

Российская академия наук
Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН



Институт археологии РАН



Российский фонд фундаментальных исследований



Russian Academy of Sciences
Institute of physicochemical and biological problems of soil of RAS
Institute of archaeology of RAS

Russian Foundation for Basic Research



E.V. Chernysheva, A.V. Borisov, D.S. Korobov

**Biological memory of soils
and cultural layers
of archaeological sites**

Moscow
GEOS
2016

Е.В. Чернышева, А.В. Борисов, Д.С. Коробов

**Биологическая память почв
и культурных слоев
археологических памятников**

Москва
ГЕОС
2016

УДК 631.46

ББК

Ч 49

Ответственный редактор
доктор биологических наук, профессор *О.Е. Марфенина*

Рецензент
доктор исторических наук *Н.А. Кренке*

Ч 49 **Чернышева Е.В., Борисов А.В., Коробов Д.С.**

Биологическая память почв и культурных слоев археологических памятников. — М.: ГЕОС, 2016. — 240 с. + 8 с. цв. вкл.; ил.
ISBN 978-5-89118-729-0 (в пер.)

В монографии представлены результаты изучения биологической активности почв и культурных слоев археологических памятников. Рассмотрены особенности изменений микробной биомассы, ферментативной активности, структуры почвенного микробного сообщества в результате различной антропогенной деятельности в раннем Средневековье.

Для специалистов в области почвоведения, почвенной микробиологии и энзимологии, археологии, истории.

ББК

**Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований (проект № 16-16-00143)
Издание РФФИ не подлежит продаже**

Editor-in-chief
O.E. Marfenina

Reviewer
N.A. Krenke

Chernysheva E.V., Borisov A.V., Korobov D.S.

Biological memory of soils and cultural layers of archaeological sites. — Moscow: GEOS, 2016. — 240 p. + 8 p. colored inset; ill.
ISBN 978-5-89118-729-0 (in cloth)

The monograph presents the results of studies of biological activity of soils and cultural layers of archaeological monuments. The changes in microbial biomass, enzyme activity, and structure of soil microbial community in the soil resulting from human activities in the early Middle Ages are discussed.

The book is intended for scientists and experts in soil science, soil microbiology and enzymology, archaeology, history.

**Published at financial support of the Russian Foundation for Basic Research,
grant 16-16-00143
The edition of the RFBR isn't subject for sale**

ISBN 978-5-89118-729-0

© Е.В. Чернышева, А.В. Борисов, Д.С. Коробов, 2016
© ГЕОС, 2016

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Трансформация микробных сообществ почв под влиянием антропогенного воздействия в древности и в настоящее время	13
1.1. Влияние сельскохозяйственного освоения территории на биологическую активность почв	13
1.2. Трансформация микробных сообществ почв археологических объектов	22
Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследований	25
Глава 3. Объекты и методы исследования	33
3.1. Объекты исследований	33
3.1.1. Культурные слои поселений и современные антропогенно-преобразованные почвы ..	35
3.1.1.1. Ключевой участок Подкумское-2	35
3.1.2. Почвы древних сельскохозяйственных угодий	40
3.1.2.1. Ключевой участок Подкумское-3	40
3.1.2.2. Ключевой участок Подкумское-7	47
3.1.3. Почвы загонов для скота	50
3.2. Методы исследований	60
Глава 4. Биологическая память почв о древнем селитебном и сельскохозяйственном воздействии	65
4.1. Биологическая память культурных слоев поселений	65

4.1.1. История заселения Кисловодской котловины	65
4.1.2. Химические свойства и биологическая активность почв и культурных слоев поселения Подкумское-2	70
4.1.3. Заключение по ключевому участку Подкумское-2	96
4.2. Биологическая память почв средневековых полей	98
4.2.1. Общие сведения о развитии земледелия на Северном Кавказе	98
4.2.2. Химические свойства и биологическая активность почв средневековых полей в окрестностях укрепления Подкумское-3	106
4.2.3. Химические свойства и биологическая активность почв средневековых полей в окрестностях укрепления Подкумское-7	126
4.2.4. Заключения по ключевым участкам Подкумское-3 и Подкумское-7	150
4.3. Биологическая память почв загонов для скота	152
4.3.1. Общие сведения о развитии скотоводства на Северном Кавказе	152
4.3.2. Химические свойства и биологическая активность почв загонов для скота ...	161
Заключение	173
Выводы	183
Summary	185
Introduction	185
Objects of study	188
Methods of study	189
Results	190
Soils of medieval agricultural plots	190
Microbiological properties	193
Soils of inhabited areas	199
Soils of prehistoric and medieval corrals	203
Conclusion	209
Литература	211

