллы фаялита. В исследованных образцах они слегка различаются. В образце 2349 это призматические и таблитчатые формы, между которыми прорастают небольшие игольчатые кристаллы. Во втором образце это более аморфные таблитчатые и призматические кристаллы меньших размеров, встречаются участки с длинными скелетными кристаллами. Содержание вю-



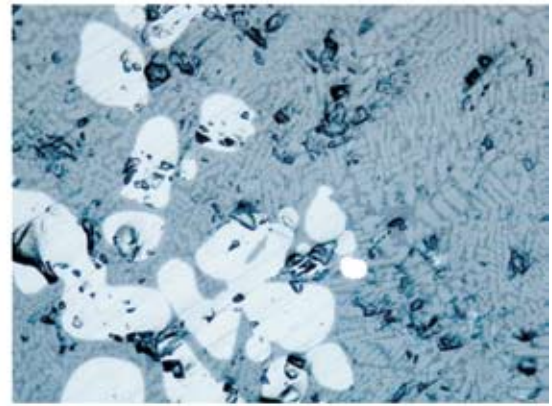
1



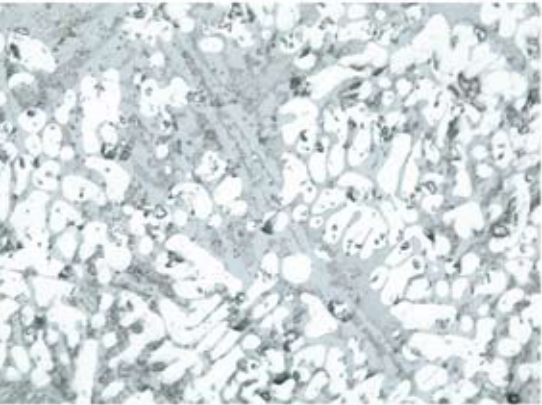
2



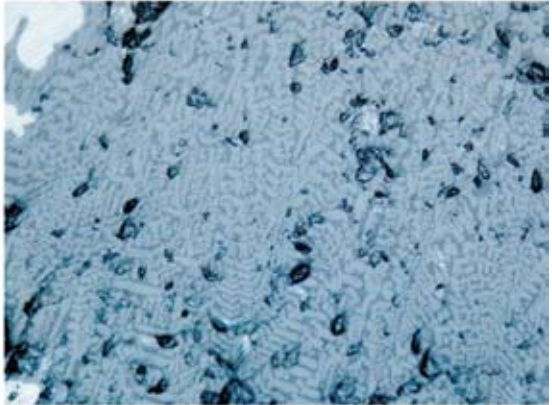
3



4

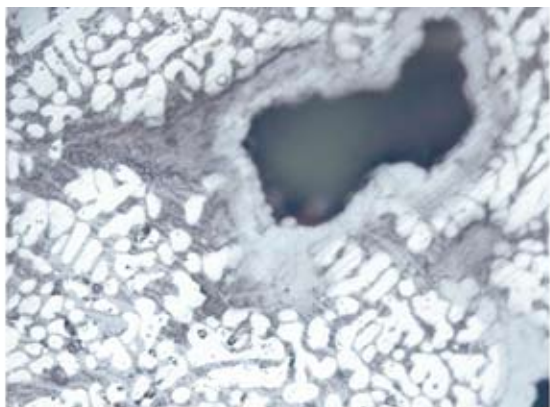


5

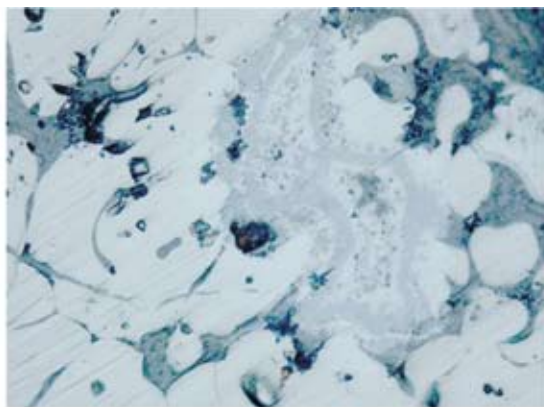


6

Рис. 14-VII. Микроструктуры шлака Биктимировского городища, обр. 2349 (длина снимков 0,54 мм): 1 — оплавленные дендриты вюстита (белые) на фоне призматических кристаллов фаялита (светло-серые) в стекле (темно-серый фон) с мелкими порами (черные); 2 — оплавленные дендриты вюстита (белые) и расплавленное распадающееся зерно вюстита, сформированное из иного оксида железа (слева), небольшие таблитчатые и игольчатые кристаллы фаялита (светло-серые) в стекле (темно-серый фон) с мелкими порами (черные); 3 — решетчатая структура из оплавленных дендритов вюстита (белые), сохраняющая контур первичного рудного зерна, удлинено-призматические и игольчатые кристаллы фаялита (светло-серые) в темно-сером стекле с порами (черные). 4 — оплавленные дендриты вюстита (светло-серые) в стекле (темно-серый фон), заполненном плотными мелкими скелетными кристаллами фаялита (серые), ярко-белое включение — оплавленная частица железа; 5 — плотно расположенные оплавленные зерна вюстита (белые) на фоне удлинено-призматических и игольчатых кристаллов фаялита (серые) в стекле (темно-серое); 6 — плотные мелкие скелетные кристаллы фаялита (серые) в темно-сером стекле, оплавленное зерно вюстита (светло-серое).



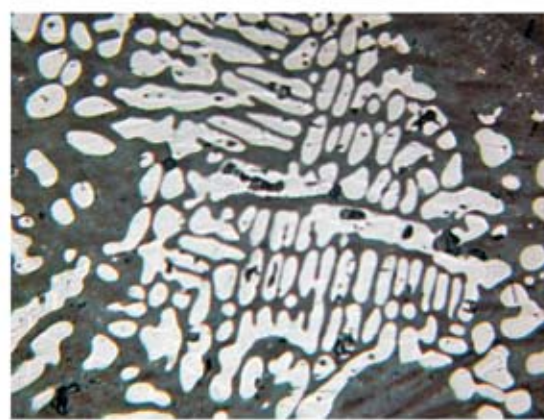
1



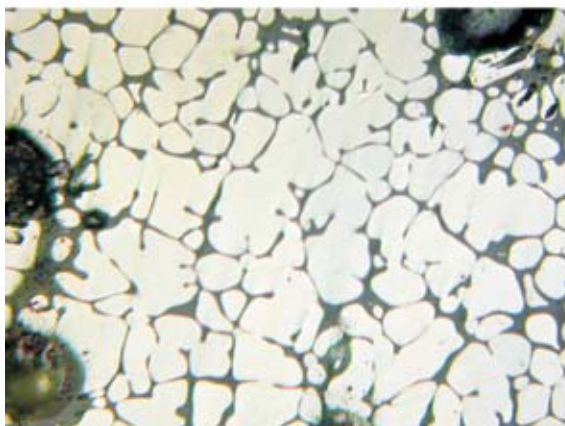
2



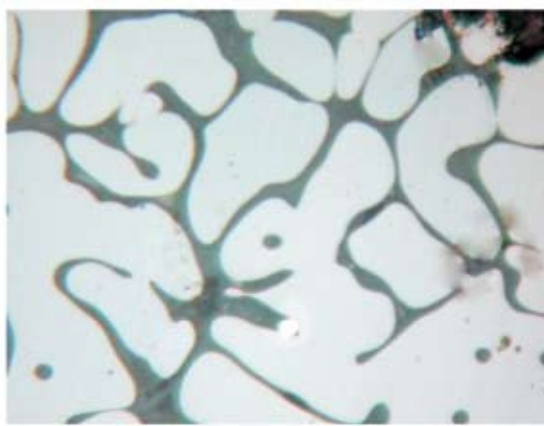
3



4



5



6

Рис. 14-VIII. Микроструктуры шлака раннего железного века (длина снимков 0,54 мм): 1 — Биктимировское городище, обр. 2350, образование расплавленных решетчатых структур вюстита (белое) вокруг поры, окруженной каймой железного оксида; Биктимировского городища, обр. 2350; 2 — Биктимировское городище, обр. 2350, расплавление железного оксида и образование расплавленных структур вюстита. 3 — Малый Ганьбинский Кордон, обр. 779, дендриты вюстита; 4 — Малый Ганьбинский Кордон, обр. 779, оплавленные решетчатые структуры вюстита; 5 — Партизанская Катюшка, обр. 781, оплавленные зерна вюстита; 6 — Партизанская Катюшка, обр. 781, оплавленные зерна вюстита (длина снимка 0,22 мм)

стита и фаялита приблизительно одинаково, вместе же они заполняют в обоих образцах до 80% площади аншлифа. Поэтому во втором образце более слабая степень кристаллизации фаялита обусловлена вовсе не дефицитом железистого компонента, а более высокой скоростью остывания расплава или данного конкретного фрагмента шлака.

Изредка в обоих образцах встречаются оплавленные частицы железа, иногда достаточно крупные. В образце 2350 встречаются большие участки подобного расплава.

Таким образом, в плавку поступала окисленная железная руда, происходящая, вероятно, из кварцевых пород. Не исключена, конечно, возможность использования кварцсодержащего флюса, но подтвердить или опровергнуть это положение без серийного сопоставления химического состава исходной руды и шлака не представляется возможным.

Если исходить из того, что нерасплавленных или не выкристаллизовавшихся из расплава включений в шлаке почти нет, то общий химический состав можно использовать для расчета температуры, при которой этот состав плавится. Благодаря основному составу это происходит при температуре свыше 1200 °С (таб. 14-12; рис. 14-11). Но для жидкотекучести шлака были необходимы более высокие температуры. С учетом того, что вюстит в шлаке расплавлен, мы вправе говорить о температурах порядка 1360—1370 °С. Расплавленное железо не является свидетельством более высоких температур, так как оно сформировалось восстановлением из расплавленного вюстита.

Затем температура постепенно снижалась, и происходила кристаллизация фаялита. При температурах ниже 1200 °С происходило затвердевание шлака. Вероятно, это было причиной того, что в обоих образцах не развились крупные таблитчатые формы фаялита, несмотря на основной состав шлака.

Несмотря на окисленный характер руды и явно высокие температуры, плавка производилась в условиях восстановительной атмосферы. Единственным приемлемым объяснением этому является оптимальная конструкция печи. Наиболее вероятна печь шахтного типа, по аналогии с находкой на Гусевой Горе. Собственно, и иные параметры плавки, как мы видим, были, практически, идентичны.

Технология получения железа на Урале

Таким образом, технология плавки железа, практиковавшаяся на Урале, выглядит следующим образом. Гидроокислы железа помещали в печь шахтного типа вместе с прослойками древесного угля. Нельзя исключать присутствие и какого-то количества сульфидных минералов, например, пирита. Это могло способствовать поддержанию восстановительной атмосферы. Однако на подобную возможность указывают лишь отдельные микроскопические включения халькопирита в шлаке Иртышского городища. Если они не появились в шлаке в результате случайного попадания в шихту, то не исключено, что мы сталкиваемся с очень интересным феноменом отбора железной руды на меднорудном месторождении. Скорее всего, на одном месторождении отбиралась руда и для получения железа и для получения меди.

Возможно, силикатный компонент в шлаке может указывать на использование соответствующих флюсов, но он мог попадать в плавку и вместе с рудой, поэтому строгих оснований предполагать использование флюсов у нас нет. Но это стандартная ситуация для ранней металлургии железа. Если брать чистую железную руду, то для получения железа ее достаточно восстановить углем. Конечно, руда часто содержит примеси, которые можно удалить вместе со шлаком. Но наиболее распространенная примесь, это силикаты, которые сами формируют вместе с окислами железа оптимальный фаялитовый шлак. Изучение мест плавки раннего железного века Италии в заливе Баратти в Популонии позволило утверждать, что плавка осуществлялась без флюсов (Pleiner, 1980, p. 386). То же установлено и для культуры Нок в Нигерии, IV—III вв. до н. э. (van

der Merwe, 1980, p. 479). На основе археологических данных использование флюсов установить бывает трудно, но более поздние этнографические данные повсеместно подтверждают это. Флюсы не использовали в XIX веке в Индии (Chakrabarti, 1992, p. 143). Об использовании флюсов при плавке железа в Африке тоже данных нет. Единственным флюсом являлась зола. Поэтому африканские металлурги специально подбирали дерево для угля с более высоким содержанием кальция, так как зола это естественный флюс, делающий шлак жидким (Amborn, 1976, S. 10, 11; Childs, 1996, p. 286; Schmidt, 1997, p. 104, 115).

Температура плавки достигала 1205—1400 °С, держась в этом интервале продолжительное время. Плавка велась относительно долго, затем температура постепенно снижалась. Такие высокие температуры требуют специального обсуждения, поскольку в металлургии существует аксиома, что возможным температурным пределом при дутье холодным воздухом является 1300 °С. Этот предел, как мы видели, преодолевался в эпоху поздней бронзы, причем, порой с большим запасом. Однако там этому способствовала плавка сульфидных руд (экзотермальная реакция горения серы и возможность интенсивного дутья). Конечно, результаты развития металлургии в ПБВ сказались на температурных возможностях в РЖВ. К этому времени уже существовали конструкции и футеровки, способные удерживать температуру в печи. Исследования этнографических плавков у хайя в Танзании показывают, что обмазка выполнялась из огнеупорной глины, иначе она бы шлаковалась (Childs, 1996, p. 312). Но проблема с дутьем холодным воздухом остается, поскольку в плавку уже не использовались сульфиды. Процесс основан на плавке окисленных руд.

Получение высоких температур при плавке окисленных руд является действительно проблемой, если дутье осуществляется холодным воздухом. В Африке и в археологическом и в этнографическом контексте встречаются длинные воздуходувные сопла. Это типично, например, для народности хайя в Северо-западной Танзании. Вокруг этих сопел развернулась довольно ожесточенная дискуссия, так как на основе экспериментальных работ было сделано предположение о том, что это способствовало нагреву воздуха. При плавке температура на поверхности сопла составляла 1250 °С, и воздух на выходе нагревался до 600 °С. При таком нагреве воздуха можно получить температуру в печи до 1870 °С (Avery, Schmidt, 1996; Schmidt, Avery, 1996, p. 175, 177; Schmidt, Avery, 1996a; Schmidt, 1997, p. 50, 104, 117, 119). Поскольку изучение шлаков раннего железного века региона выявило температуры 1300—1400 °С, а иногда 1500—1700 °С, предполагается, что эта традиция использования длинных огнеупорных сопел начиналась 2000 лет назад, а зародилась она в Юго-восточном Нигере, где производство железа отмечено с середины I тыс. до н. э. (Schmidt, Childs, 1996, p. 187, 224, 225, 229). Противники этой гипотезы утверждали, что даже при таких длинных соплах нагрев воздуха происходит не более чем на 22 °С, что не принципиально для существенного изменения температуры (это может повысить температуру только на 10 °С). Температуру 1600 °С в небольшой печи можно достичь обычным воздухом, и все произведенные экспериментальные замеры некорректны (Rehder, 1996, p. 235—239; Killick, 1996, p. 249, 253—257).

В сущности, обе позиции базируются на весьма основательных аргументах и расчетах. Но широкое распространение длинных воздуходувных сопел действительно факт, и они зачем то были необходимы. Сопла длиной 1,4 м известны также в ханьском Китае и в архаичной металлургии Индии XIX в. (Tylecote, 1980a, p. 215; Chakrabarti, 1992, p. 136). С другой стороны, действительно трудно себе представить нагрев воздуха, если он идет через сопло под давлением. Он не может быть значительным и существенно влиять на изменение температурного режима в печи. В Европе и Северной Евразии подобные сопла неизвестны, тем не менее, на наших материалах реконструируются значительные температуры, превышающие теоретически допустимые. Вероятно, их

причина в том, что размеры печей невелики. Кроме того, более значимым и масштабным, чем нагрев внутри сопла, был нагрев внутри печи газов, проходящих через шихту, отражающихся от частиц шихты и стенок печи.

После остывания печи шлак и восстановленное железо извлекались, для чего шлак дробился.

В целом, для Урала в эпоху поздней древности можно сделать следующие предварительные выводы по технологиям плавки железных руд. В качестве сырья использовались гидроокислы. К сожалению, у нас нет никаких данных о подготовке руды к плавке. На поселениях не обнаружено орудий для дробления руды или мест ее обжига. Вероятно, эти операции осуществлялись, но в другом месте, в районе добычи. Необходимость в них вполне очевидна, что подтверждают многочисленные исследования в других регионах. Так, в Африке повсеместно этнографически зафиксированы дробление руды и обжиг ее в кучах на дровах. Иногда этот обжиг производили в ямах или специальных печах, иногда (у хайя) руду могли положить на периферии печи и обжигать параллельно с другой плавкой (Schmidt, 1997, p. 59, 103, 178; Schmidt, Avery, 1996, p. 179; Childs, 1996, p. 286). Обязательным было измельчение руды и в Индии, иногда применялся и обжиг (Chakrabarti, 1992, p. 139). Дробление руды было необходимо для лучшей ее реакции, и оптимальные размеры кусков руды зависели от длины реакционной зоны. Так, серией экспериментов с железной рудой установлено, что куски руды до 3 мм восстанавливаются легко в печи высотой 1 м, при плавке кусков размером 2 см³ высота печи должна достигать уже 2,2 м (Childs, 1996, p. 289). Например, в Танзании древние и современные печи хайя имеют длинную реакционную зону, это высокие печи под которыми выкапывалась еще и яма. Поэтому куски руды были относительно велики (Schmidt, 1997, p. 145).

Соответственно, если ориентироваться на печи, обнаруженные в Зауралье, то руда должна была дробиться очень мелко (менее 1 см³), и это удобнее делать на поселениях, но таких находок пока нет.

Температуры были весьма значительны. Шлак остывал довольно медленно и выпуск его не производился. Можно допускать, что на первоначальных стадиях появление металлургии железа было каким-то образом связано с развитием медной металлургии. Примечательно, что именно наиболее ранние шлаки с Иртышского городища позволяют предполагать использование в качестве руды материал с сульфидных медных месторождений. Следует напомнить, что проанализированные шлаки медной плавки иткульской культуры были получены в результате плавки руды месторождения в железосодержащей рудовмещающей породе. Но, скорее всего, речь идет о случайности, а не о технологической связи. На юго-востоке Китая, в царстве Ву, например, все медные месторождения были приурочены к более крупным месторождениям железных руд (Wagner, 1993, p. 127). Наверняка такие случаи можно найти и в иных регионах.

Металлургия железа на Алтае

В исследованную выборку попало также несколько образцов шлака из Алтайского края. Из материалов раннего железного века минералогическому исследованию было подвергнуты единичные образцы, относящиеся к плавке железной руды, с поселений Малый Ганьбинский Кордон 1 и Партизанская Катушка.

Материалы поселения Малый Ганьбинский Кордон 1 датируются III—II вв. до н. э., а поселения Партизанская Катушка VI—II вв. до н. э. На последнем поселении исследован прямоугольный очаг из сланцевых плиток с глиняной обмазкой размером 140×60 см, который, по-видимому, был связан с металлургическим производством (Шульга, 1998, с. 148, 149).

Как видим, выборка шлака с алтайских поселений раннего железного века очень ограничена, что, особенно на фоне ее неоднородности, не позволяет судить о характере металлургического производства этой эпохи. Ситуация осложняется еще и тем, что шлаки медного производства, в случае хорошей переработки руды и отделения металла, могут не отличаться от шлаков железоделательного производства. Так, эти шлаки могут вполне содержать включения металлического железа, что характерно уже для многих шлаков эпохи бронзы.

В исследованных шлаках (14-VIII.3—6) присутствует значительное количество оплавленных зерен или дендритов вюстита, образующих иногда решетчатые структуры. Следовательно, температура достигла температуры плавления вюстита (1360 °С). В одном образце (779) встречены небольшие, но плотно расположенные призмы фаялита. Видимо, от температуры 1205 °С шлак остывал относительно быстро. Медные компоненты в шлаке не содержатся. Зато обнаружены единичные корольки железа.

Спектральный анализ этих образцов (таб. 14-1) выявил пониженное содержание меди. Однако, примечательно то, что в образцах с этих поселений зафиксированы пониженные концентрации всех иных элементов, по сравнению с образцами Островного, связанными с медной плавкой. По-видимому, это объясняется тем, что при плавке медной руды в шихту вместе с окисленной рудой поступали блеклые руды, а для получения железа использовались его гидроокислы.

Пути распространения железоделательного производства

Таким образом, для серьезного обсуждения характера металлургического производства в раннем железном веке данных явно недостаточно, хотя в качестве гипотезы можно обсуждать отдельные тенденции. Не исключено, что ранние стадии производства железа были связаны с эксплуатацией железных руд меднорудных месторождений. В принципе, это вполне укладывается в тенденцию, которая была выявлена при анализе материалов эпохи поздней бронзы. Однако, как мы видели при анализе материалов эпохи финальной бронзы, в это время происходит отказ от прежних традиций лесостепной части ЕАМП, связанной с плавкой первичных сульфидов, и происходит переход на окисленные руды. Использование окисленных железных руд сохраняется впоследствии и в средневековье. На городище Шеломок в Среднем Приобье в плавку употреблялись сидеритовые руды, которые дробили на кусочки размером до 5 см, обжигали и измельчали до порошкообразного состояния. В качестве флюса использовали болотный мергель (Малолетко и др., 1983, с. 118, 127—128). Согласно исследованиям Шайгинского городища чжурчжэней XII века, в плавку поступал бурый железняк (Леньков, 1974, с. 94). Это, как мы видели, было характерно и для африканской металлургии.

В период раннего железного века в металлургии меди используется смесь окисленных руд и вторичных сульфидов. Металлургия же железа была ориентирована на плавку окисленной руды. В случае непосредственного перехода на плавку этих руд по прежней технологической схеме у металлургов возникли бы проблемы с созданием в печи восстановительной атмосферы, необходимой для производства железа. Поэтому должны были произойти какие-то дополнительные усовершенствования теплотехнических сооружений и системы подачи воздуха, которые решали данную проблему. К сожалению, информация, проясняющая этот вопрос, пока отсутствует. Хорошо документированных данных по печам для производства железа в эту эпоху крайне мало. В более позднее время, у чжурчжэней, железоделательные печи были крупными, длиной 2,2—3 м, ширина задней стенки составляла 2 м, передней — 1,4 м. Однако это было уже сложное высокоорганизованное производство (Леньков, 1974, с. 94). Печь на Гусевой Горе была достаточно высокой, поэтому подаваемый снизу воздух проходил вверх через слой шихты, что приводило к образованию монооксида углерода и созданию

восстановительной атмосферы. Вероятно, реализовать этот принцип можно было и в вытянутых печах, но это менее удобно. Видимо, прогресс, который привел к металлургии железа, двигался в направлении создания высоких шахтных печей, что отчетливо проявляется повсюду.

Учитывая намеченные восточные связи, которые привели к восстановлению оловянных лигатур, сохранение на востоке традиций плавки окисленной руды, можно допустить, что эти усовершенствования осуществились там, но материалы Саян и Монголии оказались мне не доступны. К сожалению, у меня нет данных и о технологии плавки руды в Китае в конце эпохи бронзы. Вероятно, в разных регионах страны она различалась. Любопытен один факт: в местечке Тонглюшан, в провинции Хубэй, раскопана печь шахтного типа, которая датируется около IX в. до н. э. Рядом с ней обнаружены куски малахита. В качестве флюса использовались железные оксиды (Wagner, 1993, p. 47). Шахтные печи имеют то преимущество перед обычными купольными печами, что газы в них преодолевают большее расстояние и проходят через слой шихты, что способствует созданию монооксида углерода и восстановительной атмосферы. Это позволяет более успешно плавить окисленные руды. Таким образом, на востоке, в пределах Центрально-Азиатской металлургической провинции, в конце эпохи бронзы мы видим сохранение доминирования оловянных лигатур и разработку технологий, позволяющих создавать восстановительную атмосферу в печи. Не исключено, что эти импульсы осуществлялись оттуда, но данных пока слишком мало. Причем, речь идет о достаточно восточных районах, граничивших на юге с цивилизацией бассейна Хуанхэ, так как в Синьцзяне (см. главу 11) в это время сохраняется использование мышьякового легирования.

Высокие температуры плавки, реконструируемые на основании анализов шлака, тоже вполне соответствуют последним аналитическим данным по металлургии железа. Дело в том, что в рамках этого процесса недостаточно восстановить железо и сформировать крицы, состоящие из железа и шлаковых включений. Само формирование шлака при низких температурах невозможно.

Высокие температуры были необходимы и при последующей обработке железа. Эксперименты по проковке новгородских криц показали, что для проковки крица должна нагреваться до температуры 1400—1450 °С. При ковке с более низкими температурами крица рассыпается. В ходе тех же экспериментов в кузнечном горне удавалось достигать температур 1400—1450 °С (Терехова и др., 1997, с. 11, 12, 17). Таким образом, возникновение металлургии железа с точки зрения температурного режима было единым процессом. Мы видели, что в эпоху поздней бронзы температурный скачок был связан отчасти с переходом к плавке сульфидных руд, что вызвано экзотермальной реакцией горения серы. Однако параллельно, по-видимому, шел процесс совершенствования воздуходувных мехов. Не исключено, что появились близкие современным кузнечным мехам конструкции. Совершенствовались и конструкции печей.

Таким образом, в наиболее общем виде тенденция возникновения и развития металлургии железа выглядит следующим образом. С появлением металлургических процессов, основанных на шлаковых реакциях и плавках медных сульфидных руд, на Ближнем Востоке появляются условия для получения ограниченного количества железа в качестве сопутствующего продукта при плавке медной руды. Это имело случайный характер, и регулировать процесс металлургии не умели. Распространение этой новации в Северной Евразии привело к появлению здесь в эпоху поздней бронзы первых железных изделий. Следует учитывать, что наиболее ранние железные изделия Северной Евразии найдены в погребениях ямной культуры. Однако изготовлены они из метеоритного железа (как и часть изделий Ближнего Востока) и не отражают процесса формирования металлургии железа. Не исключено, что знание метеоритного железа и было стимулом, который привел к использованию кусочков железа, извлеченных из шлаков медной плавки.

Однако сомнительно, что могут появиться аналитические данные, подтверждающие подобное предположение. В Северной Евразии подобное случиться не могло, так как в этот период здесь эксплуатировались исключительно окисленные руды в условиях окислительной атмосферы, что не позволяло получить случайно металлическое железо. Не исключено, что целенаправленное извлечение железа из руд было также связано первоначально с эксплуатацией сульфидных меднорудных месторождений, причем на первых стадиях преимущество отдавалось рудам, содержащим сульфидные минералы. Имеющиеся аналитические данные не позволяют говорить о том, насколько универсальна была эта тенденция и была ли она вообще. Пока это может рассматриваться лишь на уровне гипотезы. Лишь впоследствии, с развитием технологии дутья и улучшением баланса CO/CO_2 происходит переход к плавкам окисленных железных руд. Но каковы пути распространения этой новации в Евразии, сказать трудно.

Ярким примером этого является металлургия Африки. Производство меди в Западной Африке начинается около 2200 г. до н. э. Некоторые авторы сомневаются в справедливости столь ранней даты, но памятники периода 1500—900 гг. до н. э. есть вполне определенно (Holl, 2000, p. 13; 2009, p. 431; Bisson, 2000, p. 89). При этом, судя по меднорудным шахтам, археологическим и этнографическим данным, несмотря на длительный период развития, производство меди базировалось на плавке исключительно окисленных руд, преимущественно, малахита (Bisson, 2000, p. 90, 91, 97). Эта устойчивость или застойность технологии не вполне объяснима на фоне развития в иных регионах и на фоне бурного развития впоследствии металлургии железа в самой Африке. Но это не означает, что металлургические технологии совсем не совершенствовались. Более того, не исключено, что эта застойность технологии получения меди и была базой для бурного развития железоделательных технологий на Африканском континенте. Как уже обсуждалось выше, для освоения плавки железной руды было необходимо овладеть способами поддержания высокой температуры при сохранении восстановительной атмосферы, несмотря на использование окисленных руд. Любая интенсификация дутья приводит к окислительной атмосфере. Использование сульфидов, как в случае с медной рудой, ведет к ухудшению качества железа, и эту проблему нельзя решить рафинированием, как это имело место с медью. Был только один путь: совершенствование конструкции печей. И этот процесс действительно имел место. Ранние африканские печи медной плавки очень разнообразны по форме, поэтому предполагается, что это результат проб и ошибок, а не заимствования из одного источника. Более поздние (3000—1000 лет назад) однообразны, как правило, это цилиндрические конструкции. Продолжение традиции и переход от поздних медеплавильных к железным печам видны достаточно отчетливо. Сохраняются иногда даже такие чисто ритуальные детали, как лунки для лечебных трав или медикаментов, широко распространенные во многих африканских железоделательных печах вплоть до этнографического времени (Holl, 2000, p. 38; 2009, p. 431, 434). В Конго, у народа Йеке, плавки меди велись в печах диаметром 1 м и высотой 1,75 м (Bisson, 2000, p. 96), и это близко тому, что мы видим на Урале. Создание печей шахтного типа приводило к тому, что газы проходили через шихту достаточно долго, что позволяло поддерживать температуру при сохранении восстановительной атмосферы.

Эта ситуация подтверждает, что, хотя раннее знакомство с железом связано с плавкой сульфидной медной руды, но к разработке технологии плавки железных руд привели плавки окисленных медных руд. Где именно это произошло — не ясно.

В научной литературе давно утвердилось представление о том, что металлургия железа появляется на Ближнем Востоке, скорее, в Анатолии, и именно оттуда распространяется по Европе, хотя строгих данных никем не приводится (Pleiner, 1980, p. 378—380; Muhly, 1980, p. 51; Tylecote, 1987, p. 162). Аргументация приводится чисто

хронологическая. В предыдущей главе говорилось, что во II тыс. до н. э. железные изделия в Европе единичны. Чуть больше их на Балканах, что вполне объясняется традиционными контактами с востоком. В Восточном Средиземноморье железо устойчиво присутствует с XII в. до н. э. Поэтому здесь с этого времени начинается ранний железный век (Waldbaum, 1980, p. 82). Видимо, именно в это время происходит переход от получения железа из метеоритов и как случайного продукта при плавке медной руды к плавке собственно железных руд. Правда, это хронологически совпадает с движением «народов моря», прокатившимся с Европейского континента, и охватившим все Восточное Средиземноморье (Muhly, 1980, p. 51; Snodgrass, 1980, p. 356). Это движение имело продолжение даже в Северной Африке. Поэтому окончательно точку в вопросе о том, где впервые возникает плавка железа, ставить еще рано. С одной стороны, эти мигрирующие популяции могли принести только что возникшую идею плавки железа, и в Восточном Средиземноморье она быстро была адаптирована в силу более высокого уровня развития и различных социально-экономических причин. С другой стороны, миграции могли вызвать деструктивные процессы в регионе, нарушить старые торговые и производственные связи, что и послужило стимулом для быстрого развития новой технологии, возникшей к тому моменту на Ближнем Востоке. Четкого решения этой проблемы пока существовать не может. В пример можно привести ситуацию на Кипре. Мьюли приводит библейские описания кузнецов у филистимлян и предполагает, что именно из Палестины железо попало на Кипр, а оттуда в Грецию (Muhly, 1980, p. 51). Но на Кипре железо появляется с XII—XI вв. до н. э., и первоначально оно часто имеет эгейские формы и сопровождается эгейской керамикой, что позволило предположить, что эта технология пришла из Эгеиды (Snodgrass, 1982, p. 293). Не следует забывать, что филистимляне, судя по всему, и были этим пришлым компонентом. А возможности знания железа в Европе были, так как в ПБВ там распространялись плавки халькопирита, и попутное получение железа временами было неизбежно. Но главными действующими лицами в этом движении были, все же, племена, населявшие прежде запад Анатолии. Поэтому на сегодняшний день теория об анатолийской родине металлургии железа выглядит предпочтительней.

Нет никаких сомнений и в том, что дальнейшее распространение железа осуществляется из Восточного Средиземноморья, что видно по хронологии этого распространения. Преобладание железа над бронзой здесь начинается только в X—IX в. до н. э. (Waldbaum, 1980, p. 85; Snodgrass, 1980, p. 357). Выше мы осуждали, что именно к этому времени овладели науглероживанием железа, и лишь к VIII в. до н. э. можно говорить об уверенном производстве стали. Это и сделало осмысленным массовым производство железа. И с этого времени оно начинает активно распространяться. Сначала это происходит в Центральной и Южной Европе, а потом в Западной Европе. В Англии железо появляется только с 500 г. до н. э. В Северной Европе это происходит раньше, но в заметных количествах достаточно поздно (Pleiner, 1980, p. 379, 380). И только этот вектор продвижения указывает на распространение из Восточного Средиземноморья. Но он маркирует распространение, основанное на начале производства стали, и вовсе не свидетельствует о том, что в том же регионе возникла сама технология получения железа, хотя это и наиболее вероятная версия.

Восточнее, на территории Северной Евразии, ясности в этом вопросе тоже нет. Мы можем допускать, что технологический импульс поступил сюда с Ближнего Востока или Кавказа. Вероятно, для бахмутинской культуры в Донском бассейне это наиболее приемлемое объяснение.

Можно предполагать, что на Урале и Алтае происходит и самозарождение металлургии железа, базирующееся на более раннем его попутном получении при плавке сульфидных медных руд и переходе на плавку окисленных руд в конце эпохи бронзы.

В данном случае логически, без значительных аналитических серий, решить этот вопрос трудно, так как между этими двумя технологиями остается сделать один небольшой шаг, поэтому независимое появление сходной технологии в различных удаленных районах вполне вероятно. Однако остается вопросом — были ли эти процессы на Урале и на Алтае связаны друг с другом? Если исходить из логики культурогенеза в регионе, то можно допускать импульс именно с востока. Однако он имел место в самом начале раннего железного века, а появление металлургии железа в лесном Зауралье происходит значительно позже, в V в. до н. э., что позже появления этой технологии в ананьинской культуре. С учетом явных связей ананьинской и иткульской культур напрашивается вывод о распространении этого производства из Приуралья в Зауралье. Но сопоставление шлаков из Приуралья и Зауралья ничего в этом вопросе не проясняет.

Восточнее, в саргатской культуре, большое количество железа появляется еще позже, в III в. до н. э., а в большереченской культуре Верхнего Приобья в V—III вв. до н. э., что тоже подтверждает этот вектор связей. При этом иткульские ножи выполнены из кричного некачественного железа, а иглы из стали (Бельтикова, 1993, с. 98; Корякова и др., 2011, с. 13, 14). Последнее явно указывает на то, что использовалось кричное железо, и технология получения стали отсутствовала. Какое-то количество стали, вполне достаточное для производства игл, можно получить и в рамках кричного производства. Поэтому вызывает недоумение, почему в Зауралье вместе с технологией плавки руды не пришла технология изготовления стали, которую распространить легче? Тем не менее, этот вектор связей подтверждают и характерные для ананьинской культуры биметаллические изделия. Но тогда можно поставить второй вопрос: откуда появляется железо в самом начале РЖВ у кочевников Зауралья, чье происхождение явно восточное? Может оно, все же существовало у периферийных кочевнических групп, как это, вероятно, показывает шлак поселения Увак-6?

Нельзя исключать и того, что технология существовала и пришла с востока, но не была распространена достаточно широко. Следует помнить и о том, что в конце VI — начале V в. до н. э. в Зауралье мигрируют кочевники из Восточной Европы, Средней Азии и Центральной Азии. Поэтому данный вопрос может быть разрешен лишь специальным исследованием, в которое будут вовлечены значительные серии руды и шлака эпохи финальной бронзы и раннего железного века.

Пока общая динамика распространения металлургии железа на востоке выглядит следующим образом. В завершении предыдущей главы мы обсуждали, что в финале эпохи бронзы в Казахстане, Южной Сибири и Центральной Азии появляется группа культур (бегазы-дандыбаевская, ирменская, карасукская, связанная с ними еловская в Западной Сибири), которые обязаны своему происхождению Передней Азии, и в которых появляется железоделательное производство, в связи с чем А. Х. Маргулан писал о формировании металлургии железа в доскифское время, базируясь на материалах бегазы-дандыбаевской культуры (Маргулан, 2001, с. 73). В Западной Сибири в ПБВ единичные железные изделия известны в еловской культуре, а из поздних ирменских комплексов (могильник Линево, VIII—VII вв. до н. э.) происходят уже большие серии железных предметов (Корякова и др., 2011, с. 14). И в Западной Сибири, где отсутствуют медные месторождения, это явно кричное железо. Следовательно, здесь технологии получения железа были достаточно развиты уже к началу РЖВ, раньше, чем они появляются в Зауралье. Но в пользу этого может говорить лишь то, что в начале РЖВ именно с востока сюда проникает технология плавки окисленных медных руд и, соответственно, умение поддерживать высокие температуры при сохранении восстановительной атмосферы, а также восточные импульсы, оказавшие влияние на формирование культур региона. Но, повторюсь, для окончательного решения вопроса нужны серьезные серии проанализированного шлака этой эпохи.

В итоге, можно предполагать, что технологии железа могут проникать в Центральную Азию в последней трети II тыс. до н. э. из Передней Азии, хотя, на первых порах, они и не получают здесь существенного развития. Но впоследствии именно отсюда идет распространение этой технологии на запад до Зауралья. Это не противоречит общей картине распространения этого производства в сопредельных регионах.

В Западном и Центральном Иране в середине II тыс. до н. э. формируется культура серой керамики, которая рассматривается уже как культура раннего железного века. Однако первоначально (1450/1350—1100 гг. до н. э.) железные предметы в ней единичны. Во втором периоде (1100—800 гг. до н. э.) железо уже встречается на многих памятниках, а с третьего периода (800—550 гг. до н. э.) его становится действительно много. На Хасанлу, например, обнаружено около 2000 изделий, большинство из которых датируется около 800 г. до н. э. То же происходит и в соседнем Урарту. В это же время появляется сталь, чем и объясняется быстрая адаптация новой технологии. Это еще не слишком развитое производство. Анализы изделий Хасанлу показали, что чаще это что-то среднее между сырым железом и слабо и неравномерно науглероженной сталью. Устойчивого умения получать сталь не было (Pigott, 1980, p. 418, 420, 421, 431, 499; 1989, p. 67, 76; 2004; 2009, p. 375, 377). Все это повторяет ситуацию Ближнего Востока, поэтому вполне вероятно, что распространение технологии идет именно оттуда.

Восточнее, в Индии, железо распространяется с некоторым запозданием, но в то же время. Почти повсеместно (на северо-западе, в Белуджистане, в Декане, мегалитах Южной Индии) оно появляется в начале I тыс. до н. э. Есть небольшие исключения, например, самое раннее железо в Гуджарате датируется с 500 г. до н. э., но это обусловлено малым объемом раскопок этого периода в данном районе. Исследования железа показывают, что оно, в основном, сырорудное (феррит), но есть и науглероженное, или смесь феррита со сталью, что бывает при сырорудном производстве. Но иногда поверхность изделий науглероживалась путем длительного высокотемпературного нагрева. Важность железа подчеркивается тем, что оно включается в качестве обязательного атрибута богов Ригведы (Chakrabarti, 1992, p. 37, 40—47, 50—55, 60, 67, 68, 78, 80, 86—98). Вероятно, появление стали способствовало быстрому распространению здесь железа.

Этот южный фон не противоречит возможности столь раннего проникновения металлургии железа в Казахстан и Центральную Азию. Но, как мы видим, южнее железо не становится широко употребляемым металлом до начала целенаправленного производства стали.

Не исключено, что появление к концу эпохи бронзы железоделательных технологий в Центральной Азии оказало воздействие на ее распространение на юг. В Китае первые редкие находки железа датируются XII—XI гг. до н. э. и предполагается, что это железо метеоритное (Needham, 1980, p. 512, 515, 539; Wagner, 1993, p. 95), хотя появление на северных границах Китая карасукских племен допускает и вариант, что это железо было металлургическим. Но систематическое производство железа начинается здесь с VII/VI в. до н. э., а уже с V в. до н. э. оно проникает и в Индокитай (Needham, 1980, p. 513, 515, 539). Однако не исключено, что в Таиланде первое железо присутствует чуть раньше, в период 700—500 гг. до н. э. (Pigott, 1996, p. 89). Вероятно, и в Китае массовое производство начинается только с этого времени, причем здесь сразу делали и сырое железо и чугун, что обусловлено развитыми бронзолитейными технологиями (Wagner, 1993, p. 66, 146). То есть, на севере железоделательные технологии возникают раньше и могли, поэтому, оказывать формирующее влияние.

Это противоречит ранней гипотезе о том, что железо в Китае появилось около 600 г. до н. э., возможно, с Ближнего Востока (Tylecote, 1980a, p. 214), но согласуется с текущими представлениями китайских исследователей, которые полагают, что металлургия железа в Китай была привнесена именно скифами через Синьцзян или из Западной Азии

(Wei, 2006, p. 17; Wu, 2006, p. 20, 21). Наиболее ранее металлургическое железо Китая, датируемое X в. до н. э., действительно происходит из Синьцзяна (Pigott, 1996, p. 89).

Существует, впрочем, мнение о том, что в скифских курганах Тувы железо VII в. до н. э., вероятно, импортное из Восточного Чжоу (Семенов, 2011, с. 75). Последнее в данном случае не существенно, так как в царских курганах могли быть вещи, привезенные издалека, и это не имеет отношения к происхождению самого производства. Но отсутствие в более ранних скифских комплексах железа тоже на что-то указывает. Означает ли это что в Центральной Азии производство угасает?

Впоследствии китайская металлургия развивается совершенно независимо, и развивается стремительно. Первоначально сталь получали здесь в тиглях. Но очень скоро стали производить литое науглероженное железо (чугун), из которого отливали достаточно крупные вещи. Вероятно, это связано с предшествующим высоким уровнем бронзолитейного производства (Tylecote, 1980a, p. 215, 216; Wertime, 1980, p. 3, 4).

Эта проблема внешнего стимула на развитие металлургии железа является актуальной везде. Очень показательна она на Африканском континенте. Здесь давно существует типичная для разных разделов археологии оппозиция диффузионизма и изоляционизма. Ранее было принято мнение, что повсюду в Африке переход к плавке железа осуществлялся, минуя стадию медной металлургии, сразу от каменной индустрии. Но постепенно стали накапливаться данные, свидетельствующие в пользу того, что по всей Западной Африке уже в I тыс. до н. э. существовала металлургия меди (Jemkur, 2004, p. 34, 37).

При любом обсуждении корректности дат, связанных с металлургией железа в Африке, обсуждать переход к плавке железа из каменного века невозможно по технологическим соображениям (навыки поддержания высоких температур, термоустойчивых футеровок,ковки, восстановительной атмосферы и т.д.). Но есть много данных о раннем появлении металлургии меди. В главе по энеолиту приводились данные о том, что в Северной Африке первые медные изделия и медная металлургия начинают появляться еще в тот период и, судя по типологии отдельных изделий, стимулировано это было с Иберийского полуострова. Южнее, в Нигере, есть даты медной металлургии в пределах III тыс. до н. э. В них стоит сомневаться, но серия дат II тыс. до н. э. вполне надежна (Holl, 1997, p. 18, 21; Holl, 2000, p. 13; Vosoum, 2004, p. 100, 102). Ранние даты медной металлургии в Нильской долине обсуждения и вовсе не требуют. Поэтому, в принципе, проблемой является то, возникает ли металлургия железа здесь на основе местного развития медной металлургии или она была привнесена.

Для Северо-восточной Африки на этот вопрос можно ответить вполне однозначно. Как и повсюду в Восточном Средиземноморье, около 900 г. до н. э. в Египте появляются сталь и закалка железа. Но плавка железной руды осуществляется с VII—VI вв. до н. э., и это было стимулировано сначала ассирийцами, но более документирована связь с греческой колонизацией (Amborn, 1976, S. 47, 80—81; Snodgrass, 1980, p. 365; van der Merwe, 1980, p. 471). Отсюда металлургия железа проникает на юг вдоль Нила, в Мероэ, где первые железные вещи, вероятно, импортные, известны в контексте VIII в. до н. э., а металлургия железа появляется в конце VI в. до н. э., но совершенно надежно в V в. до н. э., причем, в больших объемах (van der Merwe, 1980, p. 472, 473; Jemkur, 2004, p. 34, 35). Соответственно, все это вполне укладывается в русло того, что имело место повсеместно в Восточном Средиземноморье и объясняется внешним стимулом.

Для Западной Африки такой определенности нет из-за слабой изученности и спорности радиоуглеродных дат. Некоторые даты в районе массива Термит в Нигере, позволяют отнести металлургию железа к 2000 г. до н. э., что намного раньше, чем в Анатолии и позволило говорить о том, что единого центра происхождения железа не существовало (Fluzin, 2004, p. 66). Более того, некоторые прежние даты находок железа в слоях, датированных 2780 до н. э. и серединой III тыс. до н. э., позволяли допускать,

что железо в Египет попадало из Западной Африки (Maes-Diop, 2004, p. 189—191). Но надежно железо идет в Нигере с I тыс. до н. э., а металлургическая печь для плавки железа датируется только с 760 г. до н. э. (Holl, 1997, p. 22; Holl, 2000, p. 14). А в целом памятники в этом районе, связанные с металлургией, дают даты с XVII по IX до н. э. (Holl, 2009, p. 417, 419). Но ранние даты единичны, и остается вопросом, насколько корректно они указывают именно на связь с металлургией железа.

Существует еще один аспект проблемы. Металлургические печи для плавки меди в Нигере делятся по двум периодам: Медный век I (4000—3000 л. н. или около 2545—1200 гг. до н. э.) и Медный век II (3000—1000 л. н. или 1200 г. до н. э. — 1000 г. н. э.). Ранние печи очень разнообразны, поэтому предполагается, что это указывает на местное развитие (пробы и ошибки). Печи позднего периода однообразны, они цилиндрические. Самые ранние железные печи региона датируются VIII—VII вв. до н. э. Они цилиндрические, что рассматривается как продолжение традиции от медных печей позднего периода (Holl, 2009, p. 431, 434).

Южнее, в Нигерии, металлургия железа представлена в культуре Нок. С ее датировками существует множество проблем, и некоторые исследователи сомневаются в ранних датах, поскольку это аридная зона, где могло использоваться старое дерево (Wosout, 2004, p. 98). Кроме того, очень часто анализировались образцы с поверхности, без раскопок, что вызывает много вопросов (Quechon, 2004, p. 109—118). Поэтому ранние даты в Нигерии признаются ошибочными, и сейчас для культуры Нок приняты даты с X—IX вв. до н. э. (Maes-Diop, 2004, p. 191). Но, если говорить не о культуре, а о датировке памятников, где зафиксировано самое раннее производство железа культуры Нок, то это Таруга с возрастом 2500 назад (VII—VI вв. до н. э.) (Aremu, 2004, p. 149). Есть и несколько более ранние даты (VIII вв. до н. э.) для железодельной металлургии в Нигерии (Ekafor, 2004, p. 43). Не исключено, что появление металлургии там стимулировано импульсами с севера, поскольку само формирование этой культуры было связано с продвижением племен оттуда.

Таким образом, совершенно очевидно, что ранние даты железодельного производства в Африке неправомерны. Может, верна старая точка зрения о том, что распространение этой технологии осуществлялось благодаря Карфагену? Таковая существовала. Железо было известно в финикийских колониях, финикийцы торговали с берберами, а те с более южными районами, и по этим караванным путям распространялась и технология (van der Merwe, 1980, p. 477). Но в Карфагене железная металлургия датируется с VIII—VII вв. до н. э., что синхронно или даже позже, чем в некоторых частях Африки, где можно проследить постепенное развитие (Holl, 2009, p. 426).

Южнее, в Центральной Африке, даты производства железа укладываются в конец II — начало I тыс. до н. э. (Holl, 1997, p. 22; De Maret, Rhiry, 1996, p. 31; Essomba, 2004, p. 148; Maes-Diop, 2004, p. 191, 192), хотя и здесь не обходится без хронологических проблем.

Восточнее, в районе Великих Африканских озер и Танзании, даты появления железодельного производства укладываются в промежуток 900—500 гг. до н. э. Но последнее время и здесь появились ранние даты — около 1450 г. до н. э. в районе Великих озер и 1740 до н. э. в Танзании (Holl, 1997, p. 22; 2000, p. 15).

На рубеже эр идет распространение производства железа в Южную Африку, что обычно связывается с миграцией банту из районов Гвинейского залива, хотя данных об этом мало (van der Merwe, 1980, p. 478, 482; Maes-Diop, 2004, p. 192). Из района Нигерии и Камеруна языки банту распространяются в начале I тыс. до н. э. в район Великих озер, что, в целом, соответствует появлению здесь надежно датированных следов металлургии, а потом на юге. Одновременно с ними там тоже возникает металлургия железа. Но тогда же в Южной Африке появляется и металлургия меди (Miller,

2003, p. 102). Поэтому распространение металлургии здесь связано именно с миграционными процессами. Но проблема в том, что прото-банту не были металлургами, судя по лингвистическим данным. Металлургией они овладели где-то по дороге (De Maret, Rhiy, 1996, p. 34, 36). Не исключено, что именно в районе Великих озер, так как в ряде языков (египетском, суданских и банту) существует одно слово для обозначения железа (Maes-Diop, 2004, p. 192).

В целом, по Африке, как мы видим, имеется слишком мало данных и археологических и лингвистических, и многие исследователи склоняются к тому, что более вероятно независимое формирование железа в двух центрах на востоке и западе, без влияния с севера (Müller B., 1997, S. 81, 82).

К сожалению, единичные ранние даты во многих районах вызывают сомнения. Проблема не только в стандартных бедах радиоуглеродного анализа, пробами с поверхности, отсутствием больших серий, но и в неясности контекста многих проб. Насколько ранние из них связаны с производством железа?

Но есть совершенно очевидные вещи. Распространение железа в южной части Африки было вызвано миграционными процессами с севера, и это более позднее явление. Можно сказать то же о районах Гвинейского Залива, включая всю Нигерию. Нет никаких сомнений и в привнесении этой технологии в Судан.

Проблемой остается появление металлургии железа в Северо-Восточном Нигере. Карфагенское влияние можно не рассматривать по хронологическим соображениям. Но в последней трети II тыс. до н. э. в Северной Африке наблюдается движение популяций из Восточного Средиземноморья, где железо уже было хорошо известно. Поэтому не исключено, что идея плавок железа привнесена ими, и распространилась на юг задолго до Карфагена. Выше, обсуждая технологические возможности перехода от плавок медной руды к плавкам железной, мы говорили, что в Африке такие условия были, так как было умение создавать восстановительную атмосферу при плавках окисленной медной руды. Но для того, чтобы четко сказать была ли сама идея плавки железа заимствована, будучи положена в удачный технологический контекст, или возникла самостоятельно из этого удачного контекста, радиоуглеродных дат недостаточно. Необходимы типологические сопоставления и культурологические исследования.

Социально-экономические причины и технологические условия развития железодельательного производства

В раннем железном веке Северной Евразии происходят какие-то процессы, в корне отличные от характера процессов и связей в эпоху бронзы. Традиционно считается, что именно горнолесные производящие центры снабжали степь. Вероятно, в значительной степени так оно и было, но это гипотеза, пока не базирующаяся на фундаментальных исследованиях. Появление металлургии железа привело к дальнейшему росту территориальной специализации в Северной Евразии. Если с началом раннего железного века производство начинает смещаться в окружающие степь производственные центры горнолесной зоны, будучи приурочено к районам медных рудников, то с появлением железа производство расширяется в пределах лесной зоны территориально, но, вместе с тем, появляется обусловленная географическим фактором специализация на производство того или иного металла. Для районов Западной Сибири, удаленных от меднорудных источников, это вполне объяснимо. Однако в некоторых центрах, специализирующихся на меди, железа не выпускали, хотя возможности для этого и существовали (Бельтикова, 1993, с. 98, 105). Вместе с тем, как мы видим на примере городищ в районе Озерска, где неподалеку есть источники медной руды, даже там существовали специализированные железодельательные центры. Таким образом, фактор специализации, поначалу детерминированный географическими факторами, становится связан с факторами социально-

экономическими, а также с определенными традициями. Причем, как показывает иткульский материал, возникают именно специализированные металлургические центры, и некоторые из них, возможно, были сезонными, хотя на них есть массивные оборонительные укрепления. Если это предположение подтвердится, то возникнет вопрос — кто поддерживал эти поселки в периоды, когда на них не проводились металлургические операции, и какие системы социальных отношений эту систему обеспечивали? Вообще, этот период порождает очень много вопросов. И для ответов на них у нас пока нет достаточной информации.

Не менее сложной проблемой являются и мотивы широкого распространения железа. Собственно, для более развитых стадий производства, когда появляется качественная сталь, они очевидны: высокое качество изделий и возможность массового производства. Именно поэтому мы видим быстрое распространение железа после того, как овладели работой со сталью. На более ранних стадиях причины могли быть иные. Предполагается, что в конце эпохи бронзы в Восточном Средиземноморье наблюдался дефицит бронзы, так как было мало источников олова, а потребление металла росло (Muhly, 1980, p. 47). Может действительно, из-за деструкции системы, связанной с движением «народов моря» эта ситуация усугубилась, и часть металла приходилось замещать железом не слишком высокого качества (Медведская, 2011, с. 9). Работа с ним позволила усовершенствовать технологии и добиться со временем умения получать качественный металл. Тот же вариант предлагается для Северной Евразии, где деструкция системы культур ПБВ привела к ликвидации налаженных поставок олова и стимулировала переход к железу (Куштан, 2011). Но в данном случае в аналогичном выводе можно усомниться, поскольку в начале РЖВ в Северной Евразии как раз и происходит восстановление поставок олова. Поэтому необходимо искать иные мотивы.

Для многих военизированных обществ, в том числе кочевых обществ Северной Евразии, была важна возможность получения более качественного оружия. Иногда на первый план выходит возможность получения орудий. В качестве примера можно привести ситуацию в царстве Ву, в Юго-восточном Китае, где именно дешевизна железных земледельческих орудий была причиной развития обработки железа (Wagner, 1993, p. 97, 144). В Иране этому способствовала экспансия Ассирии и Урарту (Pigott, 1989, p. 69). Эти причины везде были свои. Но существовали и технологические особенности. Плавка железа, как мы видели, это достаточно сложный технологический процесс. Он тесным образом связан с последующими проблемами обработки металла. Поэтому переход на эту технологию есть сложная комплексная трансформация, которую сложно заимствовать без контактов и обучающего процесса. Если имеет место перенос этой технологии на значительное расстояние, а не медленная диффузия в течение столетий, то речь чаще идет о миграциях или очень интенсивных контактах. В Африке это видно достаточно хорошо, независимо от проблемы первичного появления этой технологии в Нигере.

Но для ее усвоения была нужна и технологическая готовность в виде умения поддерживать высокую температуру и восстановительную атмосферу при плавке окисленных руд. Как мы видели, это условие соблюдено в Африке, благодаря чему там и происходит относительно быстрое распространение железоделательного производства. Металлурги, традиционно плавившие здесь окисленные руды и создавшие шахтные печи, были к этому готовы. То же мы наблюдаем в Северной Евразии, где во многих районах Азиатской зоны к моменту появления железа плавка меди базировалась тоже на окисленных рудах. Это преодолемое препятствие, но его преодоление тоже зависит от обучающего процесса.

Важно в вышеприведенном очерке, на мой взгляд, следующее. Независимо от разнообразных социально-экономических условий, от рудной базы и очень разных тради-

ций предшествующей медной металлургии, производство железа распространяется в один, сравнительно узкий временной промежуток на огромных пространствах Евразии. Поэтому почти никому и не приходит в голову обсуждать независимое зарождение металлургии железа в разных районах. И очень часто, как мы видели, это было связано с миграциями.

Но конкретные процессы перехода к раннему железному веку здесь пока не выглядят достаточно отчетливо, и могут подарить нам в будущем множество сюрпризов.

Заключение

Как уже не раз обсуждалось на страницах этой книги, развитие металлургии прошло много этапов от использования самородной меди до плавки сульфидных руд. И все переходы от этапа к этапу имеют геологические основания: в верхней части месторождений залегает самородная медь и окисленные руды, ниже вторичные и далее первичные сульфиды. То есть, по мере углубления разработок происходил переход к следующим стадиям производства. Это не столь справедливо для отдельно взятых месторождений или ареалов, так как там могут проявлять себя многочисленные особенности, но для производства в рамках обширного ареала это безусловно. Но это развитие рудной базы требовало развития и усложнения технологических схем: от холоднойковки к плавкам при все более высоких температурах, переходу от тиглей к печам, управлению атмосферой в печи и многое другое (Strahm, Hauptmann, 2009, p. 122, 123). Поэтому, на первый взгляд, эта логика развития могла присутствовать повсеместно, так как эта последовательность руды в месторождениях является универсальной. Тем не менее, многие авторы предполагают диффузию производства с Ближнего Востока, так как данных о самостоятельном развитии в других ареалах нет (Strahm, Hauptmann, 2009, p. 125). Мы тоже видели, что именно с Ближнего Востока поступают основные формирующие импульсы для развития металлургии в Северной Евразии в течение эпохи бронзы. Это довольно старая проблема археометаллургии. В основе этих дебатов стояли Т. Вертим, который считал, что металлургия была изобретена лишь один раз, а потом распространялась из одного центра, и К. Ренфрю, который полагал, что везде существовали свои независимые центры возникновения этого производства (Roberts et al., 2009, p. 1012).

Однако логика последовательности залегания руды в месторождениях не обязательно сопровождается той же логикой развития технологий и переходом от плавки оксидов к плавкам вторичных, а затем первичных сульфидов. Так, в Африке металлургия меди возникает в III—II тыс. до н. э. и до этнографического времени базируется на плавке малахита (Holl, 2000, p. 13, 2009, p. 431; Bisson, 2000, p. 89—91, 97). Следовательно, переход на иные руды и технологии вовсе не обязательно базируется на логике ее залегания в месторождениях и технологической логике. Если бы это было так, мы видели бы по всей Евразии множество независимых зарождений и линий развития производства. Но это не так. Чаще развитие является результатом заимствования. Это хорошо видно из истории распространения металлургического производства.

Наиболее рано знакомство с медью происходит в Анатолии и Северной Месопотамии. Вероятно, оттуда использование самородной меди проникает в Западный Иран, хотя в данном случае правильнее говорить о единстве технологических процессов в более широком регионе, так как плавка руды возникает там в V тыс. до н. э., параллельно с появлением этой технологии в Анатолии.

На Балканах медь появляется в конце неолита (рис. 15-1). Поскольку с самого начала и до конца неолита Балканы были тесно связаны с Анатолией, можно предполагать, что знакомство с металлом пришло тоже оттуда, как и ряд иных анатолийских достижений. В Анатолии плавка руды начинается лишь на рубеже VI/V тыс. до н. э. Поэтому первоначально идет проникновение знакомства с самородной медью. С V тыс. до н. э. на Северных Балканах формируется развитое энеолитическое производство, которое начинает постепенно распространяться по Юго-восточной и Центральной Европе. Такое производство не может базироваться на находках самородной меди, наверняка в основе его лежала плавка руды. В данном случае невозможно ответить на вопрос — было ли это независимое изобретение или оно было стимулировано какими-то дополнительными импульсами из Анатолии. До начала этого периода Анатолия и Балканы представляли собой, практически, единый культурный комплекс. Поэтому корректно говорить о

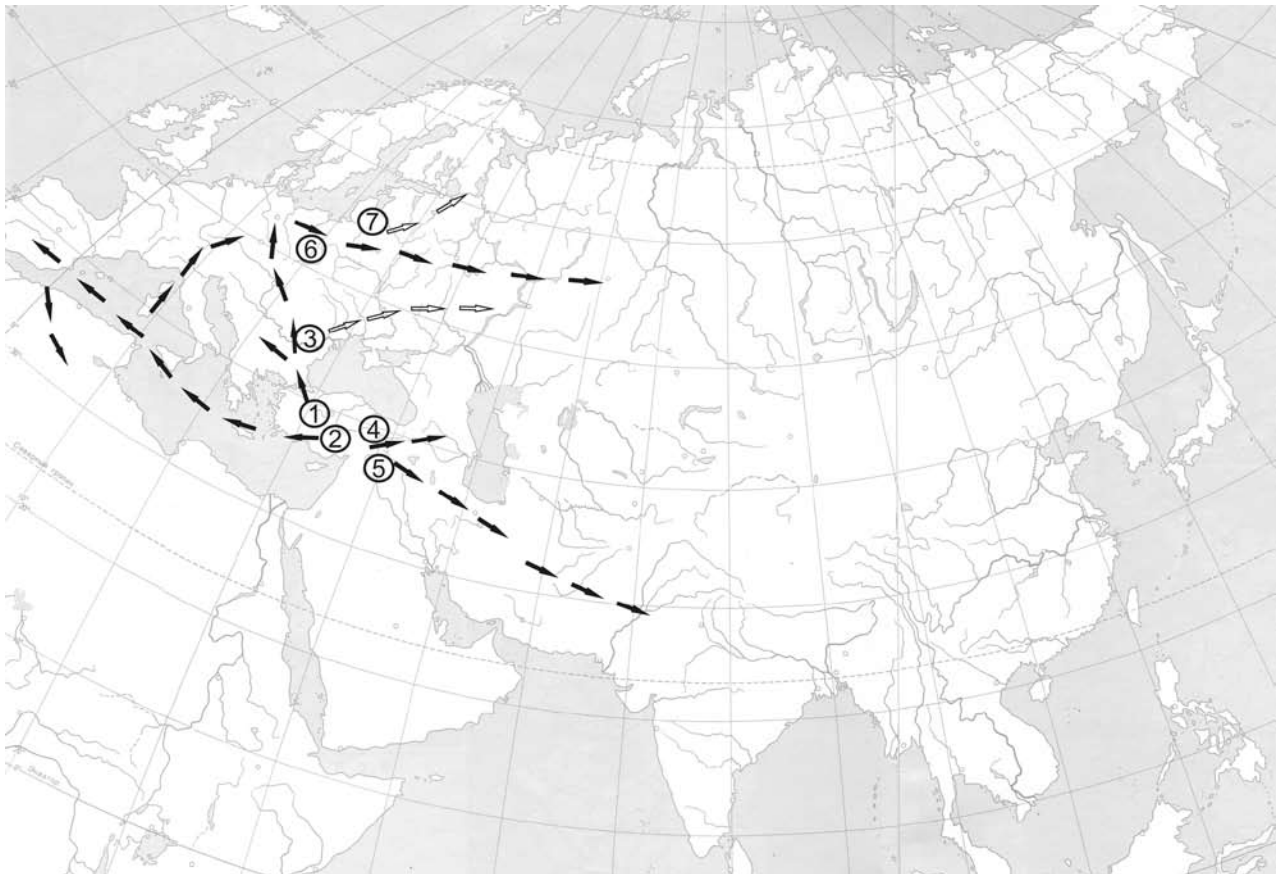


Рис. 15-1. Распространение металлургии меди в энеолите: 1 — проникновение металлургии меди из Анатолии на Балканы на рубеже VI/V тыс. до н. э., и далее в на рубеже V/IV тыс. до н. э. в Центральную Европу; 2 — проникновение металлургии меди в V тыс. до н. э. из Восточного в Западное Средиземноморье; 3 — распространение металлообработки с Балкан в южную часть Восточной Европы в V тыс. до н. э.; 4 — проникновение металлургии меди в Закавказье в V тыс. до н. э.; 5 — распространение медного производства в Иране в VI—IV тыс. до н. э.; 6 — распространение металлургического производства из Центральной и Северной Европы в Зауралье в IV тыс. до н. э.; 7 — распространение металлообработки в Карелию в IV тыс. до н. э.

формировании плавки руды в едином Балкано-Анатолийском регионе. Использование чистой окисленной руды на Балканах, вероятно, симптоматично. Неолитизация Балкан осуществлялась из Анатолии; вероятно, тогда же были переданы навыки горного дела, знакомство с металлом, возможно, в конце неолитического периода, и плавка окисленной руды. В Анатолии в это время мышьяковая медь тоже еще не была так распространена, как в последующее время, хотя единичные случайные изделия и не исключены.

Несколько позже, в середине V тыс. до н. э. металлургическое производство начинает распространяться из Восточного Средиземноморья на запад, в Иберию, откуда в IV тыс. до н. э. идет распространение металлургических технологий на юг, в Северную Африку. В том же тысячелетии металлургия появляется на Корсике, в Северо-западной Италии, и оттуда в Южной Франции. В начале этого тысячелетия производство распространяется с Балкан в Среднюю Европу, куда позднее проникает еще один импульс — с юго-запада, из Франции и Швейцарии. В результате с середины IV тыс. до н. э. металлургия освоена по всей Средней Европе.

Чуть раньше середины IV тыс. до н. э. происходят какие-то процессы в Анатолии и в Центральной Европе. В результате, на Балканы распространяются центральноевропейские и анатолийские импульсы (последние через Восточную Европу). Это приводит к появлению мышьяковых бронз. В это же время импульсы из Средней Европы

достигают Урала, в результате чего здесь возникает металлургическое производство. Не исключено, что следом имел место еще один импульс, из Анатолии, но он пока слишком слабо аргументируется материалом. В этом производстве намечаются различные технологические традиции: плавка окисленной и сульфидной руды, включая халькопирит, появляются попытки легирования мышьяком, даже оловом. Плавка ведется в конструктивно сложных печах. Вместе с тем, существует и очень архаичная плавка окисленной руды в тиглях. Как эти традиции сочетаются друг с другом — совершенно не понятно. Но серьезного развития металлургия здесь не получает. Происходит деградация. Во-первых, она не была востребована экономикой охотников и рыболовов. Какое-то время эта традиция поддерживалась сформировавшимся в начале энеолита стратифицированным обществом, но впоследствии, по мере нивелировки этого общества, металлургия деградирует до предельно примитивных форм.