Content

Introduction	5
Chapter 1. Transformation of soil microbial community under the influence of anthropogenic impact in the past and to day	13
1.1. The impact of agricultural development on the territory the biological activity of soils	13
1.2. Transformation of microbial communities in soils of archaeological sites	22
Chapter 2. Physico-geographical characteristics of the study area	25
Chapter 3. Objects and methods	33
3.1. The cultural layers of settlements and the modern anthropogenically transformed soils	33
3.1.1. The soils of archaeological sites	35
3.1.1.1. A key area Podkumskoe-2	35
3.1.2. The soils of medieval agricultural land	40
3.1.2.1. Key area Podkumskoe-3	40
3.1.2.2. Key area Podkumskoe-7	47
3.1.3. The soils of corrals	50
3.2. Methods of study	60
Chapter 4. Biological memory of soils of medieval sites and agricultural plots	65
4.1. Biological memory of cultural layers of settlements	65

4.1.1. The history of colonization of the Kislovodsk Basin	65
4.1.2. The chemical properties and biological activity of soils and cultural layers of the Podkumskoe-2 site	70
4.1.3. Conclusion on the key plot Podkumskoe-2	96
4.2. Biological memory of soils of medieval fields	98
4.2.1. General information on the development of agriculture in the North Caucasus	98
4.2.2. The chemical properties and biological activity of soils of medieval fields in the vicinity of Podkumskoe-3 site	106
4.2.3. The chemical properties and biological activity of soils of medieval fields in the vicinity of Podkumskoe-7 site	126
4.2.4. Conclusions on the key plots Podkumskoe-3 and Podkumskoe-7	150
4.3. Biological memory of soils in corrals	152
4.3.1. General information about the development of cattle breeding in the North Caucasus	152
4.3.2. The chemical properties and biological activity of soils in corrals	161
Conclusion	173
Findings	183
Summary	185
Introduction	185
Objects of study	188
Methods of study	189
Results	190
Soils of medieval agricultural plots	190
Microbiological properties	193
Soils of inhabited areas	199
Soils of prehistoric and medieval corrals	203
Conclusion	209
References	211

Введение

В конце 70-х — начале 80-х годов прошлого века была сформулирована концепция памяти почв [Таргульян, Соколов, 1978]. Это была одна из наиболее ярких и продуктивных идей современного отечественного почвоведения, получившая широкое распространение как в нашей стране, так в мире. Согласно авторам, память почв рассматривается как способность почвенной системы запоминать, записывать в своих устойчивых свойствах информацию об условиях (факторах) и процессах своего формирования и дальнейшего изменения во времени [Таргульян, 2008, с. 24].

Следует отметить, что эта мысль так или иначе присутствовала на всех этапах развития почвоведения, начиная от известного выражения В.В. Докучаева «почва — зеркало ландшафта» до почвенно-генетической триады «факторы–процессы–свойства». И только в последние десятилетия XX в. идея о сохранении в почве информации об условиях предыдущего развития почвы была оформлена на понятийном и терминологическом уровнях [Таргульян, 1986; Таргульян, Соколова, 1996]. Но и в настоящий момент эта тема остается актуальной из-за чрезвычайного многообразия и сложности форм записи информации в почвенной памяти и несовершенства способов «расшифровки» сведений об истории развития конкретного почвенного тела.

Носители почвенной памяти чрезвычайно разнообразны. На самом первом уровне это индивидуальные аморфные соединения и частицы кристаллических минералов; далее следует уровень наночастиц и наноминералов, уровень органоминеральных ассоциаций, почвенных агрегатов, почвенных горизонтов, почвенного профиля, почвенного покрова отдельных ландшафтов и, наконец, педосферы Земли в целом [Таргульян, 2008].

Считывание информации из почвенной памяти осуществляется с помощью широкого комплекса методов, применение которых обусловлено особенностями вещественного состава и свойств твердой фазы почвы. В соответствии с определяемым компонентом состава почвы В.О. Таргульян выделяет гранулометрическую, геохимическую, минералогическую, гумусовую, педно-агрегатную, кутанную и другие виды почвенной памяти [Таргульян, 2008]. При этом сам автор идеи о памяти почвы не выделяет отдельно биологическую память, рассматривая преимущественно абиогенные процессы.

Развивая концепцию В.О. Таргульяна, можно считать, что нижним иерархическим уровнем, с которого начинает работать биологическая память, является внутриагрегатный уровень почвенной памяти, где наиболее сложно и динамично ассоциированы глинистые минералы, зерна почвенного скелета и органоминеральные соединения. Именно органоминеральные и глинистые частицы являются необходимым средообразующим фактором, обеспечивающим функционирование почвенных микроорганизмов — основы биологической составляющей почв [Звягинцев, 1987].

Поэтому можно с уверенностью предполагать, что биологическая почвенная память реализуется на всех иерархических уровнях почвенной памяти, где присутствуют органоминеральные соединения и глинистые минералы — от наноуровня до уровня почвенного покрова Земли. Соответственно и информационный потенциал биологической памяти практически безграничен. Ограничены лишь наши возможности считывания этой информации.