В конце IV тыс. до н. э. происходит оформление майкопской культуры Северного Кавказа (рис. 15-2). Присутствие здесь мышьяковых лигатур с примесями никеля указывает на то, что металлургическое производство сюда привносится с Ближнего Востока. К сожалению, шлаки в этой культуре не известны, но наиболее вероятно, что использовались окисленные руды, и легирование мышьяковыми минералами производилось на стадии плавки руды. В дальнейшем плавка руды появляется далеко на востоке, в Южном Приуралье, в среде ямных племен. Типологические параллели металла указывают на циркумпонтийский фон и, возможную связь с Северным Кавказом, но данных о том, как здесь появляется сама плавка руды нет. Проблема в том, что мышьяковые лигатуры здесь не используются. Металлургический шлак отсутствует. Вероятнее, технология носила очень архаичный характер и базировалась на плавке окисленной руды из медистых песчаников в тиглях. Но мы не можем сказать — что это — регресс кавказских технологий или заимствование местных энеолитических. К тому же, кто знает — что нам покажут ямные шлаки и печи, когда их удастся, наконец, обнаружить.

Наиболее поздно в Европе металлургия проникает на Британские острова, в III тыс. до н. э. В Северной Евразии в это тысячелетие данных о металлургическом производстве, практически, нет, при наличии металла в ямных и катакомбных погребальных памятниках. Единственным источником меди, о котором можно говорить уверенно для всего этого периода, являются рудники в медистых песчаниках Оренбуржья. Основную роль здесь играли Каргалинские рудники, но использовались, наверняка, и иные месторождения этого ареала. Какие-то серьезные технологические трансформации тут не прослеживаются. Однако на западе, в южной части Восточной Европы, в металле присутствует большая доля мышьяковой меди, которая не связана с Приуральем. Особенно это характерно для катакомбников. Маловероятно, что источником этого металла было Закавказье, как это предполагается в настоящее время, но иные данные у нас сегодня полностью отсутствуют. Поэтому даже попытки обсуждать эту проблему полностью лишены смысла.

На рубеже III/II тыс. до н. э. начинается всплеск развития производства в Северной Евразии (рис. 15-3). Первым очагом этого производства стала синташтинская культура Южного Зауралья. В этот регион металлургия проникает из Передней Азии в виде технологии плавки окисленной руды (с включениями вторичных сульфидов) из ультраосновных, реже кварцевых пород, с легированием мышьяком на стадии плавки руды. Идет постепенное расширение рудной базы и использование более распространенных руд из кварцевых пород. Параллельно в Приуралье в абашевской среде сохраняются очень архаичные технологии тигельной плавки очень чистой окисленной руды, восходящие, вероятно, еще к энеолитической эпохе. Но сюда проникает и синташтинская технология, на основе которой и идет дальнейшее технологическое развитие всего производства в регионе.

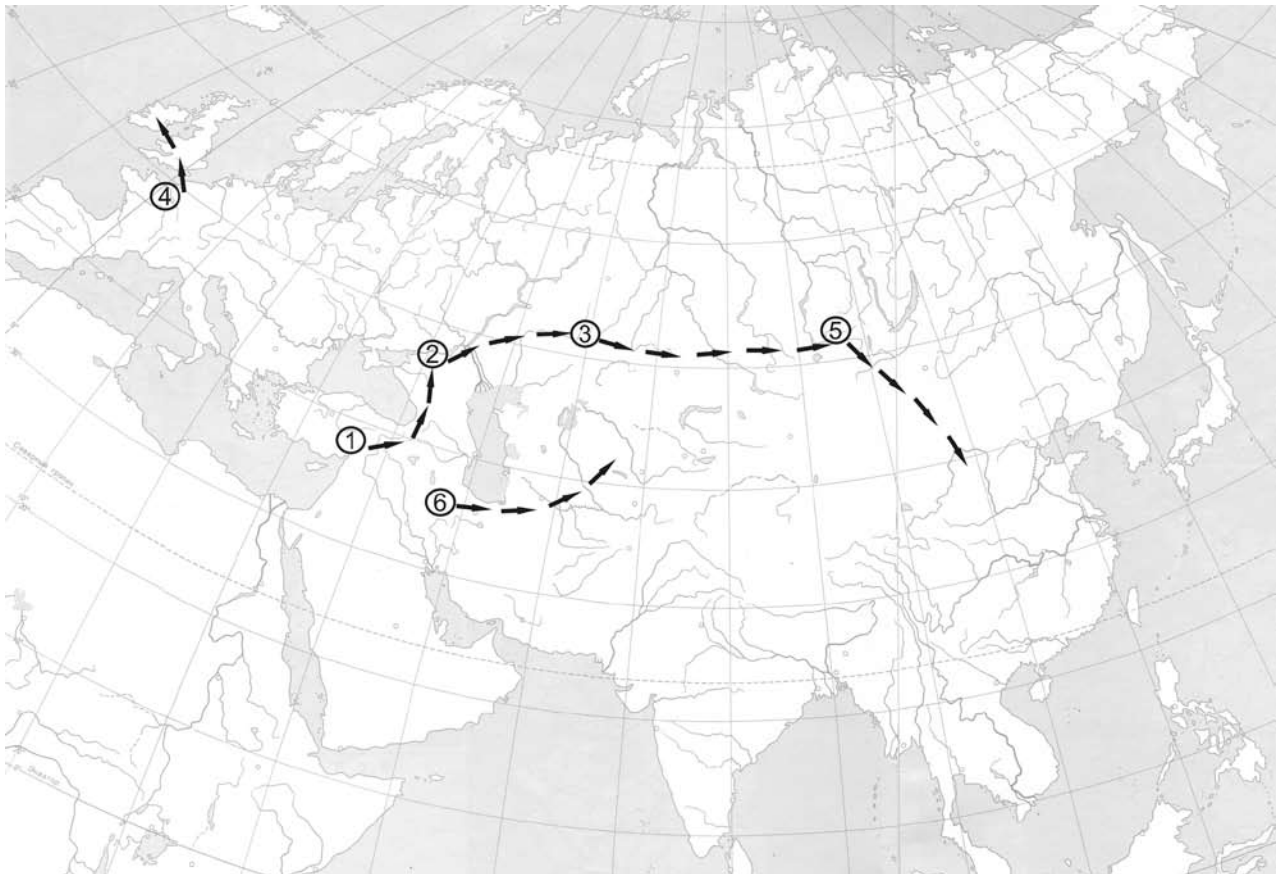


Рис. 15-2. Распространение металлургии меди в РБВ-СБВ: 1 — формирование майкопской металлургии Северного Кавказа в результате ближневосточного импульса в конце IV тыс. до н. э.; 2 — воздействие майкопской металлургии на формирование ямной металлургии в Приуралье в начале III тыс. до н. э.; 3 — воздействие ямной металлургии на формирование афанасьевского производства в Саянах и на Алтае; 4 — континентальные импульсы и формирование металлургического производства на Британских островах в середине III тыс. до н. э.; 5 — вероятные афанасьевские и окуневские влияния на формирование металлургии в Китае; 6 — распространение металлургических технологий из Ирана в Среднюю Азию

В Средней Азии в III тыс. до н. э. идет распространение технологии металлургического производства из Ирана (рис. 15-2). Первоначально распространяется архаичная технология тигельной плавки руды. Не исключено, что такая технология плавки возникает и севернее, в Саянах и на Алтае, в среде афанасьевской культуры. Однако здесь источником ее является ямная металлургия Восточной Европы. В СБВ, возможно, здесь имеют место какие-то технологические изменения, связанные, с окуневскими и поздне-афанасьевскими комплексами, проявляющиеся в появлении лигатур, но надежных данных по этому периоду в Сибири нет. Наиболее вероятно, что из этого региона исходили импульсы, которые вызвали формирование металлургии на юго-востоке, в Китае, но подтвердить это конкретным материалом пока невозможно, это предположение базируется исключительно на хронологическом совпадении.

Во второй половине или конце III тыс. в Средней Азии появляется плавка халькопирита. Затем она возникает и севернее, на Алтае. Использование халькопирита еще слабо выражено в елунинской культуре Алтая, где доминирует смесь окисленных и сульфидных руд, но возникает и легирование оловом. Пока трудно связать это с каким-то конкретным регионом Ближнего или Среднего Востока, но анатолийские корни оловянных лигатур и плавок халькопирита несомненны (рис. 15-3).

При переходе к ПБВ, в первой половине II тыс. до н. э., с формированием в Восточной Европе срубной культуры, а в Зауралье и Казахстане петровской и алакульской,

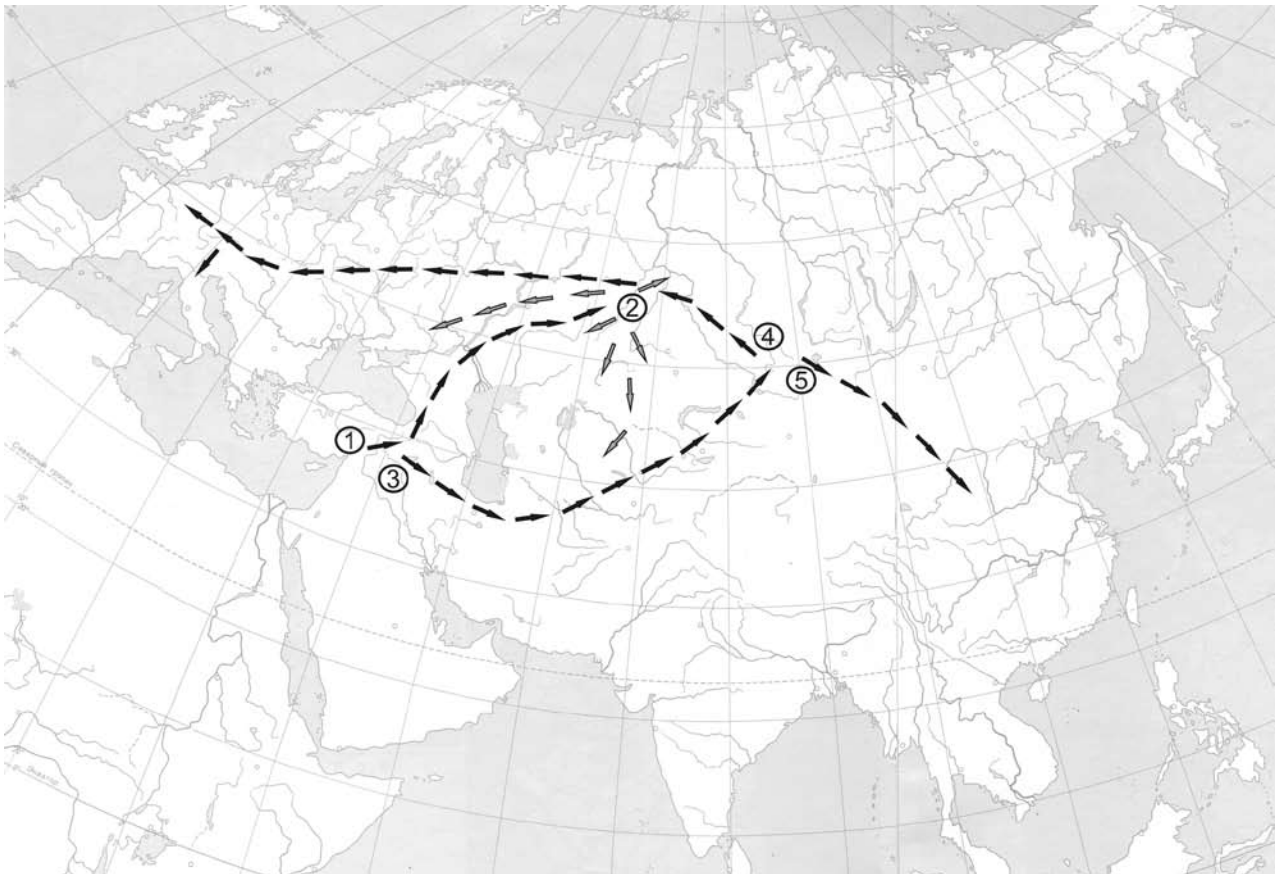


Рис. 15-3. Распространение новых технологий в конце СБВ и ПБВ (конец III — начало II тыс. до н. э.):

1 — формирование синташтинской металлургии в результате ближневосточного импульса; 2 — распространение синташтинской технологической традиции в Казахстан, лесостепное Зауралье, Приуралье и Восточную Европу (серые стрелки); 3 — направление распространения традиций легирования оловом и плавки сульфидов и формирование елунинского и сейминско-турбинского производства; 4 — дальнейшее проникновение этих традиций по лесостепной и лесной зоне на Урал, в Восточную и Западную Европу; 5 — распространение сейминско-турбинских традиций в Китай

происходит резкое территориальное расширение металлургического производства. Еще в конце СБВ II синташтинские традиции начинают проникать на север, в лесостепное Зауралье, и на восток, в западную часть Северного Казахстана. Однако вскоре они распространяются еще шире и трансформируются. Происходит окончательный разрыв с технологией плавки руд из ультраосновных пород, наблюдается повсеместный переход на руды в кислых породах, что вполне естественно, в силу большей их распространенности и большому богатству этих руд. Однако это приводит к длительности плавильного процесса, более высоким температурам, окислительным процессам. Все это делает невозможным сохранение мышьякового легирования на стадии плавки руды. Поэтому создаются предпосылки для очередных технологических изменений, связанных с импульсами с востока.

Оттуда в сейминское, а затем в федоровское время идет распространение на запад, преимущественно по лесостепной зоне, традиции плавки сульфидных руд и легирования оловом. Эти традиции проникают и в степь, в срубную и алакульскую среду, но в плане плавки руды там сохраняются те технологии, которые возникли в синташтинское время.

Более успешно идет проникновение новых технологий на запад, сначала в Центральную Европу и вплоть до Атлантической Европы, хотя в Британии не исключено и самозарождение оловянного легирования. Второй вектор импульсов из Саяно-Алтайского

региона направлен на юго-восток, в Китай, где вместе с широким распространением оловянных лигатур наблюдается появление сейминско-турбинских типов изделий. Наконец, степные популяции привносят свои технологии плавки в Среднюю Азию, что проявляется на территории Кызылкумов.

В эпоху финальной бронзы, в начале второй половины II тыс. до н. э., в степной зоне сохраняются прежние технологические тенденции. Но местами, и в особенности в Южной Сибири и Центральной Азии, появляются новые технологические черты. Новый ближневосточный импульс (более точно определить регион пока тоже не представляется возможным) приводит к трансформации металлургических технологий (рис. 15-4). В северо-восточной части ЕАМП происходит возврат к плавке окисленных руд или их смеси с сульфидными рудами и к мышьяковым лигатурам. Вероятно, вместе с этим привносятся и технологии плавки железных руд. Но последние до появления технологии получения стали пребывали в латентном состоянии. В результате, в этом регионе оформляется новая Центрально-Азиатская металлургическая провинция, резко отличная по своим характеристикам от ЕАМП.

Эта провинция оказывает свое влияние на юг (и часть Китая, явно, входила в ее состав), а также, отчасти, на запад. Это приводит к широкому распространению мышьяковых лигатур и деградации традиции легирования оловом. Оловянные лигатуры сохраняются лишь на востоке этой новой провинции. Не исключено, что это связано с влиянием развитого производства, которое сформировалось к тому времени в Китае, где оловянные лигатуры доминировали.

Наиболее мощное воздействие из Центральной Азии на запад происходит в начале РЖВ. Это ведет к восстановлению оловянных лигатур, переходу на плавки окисленных руд и их смеси с сульфидными, способствует внедрению металлургии железа. Последняя технология, первоначально появившись, вероятно, в Анатолии, начинает в эпоху финальной бронзы распространяться в восточном направлении: в Иран, Индию, Центральную Азию, через нее в Китай. Вероятно и северное направление — на Дон и Донец через Кавказ, а в дальнейшем, с развитием технологии получения стали, в Среднее Поволжье и Прикамье. На запад технология производства железа распространяется через Центральную Европу и Средиземноморье, причем, возможно, последний путь был также стимулом для проникновения металлургии железа в Северную Африку и постепенного ее победного шествия на юг Африканского континента. С появлением металлургии железа в Зауралье возникает много вопросов. Отчасти она, безусловно стимулирована из Приуралья, но не исключены и восточные импульсы.

Здесь мы коснулись лишь вопросов плавки руды и, отчасти, лигатур. Это взаимосвязанные процессы, но с ними связано также огромное количество проблем металлообработки и горного дела. Но это не было распространение только данного комплекса металлургических технологий. Они сопровождались изменением многих черт материальной культуры.

Одной из важных особенностей Северной Евразии в древности является пульсирующий характер культурогенеза, когда неожиданно на значительных территориях осуществляются существенные культурные преобразования сходного типа. Большинство исследователей склонны объяснять это разными причинами, базируясь на идее автохтонного развития этих территорий. На мой взгляд, этот район был всегда подвержен масштабным миграционным процессам, которые и лежали в основе этих преобразований. Особенно наглядно это проявляется в металлургическом производстве. В первую очередь, металлургические технологии достаточно сложны и исключают заимствование без обучающего процесса. Само знакомство с металлом можно заимствовать. Но это может породить лишь использование самородной меди и обработку ее путем примитивных кузнечных технологий, как это, возможно, имело место в энеолитической

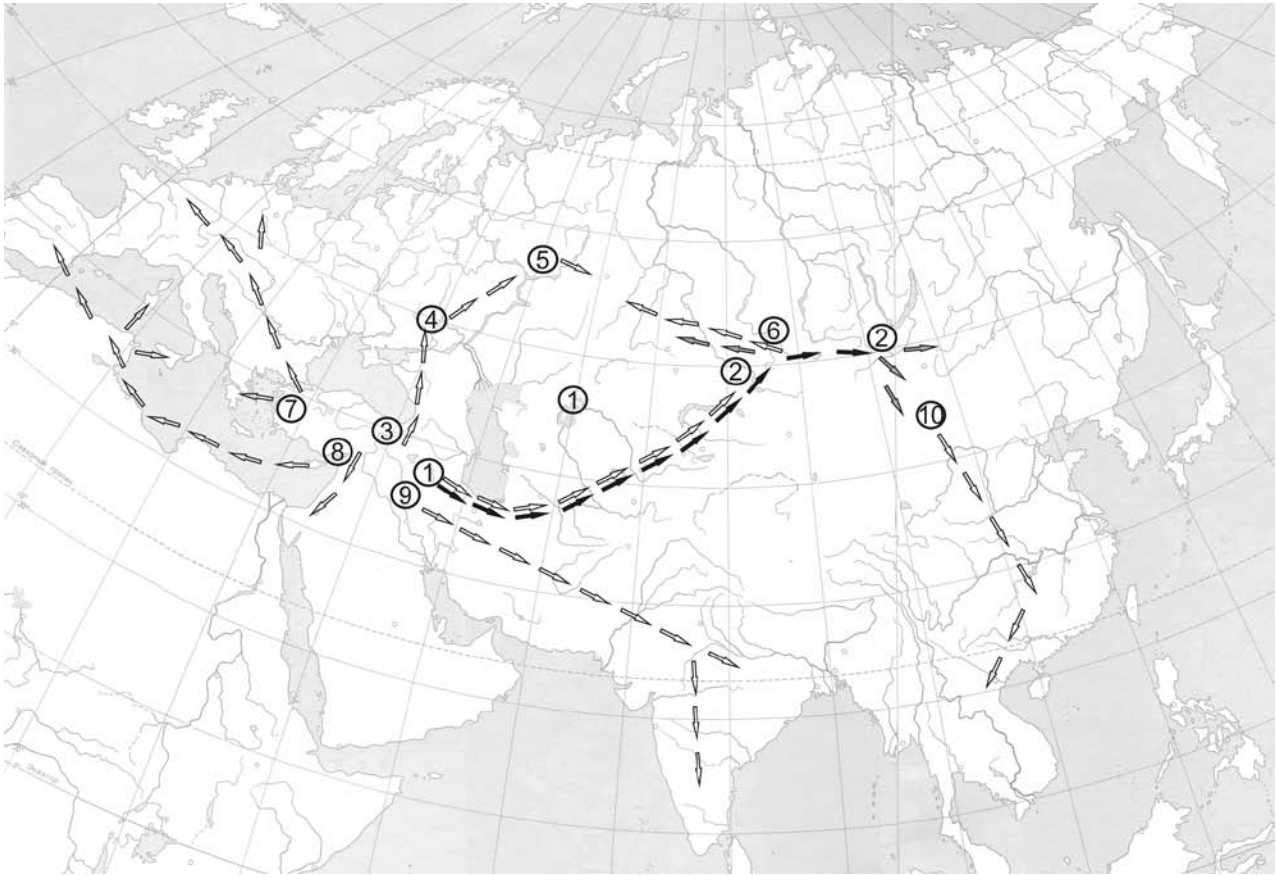


Рис. 15-4. Распространение технологий меди (черные стрелки) и железа (белые стрелки) в конце бронзового века и начале РЖВ: 1 — проникновение технологии плавки окисленных руд, мышьякового легирования и получения железа в Южную Сибирь и Центральную Азию в последней четверти II тыс. до н. э.; 2 — влияние этих традиций на соседние ареалы (серые стрелки); 3 — проникновение железоделательного производства на Кавказ и юг Восточной Европы в последней четверти II тыс. до н. э.; 4 — кавказские импульсы и формирование ананьинского производства железа в первой половине I тыс. до н. э.; 5 — ананьинские влияния на формирование производства железа в Зауралье в середине I тыс. до н. э.; 6 — импульсы из Центральной Азии, появление железа в степном Зауралье и возможное воздействие на формирование производства в лесной зоне в VIII—VII вв. до н. э.; 7 — распространение металлургии железа из Анатолии через Центральную Европу в последней четверти II тыс. до н. э.; 8 — распространение металлургии железа из Восточного в Западное Средиземноморье в последней четверти II тыс. до н. э.; 9 — распространение металлургии железа через Иран до Индии в последней четверти II тыс. до н. э. и первой половине I тыс. до н. э.; 10 — распространение металлургии железа в Восточной Азии в I тыс. до н. э.

Карелии. Мы можем допускать для каких-то случаев распространение и технологий металлообработки от носителей этой технологии к соседям, и постепенную их диффузию на большие расстояния. Такой случай, видимо, имел место в энеолите, когда с территории севера Балканского полуострова по югу Восточной Европы распространяются металлообрабатывающие технологии, и этот процесс сопровождается постепенной их примитивизацией, что вполне логично при подобном процессе.

Однако очень часто мы наблюдаем распространение технологии плавки руды, что невозможно передать через безрудные районы. Более того, отдельные элементы металлургического комплекса, как мы видели, очень тесно взаимосвязаны друг с другом. Выбор типа сырья (типа руды и даже рудовмещающей породы) диктует определенные технологии последующей ее плавки. С ними, в свою очередь, связан выбор легирующих компонентов. С последними же — технологии металлообработки, и, в конечном итоге, типы металлических изделий. Поэтому неожиданное появление этого комплекса без возможности проследить этапы его постепенного становления на месте должно, как

минимум, настораживать. Это позволяет, на мой взгляд, ставить проблему миграционного характера этих инноваций, особенно в тех случаях, когда мы можем проследить предшествующие фазы этого технологического развития в иных, пусть и весьма отдаленных местах.

Исходя из того, что мы увидели, анализируя металлургические материалы Северной Евразии, в развитии здесь металлургического производства доминировали внутренние импульсы. Однако время от времени происходили разительные перемены, стимулированные извне. На первых порах, в энеолите, таким стимулом выступала металлургия Балкано-Карпатской металлургической провинции, наиболее развитого производственного региона того времени, хотя присутствовали и анатолийские импульсы.

Затем, в течение почти всей эпохи бронзы в качестве главного стимулирующего центра выступает юго-восточная часть Циркумпонтийской металлургической провинции, но и после ее развала этот район продолжает оказывать на север свое влияние. И лишь при переходе к раннему железному веку в качестве дополнительного источника инноваций начинает выступать какой-то ареал Центрально-Азиатской металлургической провинции.

Все это прекрасно иллюстрирует принятое многими археометаллургами мнение о том, что металлургические технологии могли передавать только мигрирующие специалисты. При этом распространение технологий нельзя отрывать от социокультурной сети и иных традиций (см. напр. Roberts et al., 2009, p. 1016—1019; Roberts, 2009, p. 135, 136). И в Северной Евразии мы видим, что процессы распространения технологий и иных культурных традиций достаточно точно совпадают. Но существует и еще одно совпадение. Направления распространения культурных традиций в Евразии в эпоху бронзы совпадают с направлениями распространения с Ближнего Востока индоевропейских языков (Гамкрелидзе, Иванов, 1984; Григорьев, 1999) .

Из этого следует, что именно носители этих языков и выступали основными распространителями передовых технологий металлургии в Евразии. Это, конечно, не означает, что именно они и были разработчиками этих технологий. В их развитии принимали участие разные народы Ближнего Востока и, в первую очередь, Анатолии. В древности именно там создавалась большая часть металлургических инноваций. Собственно, причины этого вполне очевидны. Как и многие иные части культуры общества, металлургия традиционна и инерционна. Наверное, даже более традиционна, чем все прочее, так как это достаточно сложная система, состоящая из комплекса разных сложных операций, и этот комплекс нельзя собирать по кусочкам из разных несопоставимых частей. Поэтому без существенной необходимости изменения здесь маловероятны. Такие необходимости временами возникают, и вызывают технологические трансформации. Но в Анатолии был мощный стимул к постоянному развитию, который заставлял все время совершенствовать и расширять производство.

Основой развития металлургии в Анатолии был высокий уровень развития экономики и общества на Ближнем Востоке. Но этот бесспорный мотив для развития производства был многократно усилен присутствием рядом с Анатолией бедной ресурсами, но бурно развивающейся Месопотамии. Это обеспечивало обширный рынок для анатолийской металлургии (Muhly, 1980, p. 28). Например, спрос на серебро стимулировался необходимостью обеспечить месопотамскую торговлю и обмен. Поэтому самородные минералы или серебряные руды были недостаточны. Это привело к развитию технологии получения серебра из свинцовых руд.

Таким образом, распространение металлургических технологий далеко не всегда было чистым процессом распространения технологии. Чаще это происходило с мигрирующими коллективами, которые этими технологиями владели. Сами же эти миграции, естественно, вовсе не были нацелены на то, чтобы распространить где бы то ни было

новую технологию или иные культурные достижения. Это всегда был вынужденный процесс, связанный с природными или политическими причинами. И популярные разговоры о блуждающих мастерах абсолютно ни на чем не основаны, за исключением понимания того, что распространить металлургию без обучения нельзя и нежелания признать возможность более масштабных миграционных процессов. Впрочем, обсуждать идею «блуждающих мастеров» можно будет лишь после того, как появится хотя бы какая-то попытка привести минимальные факты в пользу этого.

Но мне бы не хотелось, чтобы сложилось впечатление, что Евразия обязана распространению металлургических технологий исключительно индоевропейцам. В каких-то случаях это было действительно так. Но в ряде случаев, мы не видим за распространением культуры какого-то строгого соответствия в модели миграции носителей индоевропейских языков. Ярким примером этому является наиболее раннее проникновение металлургии из Восточного Средиземноморья на запад и ее распространение в мегалитических культурах Атлантической и Северной Европы. На мой взгляд (Григорьев, 2010б) это было связано с распространением популяций, говоривших, преимущественно, на языках дене-кавказской языковой семьи. В Южной Африке носителями металлургических традиций выступали, в первую очередь, народы банту. Можно найти и множество иных примеров. Но носителями этой традиции, причем порой на значительное расстояние, всегда были конкретные люди.

Но после того как некая традиция привносилась в новый регион, начинались новые, уже местные процессы. Часть из них была связана с имеющейся рудной базой, которая могла оказаться непривычной или неподходящей для данной традиции, что имело результатом какую-то небольшую технологическую трансформацию. Свое воздействие оказывал и контакт с местными технологическими традициями, особенно в случае адаптации новой технологии местными мастерами.

Значительную роль играло и то, каков в новом месте был характер всего прочего хозяйства и социальных структур. Так, появившись на Урале в довольно развитых формах, металлургия деградирует. Вероятно, эта деградация идет следом за деградацией общества, которое сначала демонстрирует неожиданно сложный уровень, наиболее ярко выраженный в мегалитическом строительстве, но потом все упрощается. В среде охотников и рыболовов это не может быть устойчиво, и металлургия изначально не играла какой-то заметной роли в этом обществе.

Ситуация постепенно начинает меняться в эпоху бронзы, когда металлургическое производство Северной Евразии существует в условиях производящей экономики и все более усложняющихся социальных структур. Безусловно, не она лежала в основе формирования этих структур, скорее эти социальные структуры и хозяйственные формы оказывали влияние на характер металлургического производства. Но, будучи частью этой сложной системы, металлургия оказывала свое воздействие на иные части.

Новой особенностью было и то, что в эти более сложные общественные системы оказалось интегрировано более сложное производство. Производство энеолитического времени Северной Евразии было ориентировано на незначительные объемы и основано, главным образом, на довольно простых технологиях, незначительных объемах и использовании нелегированной меди. Единственным условием для такого производства было наличие умелых мастеров и рудных источников поблизости. Но в эпоху бронзы производство усложняется. Для синташтинской культуры периода СБВ II это усложнение еще не достигло того уровня, когда требуется специализация. Но существовала проблема с мышьяковыми лигатурами и подходящими рудными источниками, некоторые из которых были общими для всей синташтинской культуры. Поэтому использование этих источников имело какие-то свои формы социального или межобщинного регулирования.

Ситуация постепенно усложняется в ПБВ. Это связано и с более сложными литейными и кузнечными технологиями, что требовало появления соответствующей специализации. Metallургическое производство распространяется повсеместно, но оно представлено не на всех поселениях. Поэтому возникает необходимость поставок металла из горнорудных центров.

Возникает специализация поселений и даже целых горных районов. Это имело место, конечно, не везде. И это существовало в каких-то социальных структурах, формы которых не слишком ясны.

Важным фактором был и переход на новые лигатуры, на легирование оловом, которое добывалось в Центральном и Восточном Казахстане и поставлялось далеко на запад. Естественно, что-то должно было поставляться в обратном направлении. Это создавало целую систему торговых или обменных отношений. Следовательно, с этого времени металлургия уже оказывает какое-то воздействие на социально-экономические системы, в рамках которых она существовала.

Наконец, в раннем железном веке происходит дальнейший рост уровня специализации, поскольку горно-металлургическое производство выносится, главным образом, на периферию региона. Это не может рассматриваться как дальнейшее развитие естественного процесса специализации. Причина была конкретно-историческая: переход в степи к кочевому хозяйству, что стимулировало развитие оседлых металлургических центров.

Это наиболее общие выводы, и мне бы не хотелось суммировать здесь частных выводов, сделанных по отдельным проблемам, поскольку их необходимо, вероятно, значительно трансформировать в будущем. Здесь уместнее, в заключение, еще раз остановиться на той мысли, которая уже изложена во введении. Эта работа не может претендовать на описание металлургии Северной Евразии, так как это невозможно сделать в рамках одного исследования. Задача работы была показать возможные исследовательские приемы, методы и подходы к изучению древних плавок руды, и дать общую картину развития технологий на этом огромном пространстве. В работе лишь отдельные узлы проработаны с привлечением достаточного количества материала. За их пределами — белые пятна. Но мне хочется надеяться, что эта книга послужит базой для постепенной ликвидации этих пятен, и если когда-то это случится, то задача ее будет решена.

Литература

1. Абдулганеев, М. Т. Поселение Комарово I — новый памятник эпохи раннего металла / М. Т. Абдулганеев // Археологические исследования на Алтае. — Барнаул : АГУ, 1987. — С. 67—80.
2. Абдулганеев, М. Т. Керамика эпохи ранней бронзы с Алтая // Алтай в эпоху камня и раннего металла. — Барнаул : АГУ, 1988. — С. 117—129.
3. Авилова, Л. И. Металл Ближнего Востока. Модели производства в энеолите, раннем и среднем бронзовом веке / Л. И. Авилова. — М. : Памятники исторической мысли, 2008. — 227 с.
4. Аванесова, Н. А. Культура пастушеских племен эпохи бронзы азиатской части СССР / Н. А. Аванесова. — Ташкент, 1991. — 200 с.
5. Авилова, Л. И. Малая Азия в системе металлургических провинций / Л. И. Авилова, Е. Н. Черных // Естественнонаучные методы в археологии. — М. , 1989.
6. Агапов, С. А. Металл степной зоны Евразии в конце бронзового века : автореф. дис. ... канд. ист. наук / С. А. Агапов. — М., 1990. — 17 с.
7. Агапов, С. А. Срубная культура лесостепного Поволжья / С. А. Агапов, И. Б. Васильев, О. В. Кузьмина, А. П. Семенова // Культуры бронзового века Восточной Европы. — Куйбышев, 1983. — С. 6—58.
8. Агапов, С. А. Металлообрабатывающий комплекс поселения Липовый Овраг / С. А. Агапов, А. Ю. Иванов // Поселения срубной общности ; под ред. А. Д. Прякина. — Воронеж : ВГУ, 1989. — С. 133—144.
9. Агапов, С. А. Металл Потаповского могильника в системе Евразийской металлургической провинции С. А. Агапов, С. В. Кузьминых // И. Б. Васильев, П. Ф. Кузнецов, А. П. Семенова Потаповский курганный могильник индоиранских племен на Волге. — Самара, 1994. — С. 167—172.
10. Агапов, С. А. Моделирование процессов древней плавки меди / С. А. Агапов, С. В. Кузьминых, С. А. Терехин // Естественнонаучные методы в археологии. — М. : Наука, 1989. — С. 100—108.
11. Агапов, С. А. Хвалынский энеолитический могильник / С. А. Агапов, И. Б. Васильев, В. И. Пестрикова, — Саратов, 1990. — 159 с.
12. Агапов, С. А. Металлопроизводство восточной зоны общности культур валиковой керамики / С. А. Агапов, А. Д. Дегтярева, С. В. Кузьминых // ВААЭ. — 2012. — № 3 (18). — С. 44—59.
13. Акишев, К. А. Саки азиатские и скифы европейские (общее и особенное в культуре) // Археологические исследования в Казахстане / К. А. Акишев. — Алма-Ата, 1973. — С. 43—58.
14. Алексеев, В. П. Антропологические типы Южной Сибири (Алтае — Саянское нагорье) в эпохи неолита и бронзы // Вопросы истории Сибири и Дальнего Востока / В. П. Алексеев. — Новосибирск, 1961. — С. 377—385.
15. Алехин, Ю. П. Предварительные результаты исследований 1982—1987 гг. на поселении древних металлургов Кольванское I / Ю. П. Алехин, М. А. Демин // Хронология и культурная принадлежность памятников каменного и бронзового веков Южной Сибири : тез. докл. — Барнаул : АГУ, 1988. — С. 86—88.
16. Андреева, М. В. К вопросу о южных связях майкопской культуры / М. В. Андреева // СА. — 1977. — № 1. — С. 39—56.
17. Андреева, М. В. Об изображениях на серебряных майкопских сосудах / М. В. Андреева // СА. — 1979. — № 1. — С. 22—84.
18. Андреева, М. В. Майкопские и куро-аракские сосуды в роли культурных знаков / М. В. Андреева // Майкопский феномен в древней истории Кавказа и Восточной Европы. — Л., 1991.

19. Андреева, М. В. К вопросу о знаковой роли посуды из раннебронзовых памятников Кавказа (конец IV—III тысячелетия до н. э.) / М. В. Андреева // ВДИ. — 1996. — № 1. — С. 85—101.
20. Антропологические типы древнего населения на территории СССР. — М. : Наука, 1988. — 207 с.
21. Ардзинба, В. Г. К истории культуру железа и кузнечного ремесла (почитание кузницы у абхазов) / В. Г. Ардзинба // Древний Восток: этнокультурные связи. — М. : Наука, 1988. — С. 263—306.
22. Археология зарубежной Азии. — М., 1986 — 358 с.
23. Археология Украинской ССР. — Т. 1. — Киев, 1985. — 589 с.
24. Аскарлов, А. Древнеземледельческая культура эпохи бронзы юга Узбекистана / А. Аскарлов. — Ташкент : ФАН УССР, 1977. — 231 с.
25. Аскарлов, А. К вопросу о происхождении культуры племен с расписной керамикой эпохи поздней бронзы и раннего железа / А. Аскарлов // Этнография и археология Средней Азии. — М. : Наука, 1979. — С. 34—37.
26. Бельтикова, Г. В. О зауральской металлургии VII—III вв. до н. э. / Г. В. Бельтикова // ВАУ. — Вып. 15. — Свердловск, 1981. — С. 118—125.
27. Бельтикова, Г. В. Иткульское I городище — место древнего металлургического производства / Г. В. Бельтикова // Проблемы урало-сибирской археологии. — ВАУ. — XVIII. — Свердловск : УрГУ, 1986. — С. 63—78.
28. Бельтикова, Г. В. Памятник металлургии на острове Малый Вишневый / Г. В. Бельтикова // Материальная культура древнего населения Урала и Западной Сибири. — ВАУ. — XIX. — Екатеринбург: УрГУ, 1988. — С. 103—116.
29. — XXI. — Екатеринбург : УрГУ, 1993. — С. 93—106.
30. Бельтикова, Г. В. Литейные формы иткульского очага металлургии (VII—III вв. до н. э.) / Г. В. Бельтикова // Знания и навыки уральского населения в древности и средневековье. — Екатеринбург : УИФ ; Наука, 1993. — С. 38—75.
31. Бельтикова, Г. В. Комментарии к тезисам доклада Е. М. Берс / Г. В. Бельтикова, В. М. Морозов // Четвертые берсовские чтения — Екатеринбург : Аква-Пресс, 2004. — С. 7.
32. Бельтикова, Г. В. Городище Думной Горы — место специализированного металлургического производства (предварительное сообщение) / Г. В. Бельтикова, В. Е. Стоянов // Древние поселения Урала и Западной Сибири. — ВАУ. — XVII. — Свердловск : УрГУ, 1984. — С. 130—144.
33. Березанская, С. С. Культуры эпохи бронзы на территории Украины / С. С. Березанская, В. В. Отрощенко, Н. Н. Чередниченко, И. Н. Шарафутдинова. — Киев, 1986. — 164 с.
34. Берлев, О. Д. Наконечник копья фараона Яхмеса I из Государственного музея изобразительных искусств имени А. С. Пушкина / О. Д. Берлев, С. И. Ходжах // ВДИ. — 1979. — № 3. — С. 82—87.
35. Берс, Е. М. Древнее металлургическое производство на горе Петрогром и вопросы этнической принадлежности древних медеплавильщиков (тезисы доклада на секторе раннего железного века, Институт археологии, Москва, 1959 г.) / Е. М. Берс // Четвертые берсовские чтения. — Екатеринбург : Аква-Пресс, 2004. — С. 6.
36. Бехтер, А. В. Степные бронзы из провинции Ганьсу и Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая и проблемы восточной линии синхронизации / А. В. Бехтер, С. В. Хаврин // Центральная Азия и Прибайкалье в древности. — Улан-Удэ ; Чита, 2002. С. 73—78.
37. Бобров, В. В. Бегазы-дандыбаевские памятники и андроновидные культуры Западной Сибири / В. В. Бобров // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 9—13.
38. Бобров, В. В., 2002. К проблеме цветной металлообработки автохтонной и таежной культур раннего железного века в бассейне Верхней Оби / В. В. Бобров // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 157—159.

39. Бобров, В. В. Древняя металлургия Среднего Енисея (лугавская культура) / В. В. Бобров, С. В. Кузьминых, Т. О. Тенейшвили. — Кемерово : Кузбассвуиздат, 1997. — 99 с.
40. Богданова-Березовская, И. В. Химический состав металлических предметов из могильников эпохи бронзы в Бишкентской долине / И. В. Богданова-Березовская // А. М. Мандельштам. Памятники эпохи бронзы в Южном Таджикистане. — Л., 1968.
41. Большов, С. В. Новые исследования II Виловатовского могильника / С. В. Большов, О. В. Кузьмина // Древние индоиранские культуры Волго-Уралья (II тыс. до н. э.). — Самара, 1995. — С. 81—113.
42. Боталов, С. Г. Хунны и гунны / С. Г. Боталов // Археология, этнография и антропология Евразии. — 2003. — № 2. — С. 106—127.
43. Боталов, С. Г. Погребальные комплексы эпохи бронзы Большекараганского могильника (публикация результатов археологических раскопок 1988 года) / С. Г. Боталов, С. А. Григорьев, Г. Б. Зданович // Материалы по археологии и этнографии Южного Урала. Труды музея-заповедника Аркаим. — Челябинск, 1996. — С. 64—88.
44. Бочкарев, В. С. Культурогенез и развитие металлопроизводства в эпоху поздней бронзы (По материалам южной половины Восточной Европы) / В. С. Бочкарев // Древние индоиранские культуры Волго-Уралья (II тыс. до н. э.). — Самара, 1995. — С. 114—123.
45. Братченко, С. Н. Нижнее Подонье в эпоху средней бронзы / С. Н. Братченко. — Киев, 1976. — 247 с.
46. Бровендер, Ю. М. Итоги раскопок техногенного участка на Картамышском рудопроявлении / Ю. М. Бровендер // Харьковский историко-археологический ежегодник: Древности — 2006—2008. — Харьков : НТМТ, 2008. — С. 184—203.
47. Бровендер, Ю. М. О характере и масштабах производственной деятельности на Картамышском горно-металлургическом комплексе эпохи бронзы / Ю. М. Бровендер // Проблемы истории и археологии Украины : мат-лы VI междунар. науч. конф., посвященной 150-летию со дня рождения академика В. П. Бузескула. — Харьков : НТМТ, 2008. — С. 13.
48. Бровендер, Ю. М., 2009—2010. Поселение Червонэ Озеро-3 Донецкого горно-металлургического центра эпохи бронзы / Ю. М. Бровендер // Донецкий археологічний збірник. — 2009—2010. — № 13/14. — С. 203—221.
49. Бровендер, Ю. М. Определение объемов горных работ и оценка добычи медных руд на древних разработках Картамышского рудопроявления в Донбассе / Ю. М. Бровендер, Г. И. Гайко, Ю. П. Шубин // Матеріали та дослідження з археології Східної України [Луганск]. — 2009. — № 10. — С. 213—219.
50. Бровендер, Ю. М., 2009. Орудия металлопроизводства поселения Червонэ Озеро-3 Картамышского комплекса горно-металлургических памятников эпохи бронзы / Ю. М. Бровендер, О. Н. Загородняя // Матеріали та дослідження з археології Східної України [Луганск]. — 2009. — № 9. — С. 251—262.
51. Бровендер, Ю. М. Исследование памятников Картамышского археологического микрорайона в Донбассе / Ю. М. Бровендер, О. Н. Загородняя, И. Н. Ключева // Археологічні дослідження в Україні. — Киев: ИА НАНУ, 2008. — С. 12—14.
52. Бровендер, Ю. М. К вопросу о методологии исследования металлургии эпохи палеометалла / Ю. М. Бровендер, Ю. П. Шубин // Матеріали та дослідження з археології Східної України [Луганськ : СНУ им. В. Даля]. — 2008. — № 8. — С. 1—5.
53. Буряков, Ю. Ф. Горное дело и металлургия средневекового Илака / Ю. Ф. Буряков. — М. : Наука, 1974. — 140 с.
54. Бушмакин, А. Ф. Металлические предметы из кургана 25 Большекараганского могильника / А. Ф. Бушмакин // Д. Г. Зданович и др. Аркаим: некрополь (по материалам кургана 25 Большекараганского могильника). — Кн. 1. — Челябинск, 2002.
55. Бушмакин, А. Ф. Еленовское медно-турмалиновое месторождение — вероятный источник руды для медеплавильного производства Аркаима / А. Ф. Бушмакин, В. В. Зайков // УМС [Миасс : ИМин УрО РАН]. — 1998. — № 7. — С. 223—232.

-
-
56. Вадецкая, Э. Б. Памятники окуневской культуры / Э. Б. Вадецкая, Н. В. Леонтьев, Г. А. Максименков. — Л., 1980. — 147 с.
 57. Вайнберг, Б. И. Памятники куюсайской культуры / Б. И. Вайнберг // Кочевники на границах Хорезма. — М. : Наука, 1979. — С. 7—76.
 58. Вактурская, Н. Н. Археолого-географические исследования в юго-западных Кызылкумах / Н. Н. Вактурская, А. В. Виноградов, Э. Мамедов // АО 1967 года. — М. : Наука, 1968. — С. 333, 334.
 59. Вальков, Д. В. Сопла Евразийской металлургической провинции (к проблеме одной археологической загадки) / Д. В. Вальков, С. В. Кузьминых // Проблемы изучения энеолита и бронзового века Южного Урала. — Орск, 2000. — С. 73—83.
 60. Васильев, И. Б. Новые материалы бронзового века с территории Северного Прикаспия / И. Б. Васильев, Ю. И. Колев, П. Ф. Кузнецов // Древние культуры Северного Прикаспия. — Куйбышев, 1986. — С. 108—149.
 61. Васильев, И. Б. Потаповский курганный могильник индоиранских племен на Волге / И. Б. Васильев, П. Ф. Кузнецов, А. П. Семенова. — Самара, 1994. — 207 с.
 62. Васильев, И. Б. Проблема перехода от эпохи средней к эпохе поздней бронзы на Урале, Волге и Дону / И. Б. Васильев, П. Ф. Кузнецов, А. П. Семенова // Россия и Восток: проблемы взаимодействия : мат-лы конф. — Ч. V. — Кн. 1. — Челябинск, 1995. — С. 32—35.
 63. Васильев, И. Б. Памятники потаповского типа в лесостепном Поволжье (краткое изложение концепции) / И. Б. Васильев, П. Ф. Кузнецов, А. П. Семенова // Древние индоиранские культуры Волго-Уралья (II тыс. до н. э.). — Самара, 1995. — С. 5—36.
 64. Виноградов, А. В. Древние охотники и рыболовы Среднеазиатского междуречья / А. В. Виноградов. — М. : Наука, 1981. — 172 с.
 65. Виноградов, А. В. Литейные формы из Лявлякана / А. В. Виноградов, Е. Е. Кузьмина // СА. — 1970. — № 2. — С. 125—135.
 66. Виноградов, А. В. Археолого-географические исследования в Центральных Кызылкумах / А. В. Виноградов, Э. Д. Мамедов, С. А. Оленич, Л. А. Чалая // АО 1971 года. — М. : Наука, 1972.
 67. Виноградов, А. В. Первобытный Лявлякан / А. В. Виноградов, Э. Д. Мамедов. М. : Наука, 1975. — 286 с.
 68. Виноградов, А. В. Древнейшее население низовий Амударьи / А. В. Виноградов, М. А. Итина, Л. Т. Яблонский. — М. : Наука, 1986. — 199 с.
 69. Виноградов, Н. Б. Могильник бронзового века Кривое Озеро в Южном Зауралье / Н. Б. Виноградов. — Челябинск : Юж.-урал. кн. изд-во, 2003. — 360 с.
 70. Гаджиев, М. Г. Древние очаги металлообработки в Дагестане / М. Г. Гаджиев // КСИА. — 1987. — Вып. 192. — С. 6—13.
 71. Галибин, В. А. Спектральный анализ находок из Сумбарских могильников / В. А. Галибин // И. Н. Хлопин. Юго-Западная Туркмения в эпоху поздней бронзы. — Л., 1983. — С. 224—234.
 72. Галибин, В. А. Изделия из цветного и благородного металла памятников ранней и средней бронзы Северного Кавказа / В. А. Галибин // Древние культуры Прикубанья. — Л., 1991. — С. 56—69.
 73. Гамкрелидзе, Т. В. Индоевропейский язык и индоевропейцы / Т. В. Гамкрелидзе, В. В. Иванов. — Тбилиси, 1984. — 889 с.
 74. Горян, А. А. Эмпирическое уравнение зависимости вязкости отвальных шлаков медной плавки от состава и температуры / А. А. Горян, В. М. Гаспарян, Г. О. Аветисян // Цветные металлы. — 1984. — № 7. — С. 36—39.
 75. Генинг, В. Ф. Синташта / В. Ф. Генинг, Г. Б. Зданович, В. В. Генинг. — Челябинск : ЧелГУ, 1992. — 408 с.
 76. Гиоргадзе, Г. Г. Производство и применение железа в Центральной Анатолии по данным хеттских клинописных текстов / Г. Г. Гиоргадзе // Древний Восток: этнокультурные связи. — М. : Наука, 1988. — С. 238—261.

-
-
77. Горащук, И. В. Каменные и костяные орудия с рудника бронзового века Михайло-Овсянка в Самарской области / И. В. Горащук, Ю. И. Колев // Вопросы археологии Урала и Поволжья. — Вып. 2. — Самара, 2004. — С. 89—104.
 78. Горбунов, В. С. Абашевская культура Южного Приуралья / В. С. Горбунов. — Уфа, 1986. — 95 с.
 79. Горбунов, В. С. Поселенческие памятники бронзового века в лесостепном Приуралье / В. С. Горбунов. — Куйбышев : КГПИ, 1989. — 134 с.
 80. Горбунов, В. С. Некоторые проблемы культурогенетических процессов эпохи бронзы Волго-Уралья (препринт) / В. С. Горбунов. — Свердловск, 1990. — 38 с.
 81. Горбунов, В. С. Бронзовый век волго-уральской лесостепи / В. С. Горбунов. — Уфа, 1992. — 223 с.
 82. Горелик, М. В. Оружие древнего Востока (IV тысячелетие — IV век до н. э.) / М. В. Горелик. — М., 1993. — 349 с.
 83. Граков, Б. Н. Старейшие находки железных вещей в европейской части территории СССР / Б. Н. Граков // СА. — 1958. — № 4. — С. 3—9.
 84. Григорьев, И. Ф. Основные черты металлогении Рудного Алтая и Калбы / И. Ф. Григорьев // Большой Алтай. — Л., 1934. — С. 51.
 85. Григорьев И. Ф. Полиметаллические месторождения Рудного Алтая / И. Ф. Григорьев, С. М. Глебов // Большой Алтай. — М. : АН СССР, 1934. — С. 120.
 86. Григорьев, С. А. Развитие технологии плавки меди в древности / С. А. Григорьев // Наука в ускорении социально-экономического развития. — Челябинск, 1988. — С. 70.
 87. Григорьев, С. А. К вопросу об изучении древнего металлургического производства // Знания и навыки уральского населения в древности и средневековье / С. А. Григорьев. — Екатеринбург : УИФ «Наука», 1993. — С. 26—37.
 88. Григорьев, С. А. Древняя металлургия Южного Урала : автореф дис. ... канд. истор. наук. / С. А. Григорьев. — М., 1994. — 20 с.
 89. Григорьев, С. А. Синташта и арийские миграции во II тыс. до н. э. / С. А. Григорьев // Новое в археологии Южного Урала. — Челябинск : Рифей, 1996. — С. 30—36.
 90. Григорьев, С. А. Производство металла в Средней Азии в эпоху бронзы / С. А. Григорьев // Новое в археологии Южного Урала. — Челябинск : Рифей, 1996. — С. 97—123.
 91. Григорьев, С. А. Древние индоевропейцы. Опыт исторической реконструкции / С. А. Григорьев. — Челябинск : Рифей, 1999. — 444 с.
 92. Григорьев, С. А. Опыт применения рентгеноструктурного анализа в исследовании древней металлургии / С. А. Григорьев // Проблемы изучения энеолита и бронзового века Южного Урала ; Орск, Институт Евразийских исследований ; Институт степи УрО РАН, 2000. — С. 92—96.
 93. Григорьев, С. А. Металлургическое производство на Южном Урале в эпоху средней бронзы / С. А. Григорьев // Древняя история Южного Зауралья. — Челябинск : Рифей, 2000. — С. 444—531.
 94. Григорьев, С. А. Бронзовый век / С. А. Григорьев // Древняя история Южного Зауралья. — Челябинск. Рифей, 2000. — С. 242—443.
 95. Григорьев, С. А. Древнее железо Передней Азии и некоторые проблемы волго-уральской археологии / С. А. Григорьев // ИЧНЦ. — Снежинск : RFYS-VNIITF, 2000. — Вып. 1. — С. 73—76.
 96. Григорьев, С. А. Проблема использования мышьяковистых бронз синташтинско-абашевскими металлургами / С. А. Григорьев // Бронзовый век Восточной Европы: характеристика культур, хронология и периодизация. — Самара, 2001. — С. 246—248.
 97. Григорьев, С. А. О «металлургии свинца» на синташтинских памятниках / С. А. Григорьев // Вопросы археологии Поволжья [СНЦ РАН]. — Вып. 3. — Самара, 2003. — С. 268—276.
 98. Григорьев, С. А. Исследование хромшпинелидов и проблема рудной базы синташтинской металлургии / С. А. Григорьев // ИЧНЦ/ — 2003. — Вып. 3. — С. 56—60.

-
-
99. Григорьев, С. А. Минералогия шлака Мосоловского поселения / С. А. Григорьев // Археология Восточноевропейской лесостепи. — Вып. 17. — Воронеж : ВГУ, 2003. — С. 123—133.
 100. Григорьев, С. А. История изучения эпохи бронзы Южного Зауралья / С. А. Григорьев // История археологии Южного Зауралья. — Челябинск : ЧелГУ, 2003. — С. 40—112.
 101. Григорьев, С. А. Спектральный анализ шлаков эпохи поздней бронзы Поволжья и Оренбургского Приуралья / С. А. Григорьев // Археологические памятники Оренбуржья. — Оренбург, 2004. — С. 46—63.
 102. Григорьев, С. А. Экспериментальные работы по моделированию древних металлургических технологий / С. А. Григорьев // ИЧНЦ. — 2005. — Вып. 4. — С. 176—180.
 103. Григорьев, С. А. Пространственный анализ памятников эпохи бронзы Южного Зауралья / С. А. Григорьев // ВАУ. — Вып. 25. — Екатеринбург ; Сургут : Магеллан, 2008. — С. 175—193.
 104. Григорьев, С. А. Каменные орудия поселения Остров Веры 4 / С. А. Григорьев // Челябинский гуманитарий. — 2010. — № 10. — С. 147—156.
 105. Григорьев, С. А. Ближневосточные компоненты в формировании синташтинской культуры и ее хронология / С. А. Григорьев // Аркаим — Синташта: древнее наследие Южного Урала: к 70-летию Г. Б. Здановича. — Ч. 2. — Челябинск, 2010. — С. 32—48.
 106. Григорьев, С. А. Мегалиты Урала в свете индоевропейской проблемы / С. А. Григорьев // Индоевропейская история в свете новых исследований. М.: Изд-во МГОУ 2010. — С. 195—204.
 107. Григорьев, С. А. К проблеме социальной организации в энеолите Зауралья / С. А. Григорьев // Маргулановские чтения — 2011 : мат-лы междунар. археологической конф. Астана, 20—22 апреля 2011 г. / гл. редактор М. К. Хабдулина. — Астана : ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, 2011. — С. 55—59.
 108. Григорьев, С. А. Миграции и их роль в культурогенезе Евразии / С. А. Григорьев // Культуры степной Евразии и их взаимодействие с древними цивилизациями. — Кн. 2. — СПб. : ИИМК РАН ; Периферия, 2012. — С. 40—49.
 109. Григорьев, С. А. Хромшпинелиды как индикатор источника медных руд для древней металлургии / С. А. Григорьев, А. Ю. Дунаев, В. В. Зайков // Доклады РАН. — 2005. — Т. 400. — № 2. — С. 228—232.
 110. Григорьев, С. А. Экспериментальное моделирование древних плавок свинцовых руд / С. А. Григорьев, А. Ю. Никитин // ИЧНЦ. — 2004. — Вып. 4. — С. 141—143.
 111. Григорьев, С. А. Экспериментальная реконструкция древнего металлургического производства / С. А. Григорьев, И. А. Русанов // Аркаим. Исследования. Поиски. Открытия. — Челябинск : Каменный пояс, 1995. — С. 147—158.
 112. Григорьев, С. А. Стратиграфическая ситуация на поселении эпохи поздней бронзы Мочище I в Южном Зауралье / С. А. Григорьев, Е. В. Тидеман, Л. Ю. Петрова // ИЧНЦ. — 2007. — Вып. 2. — С. 86—90.
 113. Гришин, Ю. С. Металлические изделия Сибири эпохи энеолита и бронзы / Ю. С. Гришин // САИ. — 1971. — Вып. В 3-12. — 86 с.
 114. Гришин, Ю. С. Бронзовый и ранний железный века Восточного Забайкалья / Ю. С. Гришин. М. : Наука, 1975. — 135 с.
 115. Грушин, С. П. Некоторые итоги и перспективы изучения памятника эпохи ранней бронзы Телеутский Взвоз — I // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура / С. П. Грушин. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 21—24.
 116. Грушин С. П. Памятники эпохи раннего бронзового века Рудного Алтая / С. П. Грушин // Проблемы историко-культурного развития древних и традиционных обществ Западной Сибири и сопредельных территорий : мат-лы XIII Западно-Сибирской археолого-этнографической конф. — Томск : ТомГУ, 2005. — С. 147—149.
 - Грушин С. П. Древнейший металл Южной Сибири / С. П. Грушин, Е. А. Тюрина, С. В. Хаврин // Алтай в системе металлургических провинций бронзового века. — Барнаул : АГУ, 2006. — С. 18—32.

-
-
117. Гуляев, А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. — М. : *Металлургия*, 1986. — 538 с.
118. Дегтярева, А. Д. *История металлопроизводства Южного Зауралья в эпоху бронзы* / А. Д. Дегтярева. — Новосибирск : *Наука*, 2010. — 162 с.
119. Дегтярева А. Д., *Металлообработка населения елуинской культуры Верхней Оби (предварительные результаты металлографического исследования)* / А. Д. Дегтярева, С. П. Грушин, В. М. Шайхутдинов // *ВИАЭ*. — 2010. — № 2 (13). — С. 27—35.
120. Дегтярева, А. Д. *Металл позднего бронзового века лесостепного Притоболья* / А. Д. Дегтярева, Ю. В. Костомарова // *ВИАЭ*. — 2011. — № 1 (14). — С. 30—45.
121. Дегтярева, А. Д. *Металлопроизводство петровских племен (по материалам поселения Кулевчи III)* / А. Д. Дегтярева, С. В. Кузьминых, Л. Б. Орловская // *ВИАЭ [Тюмень]*. — 2001. — Вып. 3. — С. 23—54.
122. Дегтярева, А. Д. *Результаты аналитического исследования металла могильника Кривое Озеро* / А. Д. Дегтярева, С. В. Кузьминых // Н. Б. Виноградов. *Могильник бронзового века Кривое Озеро в Южном Зауралье*. — Челябинск : Юж.-Урал. кн. изд-во, 2003. — С. 285—306.
123. Демченко Л. В. *Геохимические исследования остатков бронзолитейного производства с Суботовского городища XII—IX вв. до н. э.* / Л. В. Демченко, В. И. Ключко, В. И. Маничев // *Восточноевропейский археологический журнал*. — 2001. № 6(13).
124. Джапаридзе, О. М. *Триалетская культура* / О. М. Джапаридзе // *Эпоха бронзы Кавказа и Средней Азии. Ранняя и средняя бронза Кавказа*. — М., 1994. — С. 75—92.
125. Дир, У. А. *Породообразующие минералы* / У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж Зусман. — Т. I. — М. : *Мир*, 1965. — 371 с.
126. Дир, У. А. *Породообразующие минералы* / У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж Зусман. — Т. IV. — М. : *Мир*, 1966. — 482 с.
127. Дир, У. А. *Породообразующие минералы* / У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж Зусман. — Т. V. — М. : *Мир*, 1966. — 408 с.
128. Долуханов, П. М. *Серия радиоуглеродных датировок наслоений эпохи бронзы на Намазгадепе* / П. М. Долуханов, А. Я. Щетенко, М. Този // *СА*. — 1985. — № 4. — С. 118—124.
129. Дремов И. И. *Древнейшие подкурганые захоронения степного Заволжья* / И. И. Дремов, А. И. Юдин // *РА*. — 1992. — № 4. — С. 18—31.
- Дунаев, А. Ю. *Использование хромитов для прогноза медных руд в офиолитах* / А. Ю. Дунаев, А. М. Юминов, С. А. Григорьев // *Металлогения древних и современных океанов* — 2006. *Условия рудообразования*. — Миасс : *ИМмин УрО РАН*, 2006. — С. 295—302.
- Дунаев, А. Ю. *Роль геоархеологии в определении рудной базы древних обществ* / А. Ю. Дунаев, А. М. Юминов, С. А. Григорьев, В. В. Зайков // *Современные проблемы археологии России : мат-лы Всероссийского археологического съезда*. — Т. II. — Новосибирск : *Институт археологии и этнографии СО РАН*, 2006. — С. 352—354.
130. Дэвлет, М. А. *Петроглифы на дне Саянского моря* / М. А. Дэвлет. — М., 1998. — 288 с.
131. Евдокимов В. В. *Поселение эпохи бронзы Усть-Кенетай* / В. В. Евдокимов // *Вопросы археологии и этнографии Центрального Казахстана*. — Караганда : *КарГУ*, 1982. — С. 3—20.
132. Евдокимов, В. В. *Оценка численности населения эпохи бронзы Кустанайского Притоболья по экологическим параметрам* / В. В. Евдокимов, Н. Л. Поваляев // *Вопросы археологии Центрального и Северного Казахстана*. — Караганда, 1989. — С. 104—110.
133. Евдокимов, В. П. *Металлургические комплексы поселения Семиозерки II* / В. В. Евдокимов, С. А. Григорьев // *Новое в археологии Южного Урала*. — Челябинск : *Рифей*, 1996. — С. 124—130.
134. Егорейченко, А. А. *Очковидные подвески на территории СССР* / А. А. Егорейченко // *СА*. — 1991. — № 2. — С. 171—181.

135. Егорьков, А. Н. Взгляд на природу никеля в ранней бронзе Кавказа / А. Н. Егорьков // Античная цивилизация и варварский мир : мат-лы 8-го археологического семинара. Краснодар, 13—15 июня 2001 г.). Краснодар, 2002. — С. 117—120.
136. Епимахов, А. В. Курганный могильник Солнце II — некрополь укрепленного поселения Устье эпохи средней бронзы / А. В. Епимахов // Материалы по археологии и этнографии Южного Урала. Труды музея-заповедника Аркаим. Челябинск, 1996. — С. 22—42.
137. Епимахов, А. В. Анализ тенденций социально-экономического развития населения Урала эпохи бронзы / А. В. Епимахов // РА. — 2003. — № 1. — С. 83—90.
138. Епимахов, А. В. Синташтинская радиоуглеродная хронология / А. В. Епимахов // Аркаим — Синташта: древнее наследие Южного Урала: к 70-летию Г. Б. Здановича. — Ч. 2. — Челябинск, 2010. — С. 49—51.
139. Ефименко, П. П. Абашевская культура в Поволжье / П. П. Ефименко, П. Н. Третьяков // Абашевская культура в Среднем Поволжье. МИА. — 1961. — № 97. — С. 43—110.
140. Жаркова, З. А. Фаялитовый шлак из древнейших плавильных горнов Тувы / З. А. Жаркова, Я. И. Сунчугашев // Известия Сибирского Отделения АН СССР. — № 11. Серия общественных наук. — Вып. III. — Новосибирск: Наука, 1975.
141. Жауымбаев, С. У. Древние медные рудники Центрального Казахстана / С. У. Жауымбаев // Бронзовый век Урало-Иртышского междуречья. — Челябинск, 1984. — С. 113—120.
142. Желубовский, Ю. С. Новые данные о полиметаллическом оруденении на Южном Алтае Ю. С. Желубовский. — М., 1937.
143. Журавлев, А. П. Энеолит Карелии и проблема взаимодействия с энеолитом Поволжья и Урала / А. П. Журавлев // Энеолит лесного Урала и Поволжья. — Ижевск, 1990. — С. 17—27.
144. Заварицкий, А. Н. Геологический очерк месторождений медных руд на Урале / А. Н. Заварицкий. — Ч. I. — Л., 1927. — 151 с.
145. Заварицкий, А. Н. Геологический очерк месторождений медных руд на Урале / А. Н. Заварицкий. — Ч. II. — Л., 1929. — 179 с.
146. Загородняя, О. Н. Экспериментально-трасологические исследования орудий металлопроизводства: история и перспективы / О. Н. Загородняя // Донецкий археологічний збірник. — 2011. — № 15. — С. 78—87.
147. Зайков, В. В. Медный рудник бронзового века «Воровская яма» (Южный Урал) / В. В. Зайков, Г. Б. Зданович, А. М. Юминов // Культуры древних народов степной Евразии и феномен протогородской цивилизации Южного Урала. — Кн. 2. — Челябинск, 1995. — С. 112—129.
148. Зайков, В. В. Геоархеологические исследования исторических памятников Южного Урала: задачи, результаты, перспективы / В. В. Зайков, А. Ф. Бушмакин., А. М. Юминов и др. // УМС [Екатеринбург]. — 1999. — № 9. — С. 186—205.
149. Зайков, В. В. Воровская яма — новый рудник бронзового века на Южном Урале / В. В. Зайков, Г. Б. Зданович, А. М. Юминов // Археологический источник и моделирование древних технологий. Челябинск : Археологический центр Аркаим, 2000. — С. 112—129.
150. Зайков, В. В. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана / В. В. Зайков, В. В. Масленников, Е. В. Зайкова, Р. Херрингтон. — Миасс : ИМин УрО РАН, 2001. — 315 с.
151. Зайков, В. В. Минеральные индикаторы медных руд для древней металлургии Южного Урала / В. В. Зайков, А. Ю. Дунаев, С. А. Григорьев и др. // Археоминералогия и ранняя история минералогии. — Сыктывкар : Геопринт, 2005. — С. 129, 130.
152. Зайков, В. В. Геолого-минералогические исследования древних медных рудников на Южном Урале / В. В. Зайков, А. М. Юминов, А. Ю. Дунаев и др. // Археология, этнография и антропология Евразии. — 2005. — № 4. — С. 101—115.
153. Зайков, В. В. Состав металлических включений в древних шлаках Южного Урала / В. В. Зайков, В. А. Котляров, Е. В. Зайкова // Труды II (XVIII) Всерос. археологического съезда в Суздале. — Т. 1. — М. : ИА РАН, 2008. — С. 400—402.

-
-
154. Зайков, В. В. Микровключения минералов в металлах и шлаках как индикаторы минерально-сырьевой базы древних обществ / В. В. Зайков, А. М. Юминов, В. А. Котляров и др. // Труды II (XVIII) Всерос. археологического съезда в Суздале. — Т. 1. — М. : ИА РАН, 2008. — С. 403—405.
 155. Зайкова, Е. В. Состав металлических изделий поселения Синташта / Е. В. Зайкова // Культуры древних народов степной Евразии и феномен протогородской цивилизации Южного Урала. — Кн. 2. — Челябинск, 1995. — С. 152—157.
 156. Збруева, А. В. История населения Прикамья в ананьинскую эпоху / А. В. Збруева // Материалы и исследования по археологии Урала и Приуралья. — Т. 5. — М., 1952. — 322 с.
 157. Зданович, Г. Б. Керамика эпохи бронзы Северо-Казахстанской области / Г. Б. Зданович // ВАУ. — 1973. — Вып. 12. — С. 21—43.
 158. Зданович, Г. Б. Основные характеристики петровских памятников Урало-Казахстанских степей (к вопросу о выделении петровской культуры) / Г. Б. Зданович // Бронзовый век степной полосы Урало-Иртышского междуречья. — Челябинск, 1983. — С. 48—68.
 159. Зданович, Г. Б. Бронзовый век Урало-Казахстанских степей / Г. Б. Зданович. — Свердловск : УрГУ, 1988. — 181 с.
 160. Зданович, Д. Г. Аркаим: некрополь (по материалам кургана 25 Большекараганского могильника) / Зданович Д. Г. и др. — Кн. 1. — Челябинск, 2002. — 229 с.
 161. Иванов, А. Х. Бакр-Узякское месторождение медных руд на Южном Урале / А. Х. Иванов // Минеральное сырье и цветные металлы. — 1929. — № 2.
 162. Иванов, В. В. История славянских и балканских названий металлов / В. В. Иванов. — М. : Наука, 1983. — 197 с.
 163. Иванова Л. А. О различиях керамических традиций афанасьевской и окуневской культур / Л. А. Иванова // СА. — 1968. — № 2. — С. 251—254.
 164. Исаков, А. И. Могильник племен эпохи бронзы в Таджикистане А. И. Исаков, Т. М. Потемкина // СА. — 1989. — № 1. — С. 145—167.
 165. Итина, М. А. Степные племена Среднеазиатского Междуречья во второй половине II — начале I тысячелетия до н. э. / М. А. Итина // СЭ. — 1962. — № 3. — С. 109—120.
 166. Итина, М. А. О месте тазабагыябской культуры среди культур степной бронзы / М. А. Итина // СЭ. — 1967. — № 2.
 167. Итина, М. А. История степных племен Южного Приаралья / М. А. Итина. — М. : Наука, 1977. — 239 с.
 168. Итина, М. А. Мавзолеи Северного Тагискена / М. А. Итина, Л. Т. Яблонский. — М., 2001. — 295 с.
 169. Кадырбаев, М. К. Шестилетние работы на Атасу / М. К. Кадырбаев // Бронзовый век степной полосы Урало-Иртышского междуречья. — Челябинск, 1983. — С. 134—142.
 170. Кадырбаев, М. К. Культура древних скотоводов и металлургов Сары-Арки / М. К. Кадырбаев, Ж. Курманкулов. — Алма-Ата, 1992. — 247 с.
 171. Казаков, Е. П. Погребения эпохи бронзы могильника Такталачук / Е. П. Казаков // Древности Икско-Бельского междуречья. — Казань, 1978. — С. 67—108.
 172. Каргалы. — Т. I: геолого-геофизические характеристики: история открытий, эксплуатации и исследований: археологические памятники / ред. Е. Н. Черных. — М. : Языки славянской культуры, 2002. — 112 с.
 173. Каргалы. — Т. II: Горный — поселение эпохи поздней бронзы: топография, литология, стратиграфия: производственно-бытовые и сакральные сооружения: относительная и абсолютная хронология / ред. Е. Н. Черных. — М. : Языки славянской культуры, 2002. — 184 с.
 174. Килейников, В. В. Каменные горнометаллургические и металлообрабатывающие орудия Мосоловского поселения В. В. Килейников // Эпоха бронзы восточноевропейской лесостепи. — Воронеж, 1984. — С. 108—123.

-
-
175. Кирчо, Л. Б.. Раскопки слоев ранней бронзы на Алтын-Депе в 1979—1980 гг. / Л. Б. Кирчо // КСИА. — 1983. — № 176. — С. 68—76.
 176. Кирюшин, Ю. Ф. Этнокультурная ситуация в Верхнем Приобье в эпоху энеолита и ранней бронзы / Ю. Ф. Кирюшин // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 51—53.
 177. Кирюшин, Ю. Ф. Памятники неолита и бронзы юго-западного Алтая / Ю. Ф. Кирюшин, Г. А. Клюкин // Алтай в эпоху камня и раннего металла. — Барнаул, 1985. — С. 73—117.
 178. Кирюшин, Ю. Ф. Раннебронзовый комплекс поселения Гульбище / Ю. Ф. Кирюшин, Г. А. Клюкин, А. В. Шмидт // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 53—58.
 179. Кирюшин, Ю. Ф. Березовая Лука — поселение эпохи бронзы в Алейской степи / Ю. Ф. Кирюшин, А. М. Малолетко, А. А. Тишкин. — Т. I. — Барнаул : АГУ, 2004. — 288 с.
 180. Ковалев, А. А. Древнейшая миграция из Загроса в Китай и проблема прародины тохаров / А. А. Ковалев // Археолог: детектив и мыслитель : сб. ст., посвященный 77-летию Льва Самойловича Клейна. — СПб. : СПбГУ, 2004. — С. 249—292.
 181. Ковалев, А. А. Чемурчекский культурный феномен: его происхождение и роль в формировании культур эпохи ранней бронзы Алтая и Центральной Азии / А. А. Ковалев // Западная и Южная Сибирь в древности. — Барнаул : АГУ, 2005. — С. 178—184.
 182. Ковалев, А. А. Монгольский Алтай в бронзовом и раннем железном веках (по результатам работ Центральноазиатской археологической экспедиции Санкт-Петербургского государственного университета, Института истории АН Монголии и Улан-Баторского государственного университета) / А. А. Ковалев, Д. Эрдэнэбаатар // Алтае-Саянская горная страна и история освоения ее кочевниками. — Барнаул : АГУ, 2007. — С. 80—85.
 183. Ковалева, В. Т. Ташковская культура раннего бронзового века Нижнего Приобья / В. Т. Ковалева // Материальная культура древнего населения Урала и Западной Сибири. — Свердловск : УрГУ, 1988. — С. 29—46.
 184. Ковалева, И. Ф. Север степного Поднепровья в среднем бронзовом веке / И. Ф. Ковалева. — Днепропетровск, 1981. — 107 с.
 185. Ковалевский, С. А. Ирменская керамика из погребально-поминальных памятников Кузнецкой котловины как исторический источник / С. А. Ковалевский // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 65—67.
 186. Кожамбердиев, И. Шамшинский клад эпохи поздней бронзы в Киргизии / И. Кожамбердиев, Е. Е. Кузьмина // СА. — 1980. — № 4. — С. 140—151.
 187. Колев, Ю. И. Новый тип памятников конца эпохи бронзы в лесостепном Поволжье / Ю. И. Колев // Древности Восточно-Европейской лесостепи. — Самара, 1991. — С. 162—206.
 188. Колев Ю. И. К вопросу о культурно-хронологическом соотношении комплексов позднего бронзового века Волго-Камья / Ю. И. Колев // Археологические культуры и культурно-исторические общности Большого Урала : тезисы докладов XII Уральского археологического совещания. — Екатеринбург, 1993.
 189. Колев Ю.И. Многослойное поселение эпохи неолита — позднего бронзового века у села Нижняя Орлянка на реке Сок (Предварительная публикация) / Ю. И. Колев, А. А. Ластовский, А. Е. Мамонов // Древние культуры лесостепного Поволжья. — Самара, 1995. — С. 50—110.
 190. Корневский, С. Н. Наследство катакомбного периода в металлообработке эпохи поздней бронзы Уральской горно-металлургической области / С. Н. Корневский // Культуры бронзового века Восточной Европы. — Куйбышев, 1983. — С. 96—118.
 191. Корякова, Л. Н. Переход к использованию железа в Северной Евразии Л. Н. Корякова, С. В. Кузьминых, Г. В. Бельтикова // Материалы круглого стола «Переход от эпо-

- хи бронзы к эпохе железа в Северной Евразии»: Санкт-Петербург, 3—24 июня 2011 года. — СПб, 2011. — С. 10—16.
192. Косарев, М. Ф. Бронзовый век Западной Сибири / М. Ф. Косарев. — Л. : Наука, 1981. — 278 с.
193. Костомарова, Ю. В. Металл Хрипуновского могильника / Ю. В. Костомарова, Е. В. Флек // ВИАЭ [Тюмень : Изд-во ИПОС СО РАН]. — 2008. — № 8. — С. 40—54.
194. Костюков, В. П. Новый памятник средней бронзы в Южном Зауралье / В. П. Костюков, А. В. Епимахов, Д. В. Нелин // Древние индоиранские культуры Волго-Уралья (II тыс. до н. э.). Самара, 1995. — С. 156—207.
195. Кравец, Д. П. К вопросу о металлургии племен донецкой катакомбной культуры / Кравец Д. П., Татаринов С. И. // Северо-Восточное Приазовье в системе евразийских древностей (энеолит — бронзовый век) : мат-лы междунар. конф. — Ч. 1. — Донецк, 1996.. — С. 51—54.
196. Крайнов, Д. А. Волосовская культура / Д. А. Крайнов // Эпоха бронзы лесной полосы СССР. — М., 1987. — С. 10—27.
197. Крижевская, Л. Я. Раннебронзовое время в Южном Зауралье / Л. Я. Крижевская. — Л. : Наука, 1977. — 129 с.
198. Крупнов, Е. И. Материалы по археологии Северной Осетии докобанского периода / Е. И. Крупнов // Материалы и исследования по археологии Северного Кавказа ; МИА [М. ; Л.]. — 1951. — № 23, — 306 с.
199. Кузнецов, П. Ф. Соотношение тип — металл — памятник в абашевской культурно-исторической общности / П. Ф. Кузнецов // Культуры бронзового века Восточной Европы. — Куйбышев, 1983. — С. 109—118.
200. Кузнецов, П. Ф. Эпоха средней бронзы Волго-Уральского междуречья : автореф. дис. ... канд. ист. наук / П. Ф. Кузнецов. — СПб., 1991. — 19 с.
201. Кузнецов, П. Ф. Новые радиоуглеродные даты для хронологии культур энеолита — бронзового века юга лесостепного Поволжья / П. Ф. Кузнецов. // Радиоуглерод и археология. — Вып. 1. — СПб., 1996. — С. 56—59.
202. Кузнецов, П. Ф. Поиск следов горнорудного дела эпохи поздней бронзы в Среднем Поволжье (археологические работы в неисследованных районах Самарской области) / П. Ф. Кузнецов, О. Д. Мочалов, Д. Петерсон, и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2005. — Т. 7. — № 2. — С. 332—343.
203. Кузнецова, Э. Ф. К вопросу технологии древней металлургии Центрального Казахстана / Э. Ф. Кузнецова, Н. Ф. Пшеничная, А. А. Двореченская, Э. Н. Сулейманов // Хронология и культурная принадлежность памятников каменного и бронзового веков Южной Сибири. — Барнаул, 1988.
204. Кузьмина, Е. Е. Археологическое обследование памятников Еленовского микрорайона андроновской культуры / Е. Е. Кузьмина // КСИА. — 1962. — Вып. 88. — С. 84—92.
205. Кузьмина, Е. Е. О южных пределах распространения степных культур эпохи бронзы в Средней Азии / Е. Е. Кузьмина // Памятники каменного и бронзового веков. — М. : Наука, 1964.
206. Кузьмина, Е. Е. Металлические изделия энеолита и бронзового века в Средней Азии / Е. Е. Кузьмина // САИ, — Вып. В 4-9. — М. : Наука, 1966. — 149 с.
207. Кузьмина, Е. Е. О некоторых археологических аспектах проблемы происхождения индоиранцев / Е. Е. Кузьмина // Переднеазиатский сборник. — Вып. IV. М., 1986. — С. 169—228.
208. Кузьмина, Е. Е. Две зоны развития домостроительных традиций в старом свете / Е. Е. Кузьмина // Проблемы археологии Урало-Казахстанских степей. — Челябинск : ЧелГУ, 1988. — С. 31—45.
209. Кузьмина, Е. Е. Откуда пришли индоарии? / Е. Е. Кузьмина. — М. : Наука, 1994. — 464 с.

-
-
210. Кузьмина, О. В. Абашевская культура в лесостепном Волго-Уралье / О. В. Кузьмина. — Самара, 1992. — 127 с.
211. Кузьминых, С. В. Предананьинская металлообработка Волго-Камья / С. В. Кузьминых // Бронзовый век степной полосы Урало-Иртышского междуречья. — Челябинск : ЧелГУ, 1983. — С. 126—133.
212. Кузьминых, С. В. Шлак / С. В. Кузьминых // Каргалы. — Т. III. Археологические материалы: технология горно-металлургического производства: археоботанические исследования ; ред. Е. Н. Черных. — М. : Языки славянской культуры, 2004. — С. 101—105.
213. Кузьминых, С. В. Спектроаналитическое исследование металла бронзового века лесостепного Притоболья / С. В. Кузьминых Е. Н. Черных // Т. М. Потемкина. Бронзовый век лесостепного Притоболья. — М. : Наука, 1985. — С. 346—367.
214. Кутимов, Ю. Г. Происхождение и пути распространения катакомбного обряда погребения в Средней Азии (по материалам могильников бронзового века) : автореф. дис. ... канд. ист. наук / Ю. Г. Кутимов. — СПб., 2009. — 22 с.
215. Кушнарера, К. Х. Новые данные о поселении Узерлик-Тепе около Агдама / К. Х. Кушнарера // Труды Азербайджанской археологической экспедиции. — Т. II. МИА. — № 125. — М. ; Л., 1965. — С. 74—102.
216. Кушнарера, К. Х. Памятники триалетской культуры на территории Южного Закавказья / К. Х. Кушнарера // Ранняя и средняя бронза Кавказа. — М., 1994. — С. 93—105.
217. Кушнарера, К. Х. Севано-узерликская группа памятников / К. Х. Кушнарера // Эпоха бронзы Кавказа и Средней Азии. Ранняя и средняя бронза Кавказа. — М., 1994. — С. 118—127.
218. Кушнарера, К. Х. Древние культуры Южного Кавказа / К. Х. Кушнарера, Т. Н. Чубинишвили. — Л. : Наука, 1970. — 198 с.
219. Куштан, Д. П. Трансевразийский «оловянный» путь эпохи поздней бронзы / Д. П. Куштан // Материалы круглого стола «Переход от эпохи бронзы к эпохе железа в Северной Евразии». Санкт-Петербург, 3—24 июня 2011 года — СПб., 2011. — С. 19—21.
220. Кызласов, Л. Р. К истории карасукской металлургии / Л. Р. Кызласов // РА. — 1993. — № 3. — С. 43—49.
221. Лазаретов, И. П. Окуневские могильники в долине реки Уйбат / И. П. Лазаретов // Окуневский сборник. Культура. Искусство. Антропология. СПб., 1997. — С. 19—64.
222. Лев, Д. Н. К истории горного дела / Д. Н. Лев // Труды института антропологии, археологии и этнографии. — Вып. 2. — Л., 1934. — 32 с.
223. Леньков, В. Д. Металлургия и металлообработка у чжурчжэней в XII веке (по материалам исследований Шайгинского городища) / В. Д. Леньков. — Новосибирск : Наука, 1974. — 172 с.
224. Лесков, А. М. О северопричерноморском очаге металлообработки в эпоху поздней бронзы / А. М. Лесков // Памятники эпохи бронзы юга Европейской части СССР. — Киев, 1967. — С. 143—184.
225. Линь, Ю. Некоторые итоги изучения ранних бронзовых изделий Китая / Юнь Линь // Проблемы хронологии в археологии и истории. — Барнаул: АГУ, 1991. — С. 76—83.
226. Литвиненко, Р. О. До питання про експлуатацію донецьких рудників населенням бабинської культури (постанова проблеми) / Р. О. Литвиненко // Проблеми гірничої археології (матеріали I-го Картамиського польового археологічного семінару). — Алчевськ : ДГМІ, 2003. — С. 44—47.
227. Луньков, В. Ю. Керамические комплексы / В. Ю. Луньков // Каргалы, — Т. III. Археологические материалы: технология горно-металлургического производства: археоботанические исследования ; ред. Е. Н. Черных. — М. : Языки славянской культуры, 2004. — С. 22—75.
228. Лурье, А. М. Меденосность нижнепермских отложений Донбасса / А. М. Лурье, Г. Н. Краснопевцева. — М. : Наука, 1969. — 109 с.

-
-
229. Малолетко, А. М. Железоделательное производство в низовье Томи в позднем средневековье / А. М. Малолетко, А. В. Манаков, Ю. И. Паскаль, Л. М. Плетнева // Древние горняки и металлурги Сибири. — Барнаул : АГУ, 1983. — С. 115—138.
230. Малютин, В. Л. Новый район медных месторождений Чкаловской области / В. Л. Малютин // Советская геология. — 1940. — № 10.
231. Малютина, Т. С. Поселение Берсуат XVIII / Т. С. Малютина, Г. Б. Зданович, Л. Ю. Петрова // Археология Южного Урала. Степь (проблемы культурогенеза). — Челябинск : Рифей, 2006. — С. 153—172.
232. Малютина, Т. С. Поселение Атамановка V — многослойный памятник эпохи бронзы Южного Зауралья / Т. С. Малютина, Л. Ю. Петрова // УАВ. — 2009. — Вып. 9. — С. 49—71.
233. Маргулан, А. Х. Джекказган — древний металлургический центр (городище Милекудук) / А. Х. Маргулан // Археологические исследования в Казахстане. — Алма-Ата, 1973.
234. Маргулан, А. Х. Сочинения : в 14 т. / А. Х. Маргулан. — Т. 2. Сарыарка. Горное дело и металлургия в эпоху бронзы. Джекказган — древний и средневековый металлургический центр (городище Милекудук) / сост. Д. А. Маргулан. — Алматы : Дайк-Пресс, 2001. — 144 с.
235. Марковин, В. И. Дольмены Западного Кавказа / В. И. Марковин // Эпоха бронзы Кавказа и Средней Азии. Ранняя и средняя бронза Кавказа. — М., 1994. — С. 226—253.
236. Марковин, В. И. Дольменные памятники Прикубанья и Причерноморья / В. И. Марковин. — М., 1997. — 404 с.
237. Матвеева, Г. И. Раскопки Михайло-Овсянского селища / Г. И. Матвеева // АО 1978. — 1979. — С. 188.
238. Матвеева, Г. И. Горно-металлургический комплекс бронзового века у с. Михайло-Овсянка на юге Самарской области (первые результаты и проблемы исследования) / Г. И. Матвеева, Ю. И. Колев, А. И. Королев // Вопросы археологии Урала и Поволжья. — Вып. 2. — Самара, 2004. — С. 69—84.
239. Матющенко, В. И. Могильник у деревни Ростовка вблизи Омска / В. И. Матющенко, Г. В. Сеницина. — Томск, 1988. — 136 с.
240. Матюшин, Г. Н. Энеолит Южного Урала / Г. Н. Матюшин. — М. : Наука, 1982. — 328 с.
241. Медведская, И. Н. Металлические наконечники стрел Переднего Востока и евразийских степей II — первой половины I тысячелетия до н. э. / И. Н. Медведская // СА. — 1980. — № 4. — С. 23—37.
242. Медведская, И. Н. Вопросы хронологии раннежелезного века на Древнем Востоке: письменные источники о железе / И. Н. Медведская // Материалы круглого стола «Переход от эпохи бронзы к эпохе железа в Северной Евразии», Санкт-Петербург, 3—24 июня 2011 года — СПб., 2011. — С. 8—10.
243. Мелекесцева, И. Ю. Хромшпинелиды в сульфидных рудах Главного Уральского разлома / И. Ю. Мелекесцева, В. В. Зайков, С. Г. Тесалина, Т. Оже // УМС. — 2001. — № 11. — С. 180—190.
244. Мерперт, Н. Я. О луристанских элементах в кладе из Сосновой Мазы / Н. Я. Мерперт // КСИА. — 1966. — Вып. 108. — С. 132—134.
245. Микеладзе, Т. К. Протоколхская культура / Т. К. Микеладзе // Эпоха бронзы Кавказа и Средней Азии. Ранняя и средняя бронза Кавказа. — М., 1994. — С. 67—74.
246. Мимоход, Р. А. Радиоуглеродная хронология блока посткатакомбных культурных образований / Р. А. Мимоход // КСИА. — 2009. — Вып. 225. — С. 32—55.
247. Миняев, С. С. Производство бронзовых изделий у сюнну / С. С. Миняев // Древние горняки и металлурги Сибири. — Барнаул : АГУ, 1983. — С. 47—84.
248. Могильников, В. А. О восточной границе памятников с валиковой керамикой / В. А. Могильников // Проблемы археологии Поволжья и Приуралья. — Куйбышев, 1976. — С. 81—82.

249. Молодин, В. И. Бараба в эпоху бронзы / В. И. Молодин. — Новосибирск : Наука, 1985. — 200 с.
250. Молодин, В. И. О соотношении кротовской и окуневской культур/ В. И. Молодин // Некоторые проблемы сибирской археологии. — М., 1988. — С. 6—15.
251. Молодин, В. И. Памятник Сопка-2 на реке Оми. — Т. 1. — Новосибирск : ИАиЭ СО РАН, 2001.— 126 с.
252. Молотков, С. П. Первое рудопроявление самородной меди, связанное с верхнедевонским базальтоидным вулканизмом юго-востока Воронежской антеклизы (к вопросу о сырьевой базе металлургов Мосоловского поселения эпохи поздней бронзы в бассейне среднего течения р. Дон) / С. П. Молотков, А. Ю. Альбеков // Вестник Воронеж. ун-та. Геология. — 2004. — № 1. — С. 116—130.
253. Моргунова, Н. Л. К вопросу об общественном устройстве древнеямной культуры (По материалам степного Приуралья) / Н. Л. Моргунова // Древняя история населения Волго-Уральских степей. — Оренбург, 1992. — С. 5—27.
254. Моргунова, Н. Л. Памятники древнеямной культуры на Илеке / Н. Л. Моргунова, А. Ю. Кравцов. — Екатеринбург, 1994. — 153 с.
255. Моргунова, Н. Л. Поселения срубной культуры в Оренбургской области / Н. Л. Моргунова, О. И. Порохова // Поселения срубной общности ; под ред. А. Д. Пряхина. — Воронеж : ВГУ, 1989. — С. 160—172.
256. Моргунова, Н. Л., П Кузьминковское поселение эпохи бронзы / Н. Л. Моргунова, М. В. Халяпин, О. А. Халяпина // Археологические памятники Оренбуржья. — Вып. V. — Оренбург. — 2001. — С. 99—125.
257. Морозов, Ю. А. Появление специализации производства в хозяйстве срубного населения Южного Урала / Ю. А. Морозов // Материалы по хозяйству и общественному строю племен Южного Урала. — Уфа, 1981. — С. 61—66.
258. Наркелюн, Л. Ф. Медистые песчаники и сланцы мира / Л. Ф. Наркелюн, В. С. Салихов, А. И. Трубачев. — М. : Наука, 1983. — 414 с.
259. Нелин, Д. В. Шибаево 1: Поселение эпохи бронзы в Южном Зауралье / Д. В. Нелин // Вестник Челябинского государственного университета. — Серия 1. Исторические науки. Вып. 2. — Челябинск : ЧелГУ, 2004. — С. 150—180.
260. Никитенко, Н. И. Начало освоения железа в белозерской культуре / Н. И. Никитенко // РА. — 1998. — № 3. — С. 36—47.
261. Новоженев, В. А. Наскальные изображения повозок Средней и Центральной Азии / В. А. Новоженев. — Алматы, 1994. — 267 с.
262. Нохрина, Т. И. Сосуды-тигли с энеолитических памятников Южного Урала / Т. И. Нохрина // Археология, антропология и этнография Сибири. — Барнаул : АГУ, 1996. — С. 52—58.
263. Общая металлургия. — М. : Металлургия, 1986. — 360 с.
264. Обыденнов, М. Ф. Северо-восточная периферия срубной культурно-исторической общности / М. Ф. Обыденнов, Г. Т. Обыденнова. — Самара, 1992. — 176 с.
265. Обыденнов, М. Ф. Археологические культуры позднего бронзового века древних уральцев (черкаскульская и межовская культуры) / М. Ф. Обыденнов, А. Ф. Шорин. — Екатеринбург, 1995. — 195 с.
266. Орловская, Л. Б. Цветной металл Болдыревского I могильника / Л. Б. Орловская // Н. Л. Моргунова, А. Ю. Кравцов. Памятники древнеямной культуры на Илеке. — Екатеринбург : Наука, 1994. — С. 112—115.
267. Отрощенко, В. В. К вопросу о памятниках новокумакского типа / В. В. Отрощенко // Проблемы изучения энеолита и бронзового века Южного Урала. — Орск, 2000. — С. 66—72.
268. Отрощенко, В. В. Культури зрубної спільноти та гірничо-металургійні центри / В. В. Отрощенко // Проблеми гірничої археології (матеріали I Картамиського польового археологічного семінару). — Алчевськ : ДГМІ, 2003. — С. 47—51.

269. Панин, Д. В. Металлообработка бронзовых изделий на поселении эпохи поздней бронзы Рублево VI / Д. В. Панин, И. А. Дураков, А. С. Федорук // Алтай в системе металлургических провинций бронзового века. — Барнаул : АГУ, 2006. — С. 107—116.
270. Перепелицын, В. А. Основы технической минералогии и петрографии / В. А. Перепелицын. — М. : Недра, 1987. — 254 с.
271. Петрин, В. Т. Археологические памятники Аргазинского водохранилища (эпоха камня и бронзы) / В. Т. Петрин, Т. И. Нохрина, А. Ф. Шорин. — Новосибирск, 1993. — 212 с.
272. Подгаецкий, Г. В. Гор. Воронеж / Г. В. Подгаецкий // Археологические исследования в РСФСР в 1934—1936 гг. — М. ; Л., 1941. — С. 156.
273. Поляков, К. В. Месторождения медных руд в районе среднего течения реки Урал / К. В. Поляков // Горный журнал. — 1925. — № 9. — С. 721—726.
274. Попов, В. А. Проблемы изучения горнорудного промысла эпохи бронзы в Туве / В. А. Попов // Комплексные общества Центральной Евразии в III—I тыс. до н. э. — Челябинск : Аркаим, 1999. — С. 342—345.
275. Порохова, О. И. Срубно-алакульское Покровское поселение в Западном Оренбуржье / О. И. Порохова // Материалы по эпохе бронзы и раннего железного века Южного Приуралья и Нижнего Поволжья. — Уфа, 1989. — С. 60—72.
- Посредников В. А., Цыб С. В. Афанасьевский могильник Нижний Тюмечин-1 / В. А. Посредников, С.В. Цыб // Вопросы археологии Алтая и Западной Сибири эпохи металла. — Барнаул, 1992. — С. 4—10.
276. Потемкина, Т. М. Бронзовый век лесостепного Притоболья / Т. М. Потемкина. — М. : Наука, 1985. — 376 с.
277. Происхождение и хронология синташтинской культуры (материалы заседания круглого стола, г. Челябинск, сентябрь 2005 г.), 2010 // Аркаим — Синташта: древнее наследие Южного Урала: к 70-летию Г.Б. Здановича. — Ч. 2. — Челябинск. — С. 133—184.
278. Пряхин, А. Д. Поселения абашевской общности / А. Д. Пряхин. — Воронеж, 1976. — 168 с.
279. Пряхин А. Д. Мосоловское поселение металлургов-литейщиков эпохи поздней бронзы / А. Д. Пряхин. — Т. 2. — Воронеж : ВГУ, 1996. — 176 с.
280. Пряхин, А. Д., Саврасов А.С., 1993. Плавильные чаши с Мосоловского поселения металлургов-литейщиков донской лесостепной срубной культуры // Археология Доно-Волжского бассейна. Воронеж. — С. 52—71.
281. Пряхин, А. Д. Абашевская культура / А. Д. Пряхин, А. Х. Халиков // Эпоха бронзы лесной полосы. — М. : Наука, 1987. — С. 124—130.
282. Пшеничный, Г. Н. Гайское медноколчеданное месторождение / Г. Н. Пшеничный. — М. : Недра, 1975. — 187 с.
283. Пяткин, Б. Н. Результаты спектрального анализа бронз кургана Аржан / Б. Н. Пяткин // Древние горняки и металлурги Сибири. — Барнаул : АГУ, 1983. — С. 84—95.
284. Ровира, С., Металлургия меди: изучение технологии / С. Ровира // Каргалы. — Т. III. Археологические материалы: технология горно-металлургического производства: археоботанические исследования ; ред. Е. Н. Черных. — М. : Языки славянской культуры, 2004. — С. 106—133.
285. Ровира, С. Эксперименты по выплавке меди на Каргалах архаическим способом / С. Ровира, Ж. Апп // Каргалы, т. III. Археологические материалы: Технология горно-металлургического производства: Археоботанические исследования ; ред. Е. Н. Черных. — М. : Языки славянской культуры, 2004. — С. 298—301.
286. Рогудеев, В. В. Ранний материал срубного слоя Раздорского поселения / В. В. Рогудеев // Эпоха бронзы и ранний железный век в истории древних племен южнорусских степей. — Саратов, 1997.
287. Розен, М. Ф. Древняя металлургия и горное дело на Алтае / М. Ф. Розен // Древние горняки и металлурги Сибири. — Барнаул : АГУ, 1983. — С. 19—34.

-
-
288. Росляков, Н. А. Зоны окисления сульфидных месторождений Алтая / Н. А. Росляков. — Новосибирск : Наука, 1970. — 254 с.
289. Рузанов, В. Д. К вопросу о металлообработке у племен чувстской культуры / В. Д. Рузанов // СА. — 1980. — № 4. — С. 55—64.
290. Рузанов, В. Д. Применение спектроаналитических данных для выделения древних источников металла Средней Азии / В. Д. Рузанов // Медные рудники Западного Кавказа III—I тыс. до н. э. и их роль в горно-металлургическом производстве древнего населения : тезисы докладов. — Сухуми, 1988.
291. Рутто, Н. Г. Новые срубно-алакульские памятники Южного Приуралья / Н. Г. Рутто // Приуралье в эпоху бронзы и раннего железного века. — Уфа, 1982. — С. 20—29.
292. Рутто, Н. Г. К вопросу о срубно-алакульских контактах / Н. Г. Рутто // Вопросы древней и средневековой истории Южного Урала. — Уфа, 1987. — С. 43—52.
293. Рындина, Н. В. К вопросу о технике обработки трипольского металла / Н. В. Рындина // Т. С. Пассек. Раннеземледельческие (трипольские) племена Поднестровья. — М., 1961. — С. 204—209.
294. Рындина, Н. В. Древнейшее металлообрабатывающее производство Восточной Европы / Н. В. Рындина. — М. : МГУ, 1971. — 144 с.
295. Рындина, Н. В. Результаты химико-технологического исследования находок из Шамшинского клада / Н. В. Рындина, А. Д. Дегтярева, В. Д. Рузанов // СА. — 1980. — № 4. — С. 154—172.
296. Рындина, Н. В. Результаты технологического исследования металлических изделий Мосоловского поселения / Н. В. Рындина, А. Д. Дегтярева // Поселения срубной общности. — Воронеж, 1989. — С. 14—39.
297. Рындина Н.В. О происхождении и свойствах мышьяково-никелевых бронз майкопской культуры Северного Кавказа (ранний бронзовый век) / Н. В. Рындина, И. Г. Равич, С. В. Быстров // Археология Кавказа и Ближнего Востока. — М. : Таус, 2008. — С. 196—221.
298. Рындина Н. В. О металлопроизводстве майкопских племен Северного Кавказа (по данным химико-технологических исследований) / Н. В. Рындина, И. Г. Равич // ВИАЭ. — 2012. — № 2 (17) — С. 4—20.
299. Рындина, Н. В. Медное шило из телль Магзалии (Итоги химико-технологического исследования) / Н. В. Рындина, Л. К. Яхонтова // Н. О. Бадер. Древнейшие земледельцы Северной Месопотамии. — М. : Наука, 1989. — С. 302—313.
300. Рындина, Н. В. Энеолит и бронзовый век / Н. В. Рындина, А. Д. Дегтярева. — М. : МГУ, 2002. — 226 с.
301. Савинов, Д. Г. К вопросу о формировании окуневской изобразительной традиции / Д. Г. Савинов // Окуневский сборник. Культура. Искусство. Антропология. — СПб., 1997. — С. 202—212.
302. Саврасов, А. С. Экспериментальное изучение технологии металлообрабатывающего производства / А. С. Саврасов // А. Д. Пряхин. Мосоловское повеление металлургов-литейщиков эпохи поздней бронзы. — Кн. 2. — Воронеж, 1996. — С. 135—158.
303. Саврасов, А. С. Теория и практика экспериментальных исследований древней металлургии в отечественной археологии / А. С. Саврасов. — Ч. I, — Воронеж : ВГУ, 2009.
304. Сагдуллаев, А. С. О соотношении древнеземледельческих комплексов Ферганы и Бактрии / А. С. Сагдуллаев // СА. — 1985. — № 4. — С. 21—32.
305. Сагдуллаев, А. С. Некоторые аспекты проблемы происхождения среднеазиатских комплексов типа Яз I / А. С. Сагдуллаев // СА. — 1989. — № 2. — С. 49—65.
306. Сайко, Э. В. Становление керамического и металлообрабатывающего производства / Э. В. Сайко, Н. Н. Терехова // Становление производства в эпоху энеолита и бронзы. — М. : Наука, 1981. — С. 72—122.
307. Салтовская, Е. Д. О погребениях ранних скотоводов в Северо-западной Фергане / Е. Д. Салтовская // КСИА. — 1978. — № 154.

-
-
308. Сальников, К. В. Абашевская культура на Южном Урале / К. В. Сальников // СА. — 1954. — XXI. — С. 52—94.
309. Сальников, К. В. Новые памятники абашевской культуры в Башкирии / К. В. Сальников // КСИИМК. — 1957. — № 67. — С. 83—88.
310. Сальников, К. В. Кипельское селище / К. В. Сальников // СА. — 1957. — Т. XXVII. — С. 193—208.
311. Сальников, К. В. Из истории древней металлургии на Южном Урале / К. В. Сальников // Археология и этнография Башкирии. — Т. I. — Уфа, 1962. — С. 62—74.
312. Сальников, К. В. Кельты Зауралья и Южного Урала / К. В. Сальников // Новое в советской археологии. МИА. — 1965. — № 130. — С. 160—164.
313. Сальников, К. В. Очерки древней истории Южного Урала / К. В. Сальников. — М. : Наука, 1967. — 408 с.
314. Сапожников, Д. Г. Медистые песчаники западной части Центрального Казахстана / Д. Г. Сапожников // Труды ИГН. — 1948. — Вып. 93. — 122 с.
315. Сарияниди, В. И. Изучение памятников эпохи бронзы и раннего железного века в Северном Афганистане / В. И. Сарияниди // КСИА. — 1972. — № 132. — С. 16—22.
316. Сарияниди, В. И. Степные племена эпохи бронзы в Маргиане / В. И. Сарияниди // СА. — 1975. — № 2. — С. 20—29.
317. Сарияниди, В. И. Древние земледельцы Афганистана / В. И. Сарияниди. — М. : Наука, 1977. — 172 с.
318. Сарияниди, В. И. Сиро-хеттские божества в бактрийско-маргианском пантеоне / В. И. Сарияниди // СА. — 1989. — № 4. — С. 17—24.
319. Сарияниди, В. И. Ахейская Греция и Центральная Азия (вновь к постановке проблемы) / В. И. Сарияниди // ВДИ. — 1993. — № 4. — С. 137—149.
320. Сарияниди, В. И. О ранней металлургии и металлообработке Древней Бактрии / В. И. Сарияниди, Н. Н. Терехова, Е. Н. Черных // СА. 1977. — № 2. — С. 35—42.
321. Сатпаева, Т. А. Минералогические особенности месторождений типа медистых песчаников / Т. А. Сатпаева. — Алма-Ата, 1958. — 243 с.
322. Сатпаева, Т. А. Результаты исследований образцов шлаков с атасуского поселения / Т. А. Сатпаева // А. Х. Маргулан, К. А. Акишев, М. К. Кадырбаев, А. М. Оразбаев. Древняя культура Центрального Казахстана. — Алма-Ата : Ылым, 1966.
323. Селимханов, И. Р. Металлографический анализ древнейших металлов в Закавказье / И. Р. Селимханов, Р. М. Торосян // СА. — 1969. — № 3. — С. 229—294.
324. Семенов, В. А. Древнеямная культура — афанасьевская культура и проблемы прототохарской миграции на восток / В. А. Семенов // Смена культур и миграции в Западной Сибири. — Томск, 1987. — С. 17—19.
325. Семенов, А. В. Железо в ранних скифских курганах в Туве / Семенов А. В. // Материалы круглого стола «Переход от эпохи бронзы к эпохе железа в Северной Евразии», Санкт-Петербург, 3—24 июня 2011 года. — СПб., 2011. — С. 75—76.
326. Ситников, С. М. Некоторые результаты исследования поселения Советский Путь — 1 / С. М. Ситников // Древние поселения Алтая. — Барнаул : АГУ, 1998. — С. 71—84.
327. Ситников, С. М. К вопросу о горном деле и металлургическом производстве саргаринско-алексеевского населения Алтая / С. М. Ситников // Алтай в системе металлургических провинций бронзового века. — Барнаул : АГУ, 2006. — С. 150—157.
328. Соенов, В. И. Раскопки на могильнике Большой Толгоек / В. И. Соенов // Известия лаборатории археологии. — Горно-Алтайск, 1995. — С. 29—45.
329. Соловьев, Б. С. Сейминско-турбинская проблема / Б. С. Соловьев // Научный Татарстан. — 2009. — № 2. — С. 91—102.
330. Спиридонова, Е. А. Результаты палинологического изучения образцов из толщ четвертичных отложений могильника Дашти-Кози / Е. А. Спиридонова // СА. — 1989. — № 1. — С. 167—170.
331. Средняя Азия в эпоху камня и бронзы. — М. ; Л. : Наука, 1966. — 287 с.

-
-
332. Стефанов, В. И. Андроновские древности Тюменского Притоболья / В. И. Стефанов, О. Н. Корочкова. — Екатеринбург : УрГУ, 2000. — 105 с.
333. Сунчугашев, Я. И. Древнейшие рудники и памятники ранней металлургии в Хакасско-Минусинской котловине / Я. И. Сунчугашев. — М., 1975. — 173 с.
334. Таиров, А. Д. Ранний железный век / А. Д. Таиров // Древняя история Южного Зауралья. — Т. 2. — Челябинск : Рифей, 2000. — С. 3—206.
335. Таиров, А. Д. Изменения климата степей и лесостепей Центральной Евразии во II—I тыс. до н. э. Материалы к историческим реконструкциям / А. Д. Таиров. — Челябинск, 2003. — 68 с.
336. Таиров, А. Д. Этнокультурные процессы на Южном Урале в VII—II вв. до н. э. / А. Д. Таиров, С. Ю. Гуцалов // Археология Южного Урала. Степь (проблемы культурогенеза). — Челябинск : Рифей, 2006. — С. 312—340.
337. Татаринов, С. И. О горно-металлургическом центре эпохи бронзы в Донбассе / С. И. Татаринов // СА. — 1977. — № 4. — С. 192—207.
338. Татаринов, С. И. Древний медный рудник «Выскривский» в Донецкой области / С. И. Татаринов // СА. — 1978. — № 4. — С. 251—255.
339. Татаринов, С. И. Железодобывающий горн бондарихинской культуры / С. И. Татаринов // СА. — 1980. — № 3. — С. 280—283.
340. Татаринов, С. И. Металлургия железа в эпоху поздней бронзы в Донбассе / С. И. Татаринов // Проблемы охраны и исследования памятников археологии в Донбассе : тезисы докладов. — Донецк, 1986. — С. 35—37.
341. Татаринов, С. И. О проблеме сезонности в добыче медных руд срубно-сабастиновскими племенами Донбасса / С. И. Татаринов // Проблемы охраны и исследования памятников археологии в Донбассе : тезисы докладов науч.-практ. семинара. — Донецк, 1987. — С. 71—72.
342. Татаринов, С. И. Итоги и проблемы изучения памятников донецкого горнометаллургического центра эпохи поздней бронзы / С. И. Татаринов // Проблемы охраны и исследования памятников археологии в Донбассе : тезисы докладов науч.-практ. семинара. — Донецк, 1989. — С. 41—43.
343. Татаринов, С. И. Жилище горняков бронзового века на Клиновском медном руднике в Донбассе / С. И. Татаринов // Археологический альманах. — Донецк, 2001. — С. 209—214.
344. Татаринов, С. И. Минерально-сырьевая база Донецкого горно-металлургического центра эпохи бронзы в Восточной Украине / С. И. Татаринов // Проблеми гірничої археології (доповіді II міжнародного Картамиського польового археологічного семінару). — Алчевськ : ДГМІ, 2003. — С. 196—204.
345. Текстуры и структуры руд. — М. : Госгеолтехиздат, 1958. — 434 с.
346. Тенейшвили, Т. О. Древнейшие металлические изделия из Закавказья / Т. О. Тенейшвили // Естественно-научные методы в археологии. — М., 1989. — С. 80—117.
347. Тенейшвили, Т. О. Древнейшие металлы в Закавказье (V—II тысячелетия до н. э.) : автореф. дис. ... канд. истор. наук / Т. О. Тенейшвили. — М., 1993. — 14 с.
348. Терехова, Н. Н. Исследование шлаков с поселения Хапуздепе / Н. Н. Терехова // Новые исследования по археологии Туркменистана. — Ашхабад : Ылым, 1980.
349. Терехова, Н. Н. Очерки по истории древней железообработки в Восточной Европе / Н. Н. Терехова, Л. С. Розанова, В. И. Завьялов, М. М. Толмачова. — М. : Металлургия, 1997. — 320 с.
350. Техов, Б. В. Центральный Кавказ в XIV—X вв. до н. э. / Б. В. Техов. — М., 1977. — 240 с.
351. Тигеева, Е. В. Технология изготовления металлических изделий Чистослебяжского могильника / Е. В. Тигеева // ВИАЭ. — 2011. — № 2 (15). — С. 66—78.
352. Тишкин, А. А. Комплексный подход в изучении памятника Березовая Лука / А. А. Тишкин // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 183—186.

-
-
353. Ткачев, А. А. Центральный Казахстан в эпоху бронзы / А. А. Ткачев. Тюмень, 2002. — 289 с.
354. Ткачев, А. А. Алексеевско-саргаринские поселенческие комплексы Сары-Арки / А. А. Ткачев // ВААЭ. — 2009. — № 10. — С. 35—44.
355. Ткачев, В. В. О соотношении синташтинских и петровских погребальных комплексов в степном Приуралье / В. В. Ткачев // Россия и Восток: проблемы взаимодействия : мат-лы конф. — Ч. V. — Кн.1. — Челябинск, 1995. — С. 168—170.
356. Ткачев, В. В. Степи Южного Приуралья и Западного Казахстана на рубеже эпох средней и поздней бронзы // В. В. Ткачев. — Актобе : Актюбинский центр истории, этнографии и археологии, 2007. — 384 с.
357. Толстов, С. П. Проблема суярганской культуры / С. П. Толстов, М. А. Итина // СА. — 1960. — № 1. — С. 14—35.
358. Трифонов, В. А. Некоторые вопросы переднеазиатских связей майкопской культуры / В. А. Трифонов // КСИА. — 1987. — Вып. 192. — С. 18—26.
359. Троицкая, Т. Н. Результаты количественного спектрального анализа предметов эпохи раннего железа Новосибирского Приобья / Т. Н. Троицкая, В. А. Галибин // Древние горняки и металлурги Сибири. — Барнаул : АГУ, 1983. — С. 35—47.
360. Трофимов, Е. А. Термодинамический анализ системы Cu—Fe—O при температурах 1100—1300 °C / Е. А. Трофимов, Г. Г. Михайлов // ИЧНЦ. — 2002. — Вып. 1(14). — С. 8—11.
361. Удодов, В. С. О роли бегазы-дандыбаевского компонента в этнокультурных процессах эпохи поздней бронзы Западной Сибири / В. С. Удодов // Проблемы хронологии в археологии и истории. — Барнаул, 1991. — С. 84—92.
362. Удодов, В. С. Эпоха развитой и поздней бронзы Кулунды : автореф. дис. ... канд. ист. наук / В. С. Удодов. — Барнаул, 1994. — 21 с.
363. Федоровский, А. С. Доисторические разработки медных руд и металлургия бронзового века в Донском бассейне / А. С. Федоровский // Воронежский историко-археологический вестник. — 1921. — Вып. 2. — С. 18—31.
364. Федорук, А. С. Культурогенез древнего населения степного Обь-Иртышья в эпоху поздней бронзы / А. С. Федорук // Известия АГУ. — 2008. — 4-2 (60). — С. 202—209.
365. Хаврин, С. В. Спектральный анализ окуневского металла / С. В. Хаврин // Окуневский сборник. Культура. Искусство. Антропология. — СПб. : Петро-РИФ, 1997. — С. 161—167.
366. Хаврин, С. В. Спектральный анализ бронзовых изделий скифского времени Саяно-Алтая и проблемы хронологии тагарской культуры / С. В. Хаврин // Археология Южной Сибири: идеи, методы, открытия. — Красноярск, 2005. — С. 96—98.
367. Хаврин, С. В. Металл памятников I тысячелетия до н. э. таёжной зоны Среднего Енисея / С. В. Хаврин // II Северный археологический конгресс. — Екатеринбург ; Ханты-Мансийск, 2006. — С. 101—102.
368. Хаврин, С. В. Древнейший металл Саяно-Алтая (энеолит — ранняя бронза) / С. В. Хаврин // Известия Алтайского государственного университета. Серия: История. — 2008. — Вып. 4/2 (60). — С. 210—216.
369. Хаврин, С. В. Древняя латунь: проблемы происхождения, распространения и интерпретации / С. В. Хаврин, К. С. Чугунова // Комплексные исследования древних и традиционных обществ Евразии. — Барнаул : АГУ, 2004. — С. 351—355.
370. Халиков, А. Х. Памятники абашевской культуры Марийской АССР / А. Х. Халиков // Абашевская культура в Среднем Поволжье. МИА. — 1961. — № 97. — С. 220—223.
371. Халяпина, О. А. Картографический и формально-типологический анализ поселений эпохи поздней бронзы из Западного Оренбуржья / О. А. Халяпина // Проблемы изучения энеолита и бронзового века Южного Урала. — Орс, 2000. — С. 84—92.
372. Хисамутдинов, М. Г. Некоторые закономерности в локализации медного орудения в полиметаллических месторождениях Юго-западного Алтая / М. Г. Хисамутдинов // Труды ВНИГИ. — Т. 60. — Л., 1961.

373. Хлобыстин, Л. П. Поселение Липовая Курья в Южном Зауралье / Л. П. Хлобыстин. — Л., 1976. — 65 с.
374. Хлопин, И. Н. Юго-Западная Туркмения в эпоху поздней бронзы / И. Н. Хлопин. — Л., 1983. — 244 с.
375. Хохлов, А. А. Демографические процессы в северной половине Волго-Уралья в эпохи энеолита и бронзы / А. А. Хохлов // Кони, колесницы и колесничие степей Евразии. — Екатеринбург ; Самара ; Донецк, 2010. — С. 133—166.
376. Циммерман, Р. Металлургия и металловедение / Р. Циммерман, К. Гюнтер. — М., 1982. : Metallurgia. — 479 с.
377. Чаиркина, Н. М. Энеолит Среднего Зауралья / Н. М. Чаиркина. — Екатеринбург : УрО РАН, 2005. — 312 с.
378. Чемякин, Ю. П. Новое поселение андроновского времени в Южном Зауралье / Ю. П. Чемякин // АО 75. — М., 1976. — С. 206, 207.
379. Чемякин, Ю. П. Работы Нефтепроводного отряда в Челябинской области / Ю. П. Чемякин // АО 77. — М., 1978. — С. 201.
380. Черников, С. С. Древняя металлургия и горное дело Западного Алтая / С. С. Черников. — Алма-Ата, 1949. — 112 с.
381. Черников, С. С. Восточный Казахстан в эпоху бронзы / С. С. Черников // МИА. — 1960. — № 88. — 285 с.
382. Черных Е. Н. История древнейшей металлургии Восточной Европы / С. С. Черников. — М. : Наука, 1966. — 144 с.
383. Черных, Е. Н. Древнейшая металлургия Урала и Поволжья / Е. Н. Черных. — М. : Наука, 1970. — 180 с.
384. Черных, Е. Н. Древняя металлообработка на Юго-Западе СССР / Е. Н. Черных. — М. : Наука, 1976. — 304 с.
385. Черных, Е. Н. Металлургические провинции и периодизация эпохи раннего металла на территории СССР / Е. Н. Черных // СА. — 1978. — № 4. — С. 53—82.
386. Черных, Е. Н. Горное дело и металлургия в древнейшей Болгарии / Е. Н. Черных. — София, 1978. — 387 с.
387. Черных, Е. Н. Проблема общности культур валиковой керамики в степях Евразии / Е. Н. Черных // Бронзовый век степной полосы Урало-Иртышского междуречья. — Челябинск : ЧелГУ, 1983. — С. 81—99.
388. Черных, Е. Н. Каргалы. Забытый мир / Е. Н. Черных. — М. : Nox, 1997. — 177 с.
389. Черных, Е. Н. Древнейшее горно-металлургическое производство на границе Европы и Азии: Каргалинский центр / Е. Н. Черных // Археология, этнография и антропология Евразии. — 2002. — 3 (11). — С. 88—106.
390. Черных, Е. Н. Каргалы / Е. Н. Черных. — Т. V: Каргалы: феномен и парадоксы развития; Каргалы в системе металлургических провинций; Потаенная (сакральная) жизнь древних горняков и металлургов. — М. : Языки славянской культуры, 2007. — 200 с.
391. Черных, Е. Н. Древняя металлургия Северной Евразии / Е. Н. Черных, С. В. Кузьминых. — М. : Наука, 1989. — 319 с.
392. Черных, Е. Н. Металл Мосоловского поселения (по данным спектрального анализа) / Е. Н. Черных, С. В. Кузьминых // Поселения срубной общности. — Воронеж, 1989. — С. 5—14.
393. Черных, Е. Н. Археологические памятники эпохи бронзы на Каргалах (поселение Горный и другие) / Е. Н. Черных, С. В. Кузьминых, Е. Ю. Лебедева // РА. — 1999. — № 1. — С. 77—102.
394. Черных, Л. А. К вопросу о выделении очагов металлопроизводства энеолита — ранней бронзы в Северном Причерноморье / Л. А. Черных, А. В. Николова // Проблеми гірничої археології (матеріали I Картамиського польового археологічного семінару). — Алчевськ : ДГМІ, 2003. — С. 37—43.

395. Черняхов, В. Б. Общая геология: методические указания по первой учебной геологической практике на полигоне «Оренбургский» / В. Б. Черняхов. Оренбург : ОГУ, 2002. — 67 с.
396. Членова, Н. Л. Хронология памятников карасукской эпохи / Н. Л. Членова. — М., 1972. — 248 с.
397. Членова, Н. Л. Карасукские кинжалы / Н. Л. Членова. М., 1974. — 275 с.
398. Шубин, Ю. П. Увязка продуктов древнего металлургического производства с рудной базой / Ю. П. Шубин // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. — 2010. — № 6. — С. 194—202.
399. Шульга, П. И. Поселение Партизанская Катушка на Катуни / П. И. Шульга // Древние поселения Алтая. — Барнаул : АГУ, 1998. — С. 146—164.
400. Щетенко, А. Я. Литейная мастерская эпохи поздней бронзы на юге Туркменистана / А. Я. Щетенко // Северная Евразия в эпоху бронзы: пространство, время, культура. — Барнаул : АГУ, 2002. — С. 186—188.
401. Энеолит СССР. — М. : Наука, 1982. — 360 с.
402. Эрдэнэбаатар, Д., 2009. Археологические культуры Монголии в бронзовом веке / Д. Эрдэнэбаатар, А. А. Ковалев // Социогенез в Северной Евразии: мат-лы 3-й Всероссийской конф. (Иркутск, 29 марта — 1 апреля 2009 г.) — Иркутск : ИрГТУ. — С. 70—83.
403. Эрлих, В. Р. Переход от бронзы к железу на Северо-Западном Кавказе в свете связей с Южным Кавказом / В. Р. Эрлих // Материалы круглого стола «Переход от эпохи бронзы к эпохе железа в Северной Евразии», Санкт-Петербург, 3—24 июня 2011 года — СПб., 2011. — С. 46—48.
404. Юминов, А. М. Горные разработки в бронзовом веке на Ишкининском медном руднике / А. М. Юминов, В. В. Зайков // УМС. — № 12. — Миасс : ИМин УрО РАН, 2002. — С. 220—228.
405. Юминов, А. М. Освоение меднорудных месторождений среди офиолитов Южного Урала в бронзовом веке / А. М. Юминов, В. В. Зайков // Металлогения древних и современных океанов. Формирование и освоение месторождений в офиолитовых зонах. — Миасс : ИМин УрО РАН, 2002. — С. 232—238.
406. Яговкин, И. С. Медистые песчаники и сланцы (мировые типы) / И. С. Яговкин. М. ; Л., 1932. — 65 с.
407. Ambert, P. The copper mines of Cabrières (Hérault) in Southern France and the Chalcolithic metallurgy / P. Ambert, V. Figueroa-Larre, J.-L. Guendon, V. Klemm, M. Laroche, S. Rovira, Ch. Strahm // Metals and societies ; ed. T. L. Kienlin, B. W. Roberts. — Bonn : Habelt, 2009. — P. 285—295.
408. Amborn, H. Die Bedeutung der Kulturen des Niltals für die Eisenproduktion im Subsaharischen Afrika / H. Amborn. — Wiesbaden : Steiner, 1976. — 304 S.
409. Aremu, D. A. Iron roads in Africa: a contribution from Nigeria / D. A. Aremu // The origin of iron metallurgy in Africa. — Paris : UNESCO, 2004. — P. 149—164.
410. Avery, D. H. Preheating: practice or illusion? / D. H. Avery, P. R. Schmidt // The culture and technology of African iron production ; ed. P. R. Schmidt. — Gainesville : Florida university press, 1996. — P. 267—276.
411. Babu, T. B. Advent of the Bronze Age in the Indian subcontinent T. B. Babu // Mining and metal production through the ages ; ed. P. Craddock, J. Lang. — London : British museum press, 2003. — P. 174—180.
412. Bachmann, H.-G.. Early copper smelting techniques in Sinai and in the Negev as deduced from slag investigations / H.-G. Bachmann // Scientific Studies in Early Mining and Extractive Metallurgy ; ed. P. T. Graddock. — British Museum Occasional Paper. — 1980. — No 20. — S. 103—134.
413. Bachmann, H.-G. Copper smelting slags from Cyprus: review and classification of analytical date / H.-G. Bachmann // Early metallurgy on Cyprus, 4000—500 BC ; ed. J. D. Muhly, R. Maddin, V. Karageorghis. — Nicosia, 1982. — P. 143—152.

-
-
414. Bachmann H.-G, Schlackenviskositäten / H.-G. Bachman, Ch. Lutz, U. Thiemann // Archäometallurgie der Alten Welt (Hrsg. A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner). Beiträge zum Internationalen Symposium «Old World Archaeometallurgy», Heidelberg, 1987.
415. Bamberger, M. The working conditions of the ancient copper smelting process / M. Bamberger // Furnaces and Smelting Techniques in Antiquity: British Museum Occasional Paper ; ed. by P. T. Graddock, M. J. Hughes. — 1992. — № 48. — P. 151—157.
416. Bamberger, M. Ancient Smelting of Oxide Copper Ore / M. Bamberger, P. Wincierz // Rothenberg B. The Ancient Metallurgy of Copper. — London : Institute for Archaeo-Metallurgical Studies, 1990. — P. 123—157.
417. Barndon, R. Fipa ironworking and its technological style / R. Barndon // The culture and technology of African iron production ; ed. P. R. Schmidt. — Gainesville : Florida University Press, 1996. — P. 58—73.
418. Bartelheim, M. Elites and metals in the Central European Early Bronze Age / M. Bartelheim // Metals and societies ; ed. T. L. Kienlin, B. W. Roberts. — Bonn : Habelt, 2009. — P. 34—46.
419. Bartelheim, M. Kupferzeitliche Metallgewinnung in Blixlegg, Österreich / M. Bartelheim, K. Eckstein, M. Huijsmans, R. Krauß, E. Pernicka // Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt. — Rahden-Westf. : Marie Leidorf Verlag, 2002. — S. 33—82.
420. Begemann, F. Searching for the ore sources of Eneolithic and EBA copper artefacts from Serbia / F. Begemann, E. Pernicka, S. Schmitt-Strecker // Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe. Archaeological Institute Beograd monographs № 27. — Beograd, 1990. — P. 143—149.
421. Behm-Blancke, M. R. Hassek-Höyük / M. R. Behm-Blancke // Istanbulur Mitteilungen. — 1984. — 34. — S. 31—149.
422. Berthoud, Th. Data analysis: towards a model of chemical modification of copper from ores to metal / Th. Berthoud, S. Bonnefous, F. Dechoux, J. Francaix // Scientific studies in early mining and extractive metallurgy ; ed. P. T. Craddock. British museum. Occasional papers. — London, 1980. — P. 87—102.
423. Bisson, M. Precolonial copper metallurgy: sociopolitical context / M. S. Bisson, S. Terry-Childs, Ph. Barros, A. F. C. Holl. Ancient African metallurgy. — Walnut Creek : Altamira press A. F. C., 2000. — P. 83—145.
424. Bocoum, H. Iron metallurgy in Africa: a heritage and a recourse for development // The origin of iron metallurgy in Africa. — Paris : UNESCO, 2004. — P. 97—108.
425. Borić D. Absolute dating of metallurgical innovations in the Vinca culture of the Balkans // Metals and societies ; ed. T. L. Kienlin, B. W. Roberts. — Bonn : Habelt, 2009. — P. 191—245.
426. Budd, P. Eneolithic arsenical copper: chance or choice? / P. Budd, B. Ottaway // Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe. Archaeological Institute Beograd monographs № 27. Beograd, 1990. — P. 95—101.
427. Caneva, C. Extractive Techniques and Alloying in Prehistoric Central Anatolia: Experimental Methods in Archaeometallurgy / C. Caneva, C. Giardino // Archaeometry'94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry. — Ankara, 1994. — P. 451—459.
428. Černych, E. N. The Circumpontic Metallurgical Province as a System / N. Černych, Z. I. Avilova, T. O. Barceva, L. B. Orlovskaja, T. O. Tenejšvili // Die Kupferzeit als historische Epoche; Symposium Saar-brücken und Otrenhausen. — Bonn, 1991. — P. 593—622.
429. Chakrabarti, D. K. The early use of iron in India. — Delhi : Oxford university press, 1992. — 200 p.
430. Charles, J. A. The Coming of Copper and Copper-Base Alloys and Iron: A Metallurgical Sequence / J. A. Charles // The Coming of the Age of Iron. Yale University Press, New Haven, — London, 1980. — P. 151—182.
431. Charles, J. A. Determinative Mineralogy and the Origins of Metallurgy / J. A. Charles // Furnaces and Smelting Technology in Antiquity ; ed. P. T. Graddock, M. J. Hughes. Occasional Paper 48. — 1992. — P. 21-28.

432. Childs, S. T. Technological history and culture in Western Tanzania / S. T. Childs // *The culture and technology of African iron production* ; ed. P. R. Schmidt. — Gainesville: Florida university press, 1996. — P. 277—320.
433. Coghlan, H. H. Notes on the prehistoric metallurgy of copper and bronze in the Old World / H. H. Coghlan. — Oxford : University press, 1951. — 131 p.
434. Coghlan, H. H. Notes on Prehistoric and early iron in the Old World / H. H. Coghlan. — Oxford : University press, 1956. — 220 p.
435. Coghlan, H. H. Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze in the Old World. 2-nd ed. / H. H. Coghlan. — Oxford, 1975. — 131 p.
436. Constantinou, G. Geological features and ancient exploitation of the cupriferous sulphide orebodies of Cyprus / G. Constantinou // *Early metallurgy on Cyprus, 4000—500 BC* ; ed. J. D. Muhly, R. Maddin, V. Karageorghis). — Nicosia, 1982. — P. 13—24.
437. Craddock, P. T. Paradigms of metallurgical innovation in prehistoric Europe / P. T. Craddock // *The beginnings of metallurgy* ; ed. A. Hauptmann, E. Pernicka, Th. Rehren, Ünsal Yalcin. Bochum : Deutschen Bergbaumuseum Bochum. — 1999. — № 84 (Der Anschnitt: Beiheft: 9). — P. 175—192.
438. Craddock, P. T. Cast iron, fined iron, crucible steel: liquid iron in the ancient world / P. T. Craddock // *Mining and metal production through the ages* ; ed. P. Craddock, J. Lang). — London: British museum press, 2003.. — P. 231—257.
439. Craddock, P. T. The beginnings of metallurgy in South-West Britain: hypotheses and evidence / P. T. Craddock, B. R. Craddock // *Mining history: the Bulletin of the Peak district Mines Historical Society*. — 1996. — Vol. 13, No 2. — P. 52—63.
440. Craddock, P. T. Production of brass in antiquity by direct reduction / P. T. Craddock, K. Eckstein // *Mining and metal production through the ages* ; ed. P. Craddock, J. Lang. — London : British museum press, 2003. — P. 216—230.
441. Craddock, P. T. Iron in ancient copper / P. T. Craddock, N. D. Meeks // *Archaeometry*. — 1987. — 29, 2. — P. 187—204.
442. De Maret, P. How old is the Iron Age in Central Africa? / De P. Maret, G. Rhiry // *The culture and technology of African iron production* ; ed. P. R. Schmidt. — Gainesville : Florida university press, 1996. — P. 29—39.
443. De Maret, P. Central Africa: knowing iron/ De P. Maret // *The origin of iron metallurgy in Africa*. — Paris : UNESCO, 2004. — P. 127—134.
444. De Marinis, R. C. Évolution et variation de la combinaison chimique des object en metal aux Âges du cuivre et du Bronze ancien dans l'Italie septentrionale / De R. C. Marinis // *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française*. Paris, 2005. — P. 249—264.
445. Delfino, D. Some aspects of prehistoric and protohistoric metallurgy in Liguria (north-west Italy) / D. Delfino // *Geoarchaeology and Archaeomineralogy* ; eds. R. I. Kostov, B. Gaydarska, M. Gurova. Proceedings of the International Conference, 29—30 October 2008, Sofia. — Sofia : Publishing House «St. Ivan Rilski», 2008. — P. 232—238.
446. Efe, T. The interaction between cultural/political entities and metalworking in Western Anatolia during Chalcolithic and Early Bronze Ages / T. Efe // *Anatolian Metal II*. Bochum. Deutsches Bergbau-Museum. Der Anschnitt, Beiheft 15. — 2002. — S. 49—66.
447. Ekafor, E. E. Twenty-five centuries of bloomery iron smelting in Nigeria / E. E. Ekafor // *The origin of iron metallurgy in Africa*. — Paris : UNESCO, 2004. — P. 43—54.
448. Erkanal, H. Die Äxte und Beile des 2. Jahrtausend in Zentralanatolien / H. Erkanal. — München: Beck, 1977. — 66 S.
449. Essomba, J.-M. Status of Iron Age archaeology in Southern Cameroon / J.-M. Essomba // *The origin of iron metallurgy in Africa*. — Paris : UNESCO, 2004.. — P. 135—148.
450. Fasnacht, W. Experimentelle Rekonstruktion des Gebrauchs von frühbronzezeitlichen Blasdüsen aus der Schweiz: Kupferverhüttung und Bronzeguss / W. Fasnacht // *The beginnings of metallurgy*. — Bochum: Deutsches Bergbaumuseum, 1995. — S. 291—294.

451. Fasnacht W., 2009. 7000 years of trial and error in copper metallurgy — in one experimental life // *Metals and societies* (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. — P. 395—399.
452. Fernandez-Miranda M., Fernandez-Posse M.D., Martin C., Montero I., Rovira S., 1994. Changes in Bronze Age Metallurgy as Depicted by Laboratory Analyses: the «La Mancha» Model, Spain // *Archaeometry '94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry*. Ankara. — P. 23-34.
453. Feuerbach A.M., Merkel J.F., Griffiths D.R., 1998. An examination of crucible steel in the manufacture of Damascus steel, including evidence from Merv, Turkmenistan // *Metallurgica Antiqua*. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, № 72 (Der Anschnitt: Beiheft: 8). — P. 37—44.
454. Fluzin P., 2004. The process chain in iron and steelmaking: archaeological materials and procedures. The contribution of metallographical studies // *The origin of iron metallurgy in Africa*. Paris: UNESCO. — P. 65—96.
455. Forbes R.J., 1958. *Studies in ancient technologies*. Vol. VI. Leiden: Brill. 200 p.
456. Gale D., 1990. A comparative studies of the earliest European copper mining tools // *Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe*. Archaeological Institute Beograd monographs №27. Beograd. — P. 47—53.
457. Gale N.H., Bachmann H.G., Rothenberg B., Stos-Gale Z.A., Tylecote R.F., 1990. The Adventitious Production of Iron in the Smelting of Copper // Rothenberg B. *The Ancient Metallurgy of Copper*. Institute for Archaeo-Metallurgical Studies, London. — P. 182—191.
458. Gale N.H., Stos-Gale Z., Raduncheva A., Panayitov I., Ivanov I., Lilov P., Todorov T., 2003. Early metallurgy in Bulgaria // *Mining and metal production through the ages* (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 122—173.
459. Gale H., Stos-Gale S., 2002. Archaeometallurgical research in the Aegean // M. Bartelheim, E. Pernicka and R. Krause Ed. *The beginnings of Metallurgy in the Old World*. Forschungen zur Archaeometrie und Altertumwissenschaft. Band 1..Verlag Marie Leidorf GmbH. Rahden/Westf. — P. 277—302.
460. Garner J., 2010. Beitrag zu den analysierten Proben aus der Bergbau— und Metallurgensiedlung Michailo-Ovsanka // Kolev J.I. *Das Bergbau— und Verhüttungszentrum der Bronzezeit in Michailo-Ovsanka an der mittleren Wolga* (mit Beitrag von J. Garner) // *Der Anschnitt*, 62, Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum. — S. 17, 18.
461. García J.M.V., Alcalde A.L.R., Sáez J.A.L., Morencos I.Z., García P.L., Navarrete M.I.M., 2000. Catástrofes ecológicas la estepa? Arqueologia del paisaje en el compejo minero-metalúrgico de Kargaly (region de Orenburg, Rusia) // *Trabajos de Prehistoria*, 57, № 1. -P. 29—74.
462. Gassmann G., Hauptmann A., Hübner Ch., Ruthardt T., Yalcin Ü., 2005. Forschungen zur keltischen Eisenverhüttung in Südwestdeutschland. Stuttgart: Theiss. — 168 S.
463. Gerloff S., 1993. Zu Fragen mittelmeeerländischer Kontakte und absoluter Chronologie der Frühbronzezeit in Mittel— und Westeuropa. In: *Prehistorische Zeitschrift*. 68. Bd, Heft 1. Berlin. — S. 58—102.
464. Gimbutas M., 1992. *Chronologies of Eastern Europe: Neolithic through Early Bronze Age* // Ehrich R.W. (ed.). *Chronologies in Old World Archaeology*. Chicago, London: University of Chicago Press. — P. 395—406.
465. Glumac P.D., Todd J.A., 1990. Eneolithic Copper Smelting Slags from the Middle Danube Basin // Pernicka E., Wagner G. (ed.) *Archaeometry '90. Proceedings of the 27th Symposium on Archaeometry held in Heilderberg*. — P. 155—164.
466. Görzdorf J., Parzinger H., Nagler A., Leontev N., 1998. Neue 14C-datierungen für die sibirische Steppe und ihre Konsequenzen für die regionale Bronzezeitchronologie. *Eurasia Antiqua*; 4. — S. 73—80.

-
-
467. Goucher C.L., Herbert E.W., 1996. The blooms of Banjeri: technology and gender in West African iron making // *The culture and technology of African iron production* (ed. P.R. Schmidt). Gainesville: Florida university press. — P. 40—57.
468. Grébénart D., 1988. *Les origines de la métallurgie en Afrique Occidentale*. Paris: Edition Errance. 289 p.
469. Groer Ch., 2008. *Früher Kupferbergbau in Westeuropa*. Bonn: Habelt. — 172 S.
470. Grigoriev S.A., 2002. *Ancient Indo-Europeans*. Chelyabinsk. — 444 p.
471. Grigoriev S.A., Nikitin A.Y., 2005. Experiments in reconstruction of ancient smelting of lead ores // D. Gheorghiu (ed.) *Experimental Pyrotechnology Group Newsletter*. №2. — P. 35—39.
472. Gülçur S., 2002. Handelsbeziehungen des 4. Und 3. Jahrtausends v. Chr. im Vordenen Orient // *Anatolian Metal II*. Bochum. Deutsches Bergbau-Museum. Der Anschnitt, Beiheft 15. — S. 27—38.
473. Hahn H.P., 1997. Eisentechniken in Nord-Togo: kultur— und technikgeschichtliche Interpretationen // *Traditionelles Eisenhandwerk in Afrika. Geschichtliche Rolle und wirtschaftliche Bedeutung*. Köln: Heinrich-Barth-Institut. — S. 129-145.
474. Hanks B., Doonan R., 2009. From Scale to Practice — A New Agenda for the Study of Early Metallurgy on the Eurasian Steppe // *Journal of World Prehistory* 22. — P. 329—356.
475. Hauptmann A., 1987. The Earliest Periods of Copper Metallurgy in Feinan, Jordan // *Archäometallurgie der Alten Welt* (Hrsg. A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner). Beiträge zum Internationalen Symposium «Old World Archaeometallurgy», Heidelberg. — P. 119—136.
476. Hauptmann A., 2003. Developments in copper metallurgy during the fourth and third millennia BC at Feinan, Jordan // *Mining and metal production through the ages* (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 90—100.
477. Hauptmann A., Pernicka E., Wagner G., 1988. Untersuchungen zur Prozesstechnik und zum Alter der frühen Blei-Silbergewinnung auf Thasos // *Antike Edel— und Buntmetallgewinnung auf Thasos*. Bochum. — S. 88—112.
478. Hauptmann A., Lutz J., Pernicka E., Yalcin Ü., 1993. Zur Technologie der Frühesten Kupferverhüttung im östlichen Mittelmeerraum // *Between the rivers and over the Mountains. Archaeologica Anatolica et Mesopotamica Alba Palmieri dedicata* (ed. Frangipane M., Hauptmann H., Liverani M., Matthie P., Mellink M.). Roma. — S. 541—572.
479. Hauptmann A., Bachmann H.-G., Maddin R., 1994. Chalcolithic Copper Smelting: New Evidence from Excavations at Fenan, Jordan. // *Archaeometry '94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry*. Ankara. — P. 3—10.
480. Hauptmann A., Yalcin Ü., 1995. Archäometallurgie des Eisens auf der Schwäbischen Alb // *Beiträge zur Eisenverhüttung auf der Schwäbischen Alb*. Stuttgart: Theis. — S. 269—309.
481. Hauptman A., Palmieri A., 2000. Metal Production in the Eastern Meditetranean at the transition of the 4th/3rd millennium: Case Studies from Arslantepe // Yalcin Unsal (Hrsg.) *Anatolian Metal I*. Bochum. Deutsches Bergbau-Museum. Der Anschnitt, Beiheft 13. — P. 75—82.
482. Hegde K.T.M., Ericson J.E., 1992. Ancient Indian copper smelting furnaces // *Furnaces and Smelting Techniques in Antiquity* (ed. P.T.Graddock, M.J.Hughes). British Museum Occasional Paper, №48. — P. 59—70.
483. Herdits H., 2003. Bronze Age smelting site in the Mitterberg mining area in Austria // *Mining and metal production through the ages* (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 69—75.
484. Hess K., Hauptmann A., Wright H., Whallon R., 1998. Evidence of fourth millennium BC silver production at Fatmali-Kalecik, East Anatolia // *Metallurgica Antiqua: in honour of Hans-Gert Bachmann and Robert Maddin*. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, № 72 (Der Anschnitt: Beiheft: 8). — P. 57—67.

-
-
485. Holl A., 1997. Metallurgy, iron technology and African Late Holocene societies // Traditionelles Eisenhanwerk in Afrika. Geschichtliche Rolle und wirtschaftliche Bedeutung. Köln: Heinrich-Barth-Institut. — P. 13—54.
486. Holl A.F.C., 2000. Metals and precolonial African society // (ed. Bisson M.S., Terry-Childs S., Barros Ph., Holl A.F.C.) Ancient African metallurgy. Walnut Creek: Altamira press. — P. 1—83.
487. Holl A.F.C., 2009. Early West African Metallurgies: New Data and Old Orthodoxy // World Prehist. 22. — P. 415—438.
488. Hook D.R., Freestone I.C., Meeks N.D., Craddock P.T., Moreno A., 1990. The Early Production of Copper-Alloys in South-East Spain // Pernicka E., Wagner G. (ed.) Archaeometry '90. Proceedings of the 27th Symposium on Archaeometry held in Heilderberg. — P. 65—76.
489. Hunt Ortiz M.A., 2003. Prehistoric mining and metallurgy in South West Iberian Peninsula. BAR International Series 1188. — 418 p.
490. Ixer R.A., Patrick R.A.D., 2003. Copper-arsenic ores and Bronze Age mining and metallurgy with special reference to the British Isles // Mining and metal production through the ages (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 9—20.
491. Izawa E., 2006. The Liqation Process for Silver Extraction from Coppe Ore: The Origin and Transfer to Japan // Metallurgy and Civilisation. The 6th International Conference of the Beginnings of the Use of Metal and Alloys. Beijing. University of Science and Technology. — P. 80—87.
492. Jemkur J.F., 2004. The beginnings of iron metallurgy in West Africa // The origin of iron metallurgy in Africa. Paris: UNESCO. — P. 33—42.
493. Jovanović B. Metallurgija eneolitskog perioda Jugoslavie. Beograd, 1971.
494. Jovanović B., 1980. Primary copper mining and the production of copper // Scientific studies in early mining and extractive metallurgy (ed. P.T. Craddock). British museum. Occasional papers. London. — P. 31—40.
495. Jovanović B., 2009. Beginnings of the Metal Age in the Central Balkans according to the results of the archaeometallurgy // Journal of Mining and Metallurgy 45 (2) B. — P. 143—148.
496. Kaptan E., 1990. Findings related to the history of mining in Turkey // Mineral Res. Expl. Bull. 111. — P. 75—84.
497. Kassianidou V., 1998. Was silver actually recovered from speiss in Antiquity? Reconsidering the evidence from Rio Tinte // Metallurgica Antiqua: in honour of Hans-Gert Bachmann and Robert Maddin. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, 1998, № 72 (Der Anschnitt: Beiheft: 8). — P. 69—76.
498. Kassianidou V., 2003. Early extraction of silver from complex polymetallic ores // Mining and metal production through the ages (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 198—206.
499. Kienlin T.L., Stöllner Th., 2009. Singen copper, Alpine settlement and Early Bronze Age mining: is there a need for elites and strongholds? // Metals and societies (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. — P. 67—104.
500. Kilian K., 1986. Mycenaens up to Date, Trends and Changes in Recent Research // Problems in Greek Prehistory (ed. E.B.French, K.A.Wardle): Papers presented at the centenary conference of the British School of Archaeology at Athens, Manchester. — P. 115—152.
501. Killick D., 1996. On claims on «advanced» ironworking technology in precolonial Africa // The culture and technology of African iron production (ed. P.R. Schmidt). Gainesville: Florida university press. — P. 247—266.
502. Kolev J.I., 2010. Das Bergbau— und Verhüttungszentrum der Bronzezeit in Michailo-Ovsanka an der mittleren Wolga // Der Anschnitt, 62, Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum. — S. 2—19.
503. Konkova L., 2006. Chemical Composition and Types of Copper-based Alloys in the Archaeological Sites of North-eastern Asia: An Attempt of Creation of Chronological Scale //

-
- Metallurgy and Civilization. The 6th International Conference of the Beginnings of the Use of Metal and Alloys. Beijing. University of Science and Technology. — P. 10, 11.
504. Koucky F., Steinberg A., 1982. The ancient slags of Cyprus // Early metallurgy on Cyprus, 4000—500 BC (ed. Muhly J.D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 117—142.
505. Krajmović D., Janković S., Lorenz I.B., Pavićević M.K., Wagner G.A., 1990. Early copper production in Serbia: potential ore sources and archaeometallurgical studies on slags // Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe. Archaeological Institute Beograd monographs №27. Beograd. — P. 59—67.
506. Krause R., 2003. Studien zur kupfer— und frühbronzezeitliche Metallurgie zwischen Karpatenbecken und Ostsee. Rahden/Westf.: Marie Leidorf. — 338 S.
507. Krumland J., 1998. Die bronzezeitliche Siedlungskeramik zwischen Elsaß und Böhmen: Studien zur Formenkunde und Rekonstruktion der Besiedlungsgeschichte in Nord und Südwürttemberg. Rahden/Westf. — 220 S.
508. Linduff K.M., Mei J., 2008. Metallurgy in Ancient Eastern Asia: How is it Studied? Where is the Field Headed? // Modeling Early Metallurgy: Old and New World Perspectives. SAA: Vancouver.
509. Lozuk J., 1990. A problem of the Baden group metallurgy at the site of Saloš-Donja Vrba near Slavonski Brod // Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe. Archaeological Institute Beograd monographs №27. Beograd. — P. 55—58.
510. Lutz J., Pernicka E., Wagner G.A., 1991. Chalkolitische Kupferverhüttung in Murgul // Handwerk und Technologie in Alten Welt (Hrsg. R.-B. Wartke). Mainz: Zabern. — P. 59—66.
511. Maddin R., 1982. Early iron technology in Cyprus // Early metallurgy on Cyprus, 4000 — 500 BC (ed. Muhly J.D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 303—314.
512. Maes-Diop L.-M., 2004. Assessment of the dating of ancient relics of ironworking in Africa: main lessons // The origin of iron metallurgy in Africa. Paris: UNESCO. — P. 189—194.
513. Maggetti M., Baumgartner D., Galetti G., 1990. Mineralogical and chemical studies on Swiss neolithic crucibles // Pernicka E., Wagner G. (ed.) Archaeometry '90. Proceedings of the 27th Symposium on Archaeometry held in Heilderberg. — P. 95—104.
514. Makkay J., 1996. Copper and Gold in the Copper Age of the Carpathian Basin // Kovács (Herausg.) Studien zur Metallindustrie im Karpatenbecken und den benachbarten Regionen. Budapest: Magyar Muzeum. — P. 37—53.
515. Marechal J.R., 1965. Nouvelles conceptions sur les debuts de la metallurgie anciennes eu Europe et au Caucase // Societe Prehistorique Francaise, Seance d'Octobre.
516. Martinelli B., 2004. On the threshold of intensive metallurgy: the choice of slow combustion in the Niger River bent (Burkina Faso and Mali) // The origin of iron metallurgy in Africa. Paris: UNESCO. — P. 165—188.
517. Mei J., 2003. Qijia and Seima-Turbino: the question of early contacts between Northwest China and the Eurasian steppe // Bulletin of the museum of Far Eastern antiquities. No 75. Stockholm. — P. 31—54.
518. Mei J., Li Y., 2003. Early copper technology in Xinjiang, China: the evidence so far // Mining and metal production through the ages. London: British museum press. — P. 111—121.
519. Mei J., Xu J., Chen K., Shen L., Wang H., 2012. Recent research on early bronze metallurgy in Northwest China // Scientific research on ancient Asian metallurgy. V. 2. London: Archetype Publications Ltd. — P. 35—44.
520. Merkel J., Rothenberg B., 1995. The earliest steps to copper metallurgy in the western Arabah // The beginnings of metallurgy. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum. — P. 149—167.
521. van der Merwe N. J., 1980. The advent of iron in Africa // The Coming of the Age of Iron. Yale University Press, New Haven, London. — P. 463—506.
522. Michael G.H. Recent development in Near Eastern chronology and radiocarbon dating // Origins, 2004, N 56, p. 6—31.

-
-
523. Mille B., Carozza L., 2009. Moving into the Metal Ages: the social importance of metal at the end of the Neolithic period in France // *Metals and societies* (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. — P. 143—171.
524. Miller D., 2003. Indigenous copper mining and smelting in pre-colonial Africa // *Mining and metal production through the ages* (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 101-110.
525. Miron E., 1992. Axes and Adzes from Canaan. Stuttgart: Steiner. — 114 p.
526. Moesta H., 1995. The investigation of some slag and metal finds from the excavations at the Klinglberg // Shennan S.J. *Bronze Age copper producers of the Eastern Alps. Excavations at St. Veit-Klinglberg*. Bonn: Habelt. — P. 261—263.
527. Moesta H., 1995a. Analyses of copper and slag samples from the Klinglberg // Shennan S.J. *Bronze Age copper producers of the Eastern Alps. Excavations at St. Veit-Klinglberg*. Bonn: Habelt. — P. 327—335.
528. Montero Ruiz I., 2005. *Métallurgie ancienne dans la Péninsule Ibérique // La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française*. Paris. — P. 187—193.
529. Moorey P.R.S., 1975. The Near Eastern Origin of Metallurgy // Coghlan H.H. *Notes on the Prehistoric Metallurgy of Copper and Bronze in the Old World*. 2-nd ed. Oxford.
530. Muhly J.D., 1973. The distribution of mineral resources and the nature of metal trade in the Bronze Age // *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*. V. 43. Hamden: Archon books. — P. 155—535.
531. Muhly J. D., 1976. Supplement to copper and tin. The distribution of mineral resources and the nature of metal trade in the Bronze Age // *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*. V. 46. Hamden: Archon books. — P. 77—136.
532. Muhly J. D., 1980. *The Bronze Age Setting // The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven, London. — P. 25—68.
533. Muhly J. D., 1985. Sources of Tin and the Beginnings of Bronze Metallurgy // *American Journal of Archaeology*, Vol. 89, No. 2 (Apr). — P. 275—291.
534. Muhly J. D., 1987. Cayönü Tepesi and the Beginnings of Metallurgy in the Ancient World // *Archäometallurgie der Alten Welt* (Hrsg. A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner). Beiträge zum Internationalen Symposium «Old World Archaeometallurgy», Heidelberg. — P. 1—11.
535. Muhly J., Wheeler T.S., 1976. New Research on Ancient Copper and Copper Alloys // Slater E.A., Tate J.O. (ed.). *Proceedings of the 16th International Symposium on Archaeometry and Archaeological Prospection*. Edinburgh. — P. 248—267.
536. Muhly, J.D., Maddin, R., Stech, T., Oezgen, E., 1985. Iron in Anatolia and the Nature of the Hittite Iron Industry // *Anatolian Studies*, V. XXXV, Ankara. P. 67—84.
537. Müller B., 1997. Möglichkeiten der interdisziplinären Zusammenarbeit von Archäologie und Linguistik am Beispiel der frühen Eisenzeit in Afrika // *Traditionelles Eisenhandwerk in Afrika. Geschichtliche Rolle und wirtschaftliche Bedeutung*. Köln: Heinrich-Barth-Institut. — S. 55—90.
538. Müller J. Zur absolutchronologische Datierung der europäischen Megalithik // Fritsch B., Maute M., Matuschik I., Müller J., Wolf C. (Hrsg.). *Prähistorische Archäologie als historische Wissenschaft. Festschrift für Christian Strahm*. Marie Leidorf Verlag: Rahden/Westf., 1998, S. 63—105.
539. Müller R., Pernicka E., 2009. Chemical analyses in archaeometallurgy: a view on the Iberian Peninsula // *Metals and societies* (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. — P. 296—306.
540. Müller-Karpe A., 1994. *Anatolisches Metallhandwerk*. — Neunmünster: Wachholtz Verlag. — 264 S.

541. Müller-Karpe, A. Zur Metallverarbeitung bei den Hethiter / A. Müller-Karpe // *Anatolian Metal I*. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum Bochum. — 2000. — № 92 (Der Anschnitt: Beiheft: 13). — S. 113—124.
542. Müller-Karpe, H. Handbuch der Vorgeschichte. Kupferzeit / H. Müller-Karpe. — Bd. III. — München, 1974. — 1125 S.
543. Müller-Karpe, M. Aspects of Early Metallurgy in Mesopotamia / M. Müller-Karpe // Pernicka E., Wagner G. (ed.) *Archaeometry '90. Proceedings of the 27th Symposium on Archaeometry held in Heilderberg, 1990*. — P. 105—116.
544. Needham, J. The evolution of iron and steel technology in East and South-east Asia / J. Needham // *The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven. — London, 1980. — P. 507—542.
545. Northover P., 1987. Properties and Use of Arsenic-Copper Alloys // *Archäometallurgie der Alten Welt* (Hrsg. A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner). Beiträge zum Internationalen Symposium «Old World Archaeometallurgy», Heidelberg. — P. 111—118.
546. Novotna M., 1990. Zu Anfängen der Metallurgie in der Slowakei // *Ancient mining and metallurgy in Southeast Europe*. Archaeological Institute Beograd monographs № 27. Beograd. — P. 69—76.
547. O'Brien W., 2005. La plus ancienne métallurgie du cuivre en Irlande // *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes*. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française. Paris. — P. 37—49.
548. Olshausen O., 1893. Die angeblichen Funde von Eisen in steinzeitlichen Gräbern // *Zeitschrift für Ethnologie*. Bd. 25. Berlin. — S. 89—121.
549. O'Riordan S., Daniel C., 1964. *New Grange*. London: Thames and Hudson. — 218 p.
550. Oudbashi O. O., Emami S. M., Davami P., 2012. Bronze in Archaeology: A Review of the Archaeometallurgy of Bronze in Ancient Iran // *Copper Alloys — Early Applications and Current Performance — Enhancing Processes* (ed. L. Collini). TechOpenBook. — P. 153—178.
551. Palmieri A., 1981. Excavations at Arslantepe (Malatya) // *Anatolian Studies*, vol. 31. — P. 101—119.
552. Palmieri A., Hauptmann A., Hess K., Sertok K., 1994. The Composition of Ores and Slags found at Arslantepe, Malatya. // *Archaeometry '94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry*. Ankara. — P. 447—449.
553. Palmieri A.M., Frangipane M., Hauptmann H., Hess K., 1999. Early metallurgy at Arslantepe during the Late Chalcolithic and the Early Bronze Age IA-IB periods // A. Hauptmann, E. Pernicka, Thilo Rehren, Ünsal Yalcin (ed.) *The beginnings of metallurgy*. — Bochum: Deutsches Bergbaumuseum Bochum. № 84 (Der Anschnitt: Beiheft: 9). — P. 141—148.
554. Palmieri A. M., Sertok K., Chernykh E. From Arslantepe metalwork to arsenical copper technology in Eastern Anatolia. // *Between the rivers and over the Mountains*. *Archaeologica Anatolica et Mesopotamica Alba Palmieri dedicata* (ed. Frangipane M., Hauptmann H., Liverani M., Matthie P., Mellink M.). Roma, 1993. — P. 573—599.
555. Parzinger H., 1993. Studien zur Chronologie und Kulturgeschichte der Jungstein-, Kupfer— und Frühbronzezeit zwischen Karpaten und Mittleren Taurus. Mainz am Rhein: Zabern. — 440 S.
556. Pernicka E., Anthony D., 2010. The invention of copper metallurgy and the Copper Age in Old Europe // *The Lost World of Old Europe: The Danube Valley, 5000-3500 BC*. Princeton University press. — P. 163—177.
557. Pernicka E., Begemann F., Schmitt-Strecker S., Todorova H., Kuleff I., 1997. Prehistoric copper in Bulgaria. Its composition and provenance // *Eurasia Antiqua*. Bd. 3. Mainz-am-Rhein. — P. 41—180.
558. Pernicka E., Rehren T., Schmitt-Strecker S., 1998. Late Uruk silver production by cupellation at Habuba Kabira, Syria // *Metallurgica Antiqua: in honour of Hans-Gert Bachmann*

-
- and Robert Maddin. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, № 72 (Der Anschnitt: Beiheft: 8). — P. 123—134.
559. Person A., Quechon G. Chronometric and chronological date on metallurgy at Termit: graphs for the study of the Ancient Iron Ages // *The origin of iron metallurgy in Africa*. Paris : UNESCO, 2004. — P. 119—126.
560. Piaskowski J., 1991. Ancient metallurgy of iron in the Near East // *Handwerk und Technologie im Alten Orient* (Hrsg. R.B. Wartke). Internationale Tagung. Berlin, Philip von Zabern. — P. 75—83.
561. Picchelaury K., 1997. Waffen der Bronzezeit aus Ost-Georgien. *Archäology in Eurasian*. Bd. 4. Espelkamp: M. Leidorf. — 116 S.
562. Pigott V. C., 1980. *The Iron Age in Western Iran // The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven, London. — P. 417—462.
563. Pigott V. C., 1988. The development of metal use on the Iranian Plateau // 4th USA — USSR archaeological exchange «The emergence and development of ancient metallurgy». Tbilisi.
564. Pigott V.C., 1989. The emergence of iron use at Hasanlu // *Expedition*. Vol. 31, No 2—3. — P. 67—79.
565. Pigott V.C., 1996. The study of ancient metallurgical technology: a review // *Asian perspectives*. 35 (I). — P. 89—97.
566. Pigott V.C., 1999. A heartland of metallurgy Neolithic/Chalcolithic metallurgical origins on the Iranian Plateau // A. Hauptmann, E. Pernicka, Th. Rehren, Ünsal Yalcin (ed.) *The beginnings of metallurgy*. — Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum. № 84 (Der Anschnitt: Beiheft: 9). — P. 107—120.
567. Pigott V.C., 2004. Hasanlu and the Emergence of Iron in Early 1st Millennium BC Western Iran // *Persia's Ancient Splendour, Mining, Handicraft and Archaeology*, Stöllner T., Slotta R. & Vatandoust A. (eds.), Bochum: Deutsches Bergbaumuseum — P. 350—357.
568. Pigott V.C., 2004a. On the Importance of Iran in the Study of Prehistoric Copper-Base Metallurgy // *Persia's Ancient Splendour, Mining, Handicraft and Archaeology*, Stöllner T., Slotta R. & Vatandoust A. (eds.), Bochum: Deutsches Bergbaumuseum. — P. 28—43.
569. Pigott V.C., 2009. «Luristan bronzes» and the development of metallurgy in the West-Central Zagros, Iran // *Metals and societies* (ed. Kienlin T. L., Roberts B. W.). — Bonn : Habelt. — P. 369—382.
570. Pigott V. C., Ciarla R., 2007. On the origins of metallurgy in prehistoric Southeast Asia: the view from Thailand // *Metals and mines: studies in archaeometallurgy* (eds. S. L. Niece, D. Hook and P. Craddock). London: Archetype Publications. — P. 76—88.
571. Pleiner R., 1980. Early Iron Metallurgy in Europe // *The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven, London. — P. 375—416.
572. Pollard A. M., Thomas R. G., Ware D. P., Williams P. A., 1990. Experimental Smelting of Secondary Copper Minerals: Implications for Early Bronze Age Metallurgy in Britain // Pernicka E., Wagner G. (ed.) *Archaeometry '90. Proceedings of the 27th Symposium on Archaeometry held in Heilderberg*. — P. 127—136.
573. Potts T. F., Potts T.C., 1994. *Mesopotamia and the East*. Oxford. — 337 p.
574. Preßlinger H., Eibner C., 1987. Bronzezeitliche Kupferverhüttung im Paltental // *Archäometallurgie der Alten Welt* (Hrsg. A. Heuptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner). Beiträge zum Internationalen Symposium «Old World Archaeometallurgy», Heidelberg. — S. 235—240.
575. Pryce T.O., Polard M., Martinon-Torres M., Pigott V.C., Pernicka E., 2011. Southeast Asia's first isotopically defined prehistoric copper production system: when did extractive metallurgy begin in the Khao Wong Pracham valley of Central Thailand? // *Archaeometry* 53, 1. — P. 146—163.
576. Quechon G. Iron metallurgy datings from Termit (Niger) // *The origin of iron metallurgy in Africa*. — Paris : UNESCO, 2004. — P. 109—118.

577. Rapp G., 1982. Native copper and the beginning of smelting: chemical studies // Early metallurgy on Cyprus, 4000 — 500 BC (ed. Muhly J. D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 33—40.
578. Rehder J.E., 1996. Use of preheated air in primitive furnaces: comments on views of Avery and Schmidt // The culture and technology of African iron production (ed. P. R. Schmidt). Gainesville: Florida university press. — P. 234—239.
579. Rehren Th., 2003. Crucibles as reaction vessels in ancient metallurgy // Mining and metal production through the ages (ed. Craddock P., Lang J.). — London : British museum press. — P. 207—215.
580. Reher T., Prange M., 1998. Lead metal and patina: a comparison // Metallurgica Antiqua: in honour of Hans-Gert Bachmann and Robert Maddin. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, № 72 (Der Anschnitt: Beiheft: 8). — P. 183—196.
581. Reiter K., 1999. Metals and metallurgy in the Old Babylonian period // A. Hauptmann, E. Pernicka, T. Rehren, Ünsal Yalcin (ed.) The beginnings of metallurgy. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, № 84 (Der Anschnitt: Beiheft: 9). — P. 167—171.
582. Renfrew C., 1973. Before civilization. The radiocarbon revolution and prehistoric Europe. New York: Knopf. — 191 p.
583. Renfrew C., 1976. Megaliths, territories and populations // De Laet J. (ed.). Acculturation and continuity in Atlantic Europe. Mainly during the Neolithic period and the Bronze Age. Brugge: De Tempel. — P. 198—220.
584. Riederer J., 1991. Die frühen Kupferlegierungen im Vorderen Orient // Handwerk und Technologie in Alten Welt (Hrsg. R.-B. Wartke). Mainz. — S. 85—93.
585. Roberts B., 2009. Origins, transmission and traditions: analyzing early metal in Western Europe // Metals and societies (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. — P. 129—142.
586. Roberts B. W., Thornton C. P., Pigott V.C., 2009. Development of metallurgy in Eurasia // Antiquity, 83. — P. 1012—1022.
587. Romanow H.P., 1995. Archaeometallurgical investigations of 'casting-cake' and a copper ore sample from the Klinglberg excavations // Shennan S.J. Bronze Age copper producers of the Eastern Alps. Excavations at St. Veit-Klinglberg. Bonn: Habelt. — P. 263—275.
588. Rothenberg B., 1990. The Ancient Metallurgy of Copper. Institute for Archaeo-Metallurgical Studies. London. — 190 p.
589. Rothenberg B., 1992. Copper smelting furnaces in the Arabah, Israel: the archaeological evidence // Furnaces and Smelting Techniques in Antiquity (ed. P. T. Craddock, M.J.Hughes). British Museum Occasional Paper, № 48. — P. 123—150.
590. Rothenberg B., Freijeiro A. B., 1980. Ancient copper mining and smelting at Chinflon (Chuelva, SW Spain) // Scientific studies in early mining and extractive metallurgy (ed. P. T. Craddock). British museum. Occasional papers. London. — P. 41—62.
591. Rovira S., 1999. Una propuesta metodológica para el estudio de la metalurgia prehistórica: el caso de Gorny en la region de Kargaly (Orenburg, Rusia) // Trabajos de prehistoria 56, n. 2. — P. 85—113.
592. Rovira S., 2005. La première métallurgie dans la Péninsule Ibérique et le Sud-Est de la France: similitudes et différences // La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française. Paris. — P. 177—185.
593. Rovira S., Gutierrez A. Utilisation expérimentale d'un four rimitif pour fonder du minerai de cuivre // La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française. — Paris, 2005. — P. 241—246.
594. Rovira S., Montero-Ruiz I., Renzi M., 2009. Experimental co-smelting to copper-tin alloys // Metals and societies (ed. Kienlin T. L., Roberts B. W.). Bonn: Habelt. — P. 407—414.

595. Sangmeister E., 2005. Les débuts de la métallurgie dans le sud-ouest de l'Europe: l'apport de l'étude des analyses métallographiques // La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française. Paris. — P. 19—25.
596. Sarianidi V., 1998. Margiana and Protozoroastrism. Athens. — 192 p.
597. Schachner A., 2002. Zur Entwicklung der Metallurgie im östlichen Transkaukasien (Azerbaycan und Nachçhevan) während des 4. und 3. Jahrtausends v. Chr // Anatolian Metal II. Bochum. Deutsches Bergbau-Museum. Der Anschnitt, Beiheft 15. — S. 115—130.
598. Shennan S.J., 1995. Bronze Age copper producers of the Eastern Alps. Excavations at St. Veit-Klinglberg. Bonn: Habelt. — 397 p.
599. Schmidt P.R., 1997. Iron technology in East Africa. Symbolism, science and archaeology. Bloomington/Indianapolis: Indiana University Press. — 344 p.
600. Schmidt P.R., Avery D.H., 1996a. Use of preheated air in ancient and recent African iron smelting furnaces: a reply to Rehder // The culture and technology of African iron production (ed. P.R. Schmidt). Gainesville: Florida university press. — P. 240—246.
601. Schmidt P.R., Avery D.H., 1996. Complex iron smelting and prehistoric culture in Tanzania // The culture and technology of African iron production (ed. P.R. Schmidt). Gainesville: Florida University Press. — P. 172—185.
602. Schmidt P.R., Childs S.T., 1996. Actualistic models for interpretation of the Early Iron Age industrial sites in Northwest Tanzania // The culture and technology of African iron production (ed. P.R. Schmidt). Gainesville: Florida university press. — P. 186—233.
603. Schmitt-Strecker S., Begemann F., Pernicka E., 1991. Untersuchungen zur Metallurgie der Späten Uruk— und Frühen Bronzezeit am oberen Euphrat // Handwerk und Technologie in Alten Welt (Hrsg. R.-B. Wartke). Mainz.
604. Schoop U.D., 2005. Das anatolische Chalkolithikum. Greiner Verlag. — 441 S.
605. Seeliger T.C., Pernicka E., Wagner G.A., Begemann F., Schmitt-Strecker S., Eibner C., Öztunali Ö., Baranyi I., 1985. Archäometallurgische Untersuchungen in Nord— und Ostanatolien // Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseum. 32 Jahrgang. Mainz. — P. 597—659.
606. Shalev S., Shilstein S.Sh., Yekutieli Yu., 2006. XRF study of archaeological and metallurgical material from an ancient copper-smelting site near Ein-Yahav, Israel // Talanta 70. — P. 909—913.
607. Snodgrass A. M., 1980. Iron and early metallurgy in the Mediterranean // The Coming of the Age of Iron. Yale University Press, New Haven, London. — P. 335—374.
608. Snodgrass A. M., 1982. Cyprus and the beginnings of iron technology in the Eastern Mediterranean // Early metallurgy on Cyprus, 4000 — 500 BC (ed. Muhly J. D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 285—296.
609. Strahm Ch., 2005. L'introduction et la diffusion de la métallurgie en France // La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Actes du colloque international. Mémoire XXXVII de la société préhistorique Française. Paris. — P. 26—36.
610. Tylecote R.F., 1980a. Furnaces, Crucibles, and Slags // The Coming of the Age of Iron. Yale University Press, New Haven, London. — P. 183—228.
611. Strahm Ch., Hauptmann A., 2009. The metallurgical developmental phases in the Old World // Metals and societies (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. — P. 116—128.
612. Stronach D.B., 1957. The Development and Diffusion of Metal Types in Early Bronze Age Anatolia // Anatolian Studies. Journal of the British Institute of Archaeology at Ankara. Vol. VII. — P. 89—126.
613. Tafel V., 1951. Lehrbuch der Metallhüttenkunde. Bd. I, Leipzig.
614. Talion F., 1987. Metallurgie susienne I. De la fondation de Suse au XVIIIe avant J.-C. Catalogue et illustrations. Paris. — 418 p.

-
-
615. Thornton C. P., 2007. Of brass and bronze in prehistoric Southwest Asia // *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy* (S. La Niece, D. Hook, & P. Craddock, eds.). London: Archetype Publications. — P. 123—135.
616. Thornton C.P., 2009. The emergence of complex metallurgy on the Iranian Plateau: Escaping the Levantine Paradigm // *Journal of World Prehistory*, 22(3). — P. 301—327.
617. Thornton C.P., 2012. The rise of arsenical copper in Southeastern Iran // *Iranica Antiqua*, 45. — P. 31—50.
618. Thornton C.P., Ehlers Ch., 2003. Early brass in the ancient Near East // *Institute for Archaeo-Metallurgical Studies newsletter*, 23. — P. 3—8.
619. Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C., 2004. Tappeh Yahya und die prähistorische Metallurgie in Südostiran // (Th. Stöllner, R. Slotta, & A. Vatandoust, eds.) *Persiens Antike Pracht*. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum. — P. 264—273.
620. Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C., 2004a. A new look at the prehistoric metallurgy of Southeastern Iran // *Iran XLII*. — P. 47—59.
621. Thornton C.P., Rehren Th., 2007. Report on the first Iranian prehistoric slag workshop // *Iran*, XLV. — P. 315—318.
622. Thornton C.P., Rehren Th., 2009. A truly refractory crucible from fourth millennium Tepe Hissar, Northeast Iran // *Journal of Archaeological Science*, 36(12). — P. 2700—2712.
623. Thornton C.P., Roberts B.W., 2009. Introduction: The beginnings of metallurgy in global perspective // *Journal of World Prehistory*. 22(3). — P. 181—184.
624. Thornton C.P., Lamberg-Karlovsky C.C., Liezers M., Young S.M.M., 2005. Stech and Pigott revisited: New evidence for the origin of tin bronze in light of chemical and metallographic analyses of the metal artifacts from Tepe Yahya, Iran // (H. Kars & E. Burke, eds.) *Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry, 22-26 April 2002, Amsterdam. Geoarchaeological and Bioarchaeological Studies 3*. Amsterdam: Vrije Universiteit. — P. 395—398.
625. Thornton C.P., Rehren Th., Pigott V.C., 2009. The production of speiss (iron arsenide) during the Early Bronze Age in Iran // *Journal of Archaeological Science*, 36(2). — P. 308—316.
626. Thornton C.P., Golden J., Killick D., Pigott V.C., Rehren Th., Roberts B., 2010. A Chalcolithic error: A rebuttal to Amzallag 2009 // *American Journal of Archaeology*, 114. — P. 305—315.
627. Trump D.H. *Malta: prehistory and temples*. Midsea books, 2002. — 319 p.
628. Tylecote R.F., 1980. Summary of results of experimental work on early copper smelting // *Aspects of Early Metallurgy* (ed. W.A.Oddy). British Museum Occasional Paper, № 17. — P. 5—12.
629. Tylecote R.F., 1980a. *Furnaces, Crucibles, and Slags* // *The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven, London. — P. 183—228.
630. Tylecote R.F., 1981. *Chalcolithic metallurgy in the Eastern Mediterranean* // *Chalcolithic Cyprus and Western Asia* (ed. J.Reade). British Museum Occasional Paper, №26.
631. Tylecote R.F., 1982. *The Late Bronze Age: copper and bronze metallurgy at Enkomi and Kition* // *Early metallurgy on Cyprus, 4000 — 500 BC* (ed. Muhly J.D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 81—104.
632. Tylecote R.F., 1987. *The early history of metallurgy in Europe*. London: Longman. — 391 p.
633. Tylecote R.F., Merkel J.F., 1992. *Experimental smelting techniques: achievements and future* // *Furnaces and Smelting Techniques in Antiquity* (ed. P.T.Graddock, M.J.Hughes). British Museum Occasional Paper №48. — P. 3—20.
634. Varoufakis G.J., 1982. *The origin of Mycenaean and Geometric iron on the Greek mainland and in the Aegean Islands* // *Early metallurgy on Cyprus, 4000—500 BC* (ed. Muhly J.D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 315—324.
635. Vermeule E.D.T., Wolsky F.Z., 1990. *Toumba tou Skourou. A Bronze Age Potters' quarter on Morphou bay in Cyprus*. Boston. — 482 p.

636. Wagner G.A., Gentner W., Gropengiesser H., Gale N.H., 1980. Early Bronze Age lead-silver mining and metallurgy in the Aegean: the ancient workings on Siphnos // *Scientific studies in early mining and extractive metallurgy* (ed. P.T. Craddock). British museum. Occasional papers. London. — P. 63—86.
637. Wagner D.B., 1993. Iron and steel in ancient China. Leiden: Brill. — 573 p.
638. Waldbaum Y.C., 1980. The First Archaeological Appearance of Iron and the Transition to the Iron Age // *The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven, London. — P. 69—98.
639. Wang Q., Mei J., 2009. Some observations on recent studies of bronze casting technology in ancient China // *Metals and societies* (ed. Kienlin T.L., Roberts B.W.). Bonn: Habelt. P. 383—394.
640. Wayman M.L., Duke M.J.M., 1995. The effects of melting on native copper // *The beginnings of metallurgy*. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum. — P. 55—66.
641. Wei Q. Iron and Steel Technology in the First Millennium BC Xinjiang // *Metallurgy and Civilisation. The 6th International Conference of the Beginnings of the Use of Metal and Alloys*. Beijing. University of Science and Technology, 2006. — P. 16, 17.
642. Wertime T.A., 1980. The pyrotechnologic background // *The coming of age of iron* (ed. T.A. Wertime, J.D. Muhly). New Haven: Yale university press. — P. 1—24.
643. Wheeler T.S., Maddin R. Metallurgy and ancient man // *The Coming of the Age of Iron*. Yale University Press, New Haven, London. 1980. — P. 99—126.
644. White J.C., 2006. Dating early bronze at Ban Chang, Thailand // *From Homo erectus to the living traditions: Choice of papers from the 11th International Conference of the European Association of Southeast Asian Archaeologists, Bougon, 25th — 29th September 2006*. — P. 91—104.
645. Woelk G., Gelhoit P., Bunk W., 1998. Reconstruction and operation of a Bronze Age copper-reduction furnace // *Metallurgica Antiqua: in honour of Hans-Gert Bachmann and Robert Maddin*. Bochum: Deutschen Bergbaumuseum Bochum, 1998, № 72 (Der Anschnitt: Beiheft: 8). — P. 263—277.
646. Wu G. On the Early Iron Found in China // *Metallurgy and Civilisation. The 6th International Conference of the Beginnings of the Use of Metal and Alloys*. Beijing. University of Science and Technology, 2006. — P. 20, 21.
647. Yakar J., 2002. East Anatolian metallurgy in the forth and third millennia BC: some remarks // *Anatolian Metal II*. Bochum. Deutsches Bergbau-Museum. Der Anschnitt, Beiheft 15. — S. 15—26.
648. Yalcin Ü., 1999. Early Iron metallurgy in Anatolia // *Anatolian Studies*, V. 49, Ankara. — P. 177—187.
649. Yalcin Ü., 2000. Anfänge der Metalverwendung in Anatolien // Yalcin Unsal (Hrsg.) *Anatolian Metal I*. Bochum. Deutsches Bergbau-Museum. Der Anschnitt, Beiheft 13. — S. 17-30.
650. Yalcin Ü., Yalcin H.G., 2009. Evidence for early use of tin at Tülintepe in Eastern Anatolia // *TÜBA-AR*, 12. — P. 123—142.
651. Yener K.A., 1983. The production, exchange and utilization of silver and lead metals in Ancient Anatolia: a source identification project // *Anatolica*, № 10. — P. 1—16.
652. Yener K.A., 2000. The domestication of metals. The rise of complex metal industries in Anatolia. Brill: Leiden, Boston, Köln.
653. Yener et al., 1994. Yener K.A., Geckinly E., Özbal H. A Brief Survey of Anatolian Metallurgy prior to 500 BC // *Archaeometry '94. Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry*. Ankara. — P. 373—392.
654. Yener K.A., Adriaens A., Earl B., Özbal H., 2003. Analyses of metalliferous residues, crucible fragments, experimental smelts, and ores from Kestel tin mine and the tin processing site of Göltepe, Turkey // *Mining and metal production through the ages* (ed. Craddock P., Lang J.). London: British museum press. — P. 181—197.

-
-
655. Zaykov V. V., Yuminov A. M., Bushmakin A. Ph., Zaykova E. V., Tairov A. D., Zdanovich G.B., 2002. Ancient Copper Mines from Base and Noble Metals in the Southern Urals // K. Jones-Bley, D. G. Zdanovich (ed.). *Complex Societies of Central Eurasia from the 3rd to the 1st Millennium BC. Journal of Indo-European Studies Monograph Series 45.* Institute for the Study of Man. Washington D.C. — P. 417—442
656. Zwicker U., 1980. Investigations on the extractive metallurgy of Cu/Sb/As ore and excavated smelting products from Norsun-Tepe (Keban) on the Upper Euphrates (3500—2800 B. C.) // *Aspects of Early Metallurgy* (ed. W. A. Oddy). British Museum Occasional Paper, №17. — P. 13—26.
657. Zwicker U., 1982. Bronze Age metallurgy at Ambelikou-Aletri and arsenical copper in a crucible from Episcopi-Phaneromeni // *Early metallurgy on Cyprus, 4000—500 BC* (ed. Muhly J. D., Maddin R., Karageorghis V.). Nicosia. — P. 63—68.
658. Zwicker U., 1987. Untersuchungen zur Herstellung von Kupfer und Kupferlegierungen im Bereich des östlichen Mittelmeeres (3500-1000 v. Chr.) // *Archäometallurgie der Alten Welt* (Hrsg. A. Hauptmann, E. Pernicka, G. A. Wagner). Beiträge zum Internationalen Symposium «Old World Archaeo-metallurgy», Heidelberg. — S. 191—203.
659. Zwicker U., Virdis P., Ceruti M.L., 1980. Investigations on copper ore, prehistoric copper slags and copper ingots from Sardinia // *Scientific studies in early mining and extractive metallurgy* (ed. P.T. Craddock). British museum. Occasional papers. London. — P. 135—164.
660. Zwicker U., Greiner H., Hofmann K.-H., Reithinger M., 1992. Smelting, refining and alloying of copper and copper alloys in crucible furnaces during prehistoric up to Roman times // *Furnaces and Smelting Techniques in Antiquity* (ed. P. T. Graddock, M. J. Hughes). British Museum Occasional Paper, № 48. — P. 103—115.

Список сокращений

АГУ — Алтайский госуниверситет
АО — Археологические Открытия
ВВАЭ — Вестник археологии, антропологии и этнографии
ВАУ — Вопросы археологии Урала
ВГУ — Воронежский госуниверситет
ВДИ — Вестник древней истории
ЕНУ — Евразийский национальный университет
ИА РАН — Институт археологии РАН
ИАиЭ СО РАН — Институт археологии и этнографии Сибирского отделения РАН
ИИМК РАН — Институт истории материальной культуры РАН
ИМин УрО РАН — Институт Минералогии УрО РАН
ИПОС СО РАН — Институт проблем освоения Севера Сибирского отделения РАН
ИрГТУ — Иркутский государственный технический университет
ИЧНЦ — Известия Челябинского научного центра
КарГУ — Карагандинский госуниверситет
КГПИ — Куйбышевский государственный педагогический институт
КСИА — Краткие сообщения Института Археологии
КСИИМК — Краткие сообщения Института истории материальной культуры
МГОУ — Московский государственный областной университет
МГУ — Московский госуниверситет
МИА — Материалы и исследования по археологии
РА — Российская Археология
СА — Советская Археология
САИ — Свод археологических источников
СНЦ РАН — Самарский научный центр РАН
СО РАН — Сибирское отделение РАН
СЭ — Советская Этнография
ТомГУ — Томский госуниверситет
Труды ВНИГИ — Труды Института Нефти и Газа
Труды ИГН — Труды Геологического института РАН
УМС — Уральский минералогический сборник
УрГУ — Уральский госуниверситет
УрО РАН — Уральское отделение РАН
УАВ — Уфимский археологический вестник
ЧелГУ — Челябинский госуниверситет

Summary

Studies of metallurgical production in Northern Eurasia have long history connected, above all, with a scientific collective headed by E. N. Chernykh. These works were based on typological and chemical analyses of metal objects. As a result, for different periods huge areas with similar traditions of production have been marked out, named «metallurgical provinces».

But to solve problems of ore sources and smelting technologies we must study slag and ore. Such a project for Eurasia was started in 1986. Slag systems are very complicated, and their study by any single analytical method is impossible. For example, weak crystallization of any mineral can be caused by rapid cooling as well as by lack of needed components. It demands necessity to use a series of different methods which makes studies of even a single sample very difficult and expensive.

But the use of several methods does not secure against mistaken results because condition for slag formation can be different in different zones of a furnace and on different stages of smelting process. At last an analyzed series can include slags of a faulty smelt or slags of two neighboring settlements of the same archaeological culture but with different microstructures and chemical compositions which depend on different ore sources. Therefore, even analyzing metallurgical remains of a single settlement we must analyze statistically reliable series. Their minimal number can be various depending on homogeneity of a series from any settlement or archaeological culture. High costs and many other obstacles make almost impossible such studies. But if we intend to study such a vast area as Northern Eurasia, at the first sight, we have no chance to obtain an accurate picture of metallurgical production.

Therefore, a special schema of such a study was developed, that makes possible to investigate a lot of samples having not lost numerous details which are extremely important in archaeometallurgical studies. On the first stage all the samples are studied by means of the cheapest and most informative methods: microscopy in reflected light and emission spectral analysis. This allows different mineralogical and chemical groups of slag to be distinguished and to do their statistical comparisons. After this it is possible to study selected samples inside the groups more carefully by other methods: bulk chemical analysis, scanning electron microscopy and so on.

In the research mainly Bronze Age slags of the area from the Don River to the Altai and Central Asia were included. Some Eneolithic and Early Iron Age materials were used as a background for the main research. In total 2331 slag and ore samples have been investigated (this number includes also some samples of our experimental smelts). On the whole, 2628 analyses have been done: 1184 emission spectral analyses, 738 by optical microscopy, 467 SEM analyses, 74 bulk chemical analyses, 88 RFA analyses of metal objects and 135 visual ore determinations.

Unfortunately, although these numbers seem to be large, but indeed they are tiny for this vast territory and time span. Eneolithic metallurgy is limited by several samples, and slags of both Early and Middle Bronze Ages are absent. Only the final part of the MBA is well presented by evidences of Sintashta and Abashevo cultures. The Late Bronze Age slags are distributed within the area irregularly. Partly it may be explained by weak studies in some areas, but partly it reflects some ancient realities (smelting in mining areas, increasing exchange, territorial specialization, etc.).

However, on the base of these analyses a generalized schema of metallurgical production development in Northern Eurasia has been created. Some its parts are made quite reliably, other are only outlined. As it is impossible to separate metallurgical development of the area from Eurasian metallurgy as a whole, evidences on metallurgy in Europe and the Middle East are used to give a common background to this development. This information was collected from many publications of European investigators of the problem.

In the world we see several successive stages in development of metallurgy: from use of natural copper to smelting copper sulfides and iron production. And all these changes had geological grounds: upper part of deposits contains natural copper and copper oxides, with secondary and then primary copper sulfides below. This means that in process of mining took place transition to the next technological stage. It is not fully true for any particular deposit and mining area, because there could become apparent many distinctive features, but this regularity is entirely true within frameworks of vast areas. But this changing of the ore base also demanded more complicated technological operations: from cold forging to high-temperature smelting, from crucibles to furnaces, to control on temperature and many other smelting conditions. Therefore, on the face of it, this logic of development could be presented anywhere because this chain of ores in deposits is universal. However, many authors suppose that there was diffusion of this production from the Near East because we have no other area with evidences of its local development.

In addition to this, this chain of ores in the deposits is not always accompanied by the same logic of the technological developments from smelting copper oxides to secondary and then primary sulfides.

The earliest knowledge of copper occurred in Anatolia and Northern Mesopotamia. The first copper objects made by cold forging are dated there to the 6th — 7th millennia BC. The hot forging and casting appeared about 6000 BC, and the first copper smelted from ore is dated to about 5000 BC. Perhaps, from this area the use of native copper was distributed to Western Iran, although in this instance to be more precise, we must discuss unity of technological processes in broader area because ore smelting appeared in Iran in the 5th millennium BC, contemporary to its appearance in Anatolia. Soon, in the 4th millennium BC the first attempts to smelt sulfide ores started. Thus, we see that even in the most developed area of the world the first technological changes in metallurgy were extremely slow, they covered several millennia.

On the Balkans the first copper occurred at the end of the Neolithic period. Because during the whole Neolithic the Balkan Peninsula was closely connected with Anatolia we may assume that knowledge of metal came to the Balkans from Anatolia. In Anatolia ore smelting started only from the late 6th — early 5th millennia BC. Initially the use of native copper was distributed. In the 5th millennium BC a very developed Eneolithic production arose in the Northern Balkans that gradually was distributed throughout South-eastern and Central Europe. The Balkan production, with its plenty of massive tools could not be based on native copper; metallurgists smelted most likely ores, albeit it cannot be confirmed yet by slag finds. In this instance it is impossible to answer a question if it was a local development or it was stimulated by any additional impulses from Anatolia. The Balkan metallurgy did not know alloys. In Anatolia to the late Neolithic the earliest arsenic alloys were also not as typical as in the following Eneolithic period.

Some later, in the mid-5th millennium, metallurgical production was distributed from Eastern Mediterranean to the west, to Iberia, and then, in the late 4th millennium BC, from Iberia to North Africa. In the same millennium metallurgy appeared in Corsica and North-western Italy, and from this area in Southern France. In the beginning of this millennium we see distribution of metallurgy from the Balkans to Middle Europe, where was one later impulse from the south-west, from France and Swiss. As a result, in the mid-4th millennium BC metallurgy was mastered everywhere in Middle Europe.

Shortly before the mid-4th millennium BC some processes took place in both Anatolia and Central Europe. As a result, we see central European and Anatolian (through Eastern Europe) impulses to the Balkans. The Anatolian ones brought to appearance of arsenic alloys in South-eastern Europe.

In Northern Eurasia the first copper objects are dated to the 5th millennium BC. Just in this period we see distribution of traditions of forging and casting from the Balkans to Dnieper area and, probably, to the Volga River. Some Eneolithic cultures of Eastern Europe demonstrated copper objects repeating Balkan types and chemically close to those in the Balkans. They had been made by similar, but slightly degraded technology which shows their local production. It happened within the final formation of the Balkan-Carpathian metallurgical province of the Eneolithic period.

Some later, in the 4th millennium BC, situation in Central Europe changed, and the Balkan-Carpathian province disintegrated. In this millennium metallurgy originated in Karelia, but it was presented only by forging of native copper. In this instance we may admit borrowing of knowledge about metal, however, a local origin of this primitive technology is not excluded. But far in the east, in the Urals, rather developed production appeared, presented so far by very rare sites. On the Vera Island we excavated a furnace demonstrating intentional generating of carbon monoxide needed to create reducing conditions. Two types of smelt were known: smelting of copper oxides (probably, in crucibles) and smelting of primary sulfides (chalcopyrite). In addition to this, sometimes metallurgists used alloying copper with tin. Tin alloys were a late tradition, typical of Northern Eurasia from the Late Bronze Age, and there was a single way of this alloying: metal tin with copper. But here tin is present in slag which shows additions of any tin mineral on the smelting stage. Some metal artifacts contain additions of tin and arsenic. This unexpectedly impetuous rise of metallurgy allows us to think that this production was introduced into the area. But initial area is unclear. Basically, in this millennium similar features can be also found in Anatolia and Europe, although very rarely. The furnace of the Vera Island has Anatolian analogies. But the most part of cultural features (megalithic tradition, some ceramic types) point to Europe. However, in this period metallurgy had no further development in the Urals. Soon it degraded. Economy of hunters and fishermen did not need it.

In the late 4th millennium BC the Circumpontic metallurgical province formed, extending over vast areas of the Near East, the Caucasus, Eastern Europe and the Balkans. Chronologically it covered the next millennium and two archaeological epochs: Early and Middle Bronze Age. Its production is characterized by similar types of metal objects and arsenic allows supposing permanent interactions within the province and unified processes of its formation. In the Northern Caucasus Maikop culture formed. Its arsenic alloys with nickel admixtures demonstrate Near Eastern origins, because it was typical there. Most probably this alloying could be realized by addition of arsenic minerals to copper oxides.

After this ore smelting appeared in the Southern Urals, in Yamnaya culture. Its metal artifacts have an undoubted Circumpontic background and probable connections with the Northern Caucasus, although it is not known where here the smelting came from. The arsenic alloys were absent here, as well as slag. Technology was, probably, very archaic basing on copper oxides and crucible smelts. But we cannot say now what it was: either regress of Caucasian technologies or borrowing from local Eneolithic metallurgy.

Most late in Europe, in the 3rd millennium BC, metallurgy penetrated the British Isles. In Northern Eurasia we have no evidence about smelting in this period, albeit there is a lot of metal in burials of Yamnaya and Catacomb cultures. A single known ore source of this time was deposits in Ural sandstones. We see no serious technological transformations. But in the west, in southern part of Eastern Europe, many metal objects were alloyed with arsenic, so they were not connected with the Southern Urals. It was especially typical of Catacomb culture, and origin of this metal is unknown.

In the late 3rd — early 2nd millennia BC, at the end of the Middle Bronze Age, a burst of metallurgical production started in Northern Eurasia. Its first place was Sintashta culture in the Southern Urals where metallurgy penetrated from the Near East. This production was based on smelting copper oxides (with additions of secondary sulfides) from ultra-basic rock,

as well as on alloying copper with arsenic on the ore smelting stage. This made it possible to smelt at comparatively low temperatures which allow arsenic to be saved in metal. From this followed also metal-working technologies: forging (mainly at low temperatures) in preference to casting. The latter caused types of metal objects.

Sintashta metallurgists also started to use more widespread and richer ores from quartz. At the same time in the Western Urals (Abashevo culture) very archaic (probably, Eneolithic) traditions of smelting very pure copper oxides in crucibles remained. But the Sintashta technology penetrated here being a base for the following technological development in the area.

In the 3rd millennium BC the south of Central Asia (Uzbekistan, Turkmenistan) was influenced by metallurgical production from Iran. Initially a very archaic crucible ore smelting occurred here. It is not excluded that such a tradition appeared in the north, in the Sayan-Altai region (Afanasievo culture). But here the source of this production was Yamnaya metallurgy of the Urals. Probably, some technological changes took place here in the Middle Bronze Age connected with Late Afanasievo and Okunev cultures, which was expressed in appearance of the first alloys, but there is no trustworthy evidence about smelting process for this period in Southern Siberia. Most probably, just from this area emanated impulses to the south-east, to China, resulting in origin of metallurgy there, but it is impossible to confirm this supposition by concrete materials now. It is based exclusively on chronological correspondence.

In the second half of the 3rd millennium BC in the south of Central Asia (Kyzylkum desert) metallurgists started to smelt chalcopyrite. After this the technology appeared in the Altai. It was still weakly expressed in Elunino culture where mixture from copper oxides and sulfides was smelted. But the first tin alloys were already known. It is difficult to connect these innovations with any particular area of the Middle East, but initial Anatolian roots of tin alloys and smelts of chalcopyrite are undoubted.

At the transition to the Late Bronze Age, in the early 2nd millennium BC, with the formation of Srubnaya (Timber-Grave) culture in Eastern Europe and Alakul culture in the Urals and Kazakhstan, metallurgical production distributed over large territory. The process had been started by penetration of Sintashta traditions, but soon they were transformed. We see transition from smelting ores from ultra-basic rock to ores from quartz, which is quite explainable in view of their richness and wider distribution. But this resulted in longer smelting process, higher temperatures and oxidizing conditions which made impossible to save arsenic in metal. This created preconditions for the following technological changes connected with eastern impulses.

The traditions of smelting chalcopyrite and tin alloys appeared first in the Altai penetrated west through forest-steppe area. Archaeologically these processes are expressed in appearance of Seima-Turbino and Fyodorovka culture metallurgy. The new traditions of alloys penetrated also steppe area, but previous smelting traditions going back to Sintashta culture remained there. All this led to final formation of the «Eurasian metallurgical province» (EAMP), although the process was started from Sintashta metallurgy.

More successfully these new technologies penetrated west, first Central Europe, then to Atlantic Europe, albeit local origin of tin alloys in Britain is not excluded. The second vector of impulses from the Sayan-Altai region was directed south-east, so we see wide distribution of tin alloys and Seima-Turbino types of weapons in China. At last, steppe populations brought their smelting technologies to the south of Central Asia, which is visible on materials from the Kyzylkum desert.

It is interesting that smelts of chalcopyrite created conditions to extract small pieces of iron. Rare iron artifacts of this period are known. It led to knowledge of the metal, initial skills of its forging, but the future iron metallurgy could not arise from this, because early iron production was based on iron oxides. Their smelting demanded other experience: knack of creating reducing conditions at high temperatures.

In the Final Bronze Age, beginning of the second half of the 2nd millennium BC, steppe area saved its previous technological traditions. But in some places, especially in Southern Siberia, new technological features appeared, stimulated from the Middle East, but it is impossible to determine any concrete area.

In the north-eastern part of the EAMP metallurgists returned to smelting copper oxides or their mixture with sulfides as well as to arsenic alloys. This seems to be accompanied by technology of iron smelting. But the latter was in latent state up to appearance of steel because non-carbonized iron yields to bronze. As a result, new Central Asian metallurgical province arose there. It influenced south (and a part of China was included in it) and partly west. In the west it led to distribution of arsenic alloys and degrading of tin alloy tradition. The latter remained only in the east of the province. Perhaps, it was influenced by developed production that had been formed in China where tin alloys dominated.

The most powerful influence from Central Asia to the west took place in the beginning of the Early Iron Age. This resulted in renewal of tin alloys, transition to smelting copper oxides and their mixture with sulfides, introduction of iron metallurgy. The last technology, that had been appeared first in Anatolia, started in the Final Bronze Age move east, to Iran, India, Central Asia and China. A northern direction is also probable: through the Caucasus to the Don and then to the Middle Volga and Kama areas. To the west the technology was distributed through Central Europe and Mediterranean. The last way was probably a stimulus of rise of iron metallurgy in Northern Africa and its gradual victorious movement to the south of the continent. There are some questions with the origin of iron metallurgy in the Eastern Urals. It was partly stimulated from the Kama area, but eastern impulses are not excluded.

Metallurgy and migrations

Smelting technologies and alloys were interacting processes, but there are also many problems of metal-working and mining. And all this was not only distribution of the complex of metallurgical technologies. They were accompanied by other changes of material culture.

One of the most important features of cultural genesis in ancient Northern Eurasia was a pulsatile character of cultural genesis, with sudden significant cultural transformations of similar type on vast territories. In my opinion, this region was always subjected to long-distance migrations which were the basic reason of these transformations. It is especially obvious in metallurgical production, which being very complicated excludes borrowings without a teaching process. It is possible to borrow knowledge of metal. But it can provoke use of native copper and its forging. For some instances we may admit distribution of metal-working technologies from any population to their neighbors and diffusion by such a way through large distances.

But very often we see distribution of ore smelting technologies, which was impossible through areas where ore deposits were lacking. Moreover, particular elements of any metallurgical complex were closely interconnected. Any type of raw material (types of ore and gangue) dictated definite smelting technologies. The latter were connected with types of alloying and through them with metal-working technologies. The latter were the base of types of metal objects. So, it is a very complicated complex that cannot be gathered from several different isolated pieces. Therefore, a sudden appearance of this complex without possibility to trace back its gradual creating is evidence of migrations.

Basing on analyzes of materials from Northern Eurasia it is possible to draw a conclusion that in development of metallurgical production here internal impulses dominated. But sometimes striking changes stimulated from outside took place in the region. At its beginning metallurgy of the Balkan-Carpathian metallurgical province was the main stimulus. Then, during the whole Bronze Age, the main stimulating center was in the south-eastern part of the Circumpontic province, and even after its disintegration the Near East was continuing to

influence metallurgical developments in the north. Only at the transition to the Early Iron Age some area of the Central Asian metallurgical province started to play this role.

Social and economic background

Why just Anatolia was the main center of innovations in the early period of metallurgical production? There was a very important stimulus: high level of economic development in the Near East and poor natural resources of thriving Mesopotamia nearby with vast market for Anatolian goods.

Distribution of metallurgy was not always a pure distribution of technologies. Usually it had concrete bearers, migrating collectives with corresponding skills. But after coming of any technology local processes of its adaptation were playing significant role, provoked by new types of ore, contacts with local traditions, etc.

Types of economy and social structures were also very significant. We saw that initially developed Eneolithic metallurgy in the Urals degraded having not needed in economy of hunters and fishermen.

Gradually the situation changed in the Bronze Age when metallurgical production existed in conditions of cattle breeding and agricultural economy and complicating social structures. Certainly, metallurgy was not a ground of these structures formation, rather these social structures and economic forms influenced character of metallurgical production. But being a part of this complicated system it influenced other parts.

There was also another distinction: more complicated production was integrated into these more complicated social systems. Eneolithic production of Northern Eurasia was based on simple technologies directing its efforts on small volumes and mainly pure copper. But in the Bronze Age the production became more complicated. In Sintashta culture the production did not achieved a level when any specialization was needed. But there were some problems even at that time: arsenic alloys and ore sources which were partly common for the whole culture. Therefore, usage of these deposits had some forms of social regulations.

More complicated situation of the Late Bronze Age was connected with more complicated casting and forging technologies, which required specialization. Metallurgical production was known in many areas, but it was not presented on each settlement. Hence, there was necessity to deliver metal from mining areas. Specialization of settlements and even large areas appeared, albeit it did not everywhere. And it existed within any social structures whose forms are fully unclear yet against background of many groundless discussions.

Tin alloy was a very important factor because tin sources were situated in Central and Eastern Kazakhstan, where tin was imported far to the west from. Naturally, something should be imported backward. It created a system of trade and exchange. Consequently, since this time metallurgy influenced already socio-economic system within which it existed.

At last, in the Early Iron Age the level of specialization increased again, because mining and metallurgical activities were situated on peripheries of the region. But it cannot be considered as a further development of natural process of specialization. The reason was quite concrete: transition to nomadic economy in steppe which stimulated development of metallurgical centers in settled areas.

Научное издание

Станислав Аркадиевич Григорьев

**Металлургическое производство
в Северной Евразии в эпоху бронзы**

монография

Верстка В. Б. Феркель

Подписано в печать 30.06.2013.
Формат 60×84/8. Объем 77,19 усл. печ. л.

Бумага офсетная.

Тираж 100 экз.
Заказ № 105.

Издательство «Цицero»
454080, г. Челябинск, Свердловский пр., 60.

Отпечатано в типографии
ООО «Тираж Сервис»
454091. г. Челябинск, ул. Свободы, 179.