Однако, как отмечено О.Е. Марфениной, для биологических свойств почвы понятие «памяти» до сих пор остается наименее изученными. Оценивая высокий потенциал биотической почвенной памяти, автор указывает, что эта форма почвенной памяти, как и память человека, способна со временем терять информацию, и предлагает выделять несколько компонентов внутри биотической почвенной памяти: условно — «абсолютную» память — данные о флоре и фауне прошлых эпох, сохранившиеся в почве в неизменном виде; «модифицированную» память, которая может быть в разной степени искажена со временем, а также факты, безвозвратно стертые из памяти, т.е. отмершие и разложившиеся организмы, в том числе и микробы [Марфенина, 2008].

Из всего потенциального многообразия биогенных носителей почвенной памяти к настоящему времени достаточно предметно исследованы лишь «микробиоморфная» память почв и «гумусовая»

память почв. В первом случае в качестве носителей почвенной памяти рассматривают фитолиты, спикулы губок, раковины амёб, а также споры, пыльца, угли, детрит и иные остатки растительного происхождения [Гольева, 2001]. Их последовательная смена в профиле почвы позволяет получить микробиоморфный профиль, отражающий информацию о локальных климатических сменах и явлениях антропогенной природы в масштабах исторического времени.

«Микробиоморфная» память почв отличается относительно высокой скоростью формирования и хорошей сохранностью биоморф [Гольева, 2008]. Информационный потенциал микробиоморфной почвенной памяти ограничивает лишь высокая степень пространственной локализации биоморф и связанное с этим варьирование микробиоморфных спектров в разных почвенно-ландшафтных условиях.

«Гумусовая» память почв основана на способности гумуса сохранять ряд своих свойств в геологических масштабах времени и адекватно отражать особенности природной среды периода своего формирования. Информация о природных условиях прошлых эпох сохраняется на уровне состава, структурных особенностей и свойств гуминовых кислот и фульвокислот, синтез которых зависит от температурных и влажностных условий. Таким образом, становится возможным количественная реконструкция былых условий почвообразования [Дергачева, 1997].

Одной из важных составляющих биологической памяти почв является микробиологическая память почв. Основанием для такого утверждения может служить повсеместное распространение, чрезвычайное разнообразие, сенсорность и сверхбыстрый оклик на внешние воздействия, а также разнообразные механизмы адаптации и выживания почвенных микроорганизмов.

Однако при столь благоприятных предпосылках для использования микробиологической памяти при изучении природных событий прошлых эпох информационный потенциал микробных сообществ почв до настоящего времени реализован далеко не в полной мере.

Известен лишь ряд работ Т.С. Демкиной, Т.Э. Хомутовой и Н.Н. Каширской и других авторов, в которых приводятся палеоэкологические реконструкции для второй половины голоцена, построенные на основе изучения различных параметров микробных сообществ подкурганных палеопочв южнорусских степей [Демкина и др., 2000, 2004, 2010; Хомутова и др., 2004; Хомутова, Демкин,

2011; Каширская и др., 2009]. В основу этих исследований положено предположение, что в погребенных почвах археологических памятников голоценового возраста до настоящего времени сохраняются микробные сообщества, структура и свойства которых в целом соответствуют времени сооружения памятников. Это подтверждено особенностями распределения численности микроорганизмов различных трофических групп в курганных насыпях, погребенных и современных почвах [Демкина и др., 2007], данными определения возраста микробной фракции с использованием метода ^{14}C атомной масс-спектрометрии [Demkina et al., 2008].

Сохранению микроорганизмов прошлых эпох способствовали их адаптационные механизмы выживания (например: анабиоз, переход бактерий в наноформы и др.) в неблагоприятных экологических условиях [Бухарин и др., 2005; Вайнштейн, Кудряшова, 2000]. Методами электронной микроскопии установлено, что в горизонте A1 подкурганных каштановых палеопочв около 80% клеток относятся к наноформам (их объемы не превышают 0.09 мкм^3), а в современном аналоге — не более 60% [Каширская, 2006]. Цитологические исследования искусственно образованных наноклеток позволили предположить, что их формирование представляет универсальную ответную реакцию организма на неблагоприятные условия и стресс-факторы [Вайнштейн, Кудряшова, 2000].

Внутри блока микробиологических носителей почвенной памяти сравнительно лучше изучены информационные возможности почвенной микобиоты и сформулировано понятие микологической памяти почв [Марфенина, 2005, 2008]. Будучи одним из основных компонентов наземных экосистем, грибные сообщества отражают свойства почв и растительного покрова в данном конкретном месте. При этом в определенных типах почв под определенными типами фитоценозов формируются грибные сообщества, которые характеризуются специфическими видовыми группировками и структурой микобиоты. Изменение условий окружающей среды приводит к изменению и грибных сообществ.

Важной особенностью микологической памяти почв является не просто запоминание и сохранение информации, но и способность к ее *воспроизводству* [Марфенина, 2008]. Микологическая память почв имеет хорошие возможности в плане реконструкции не только природных, но и антропогенных событий прошлых эпох. В случае с археологическими памятниками это особенно важно. Так, благодаря тому, что в почве всегда сохраняется определенная

доля жизнеспособных форм микроорганизмов, сохранившихся с момента функционирования памятника, можно, создав благоприятные условия, вызвать их рост и тем самым восстановить биотический фон тех ли иных археологических контекстов.

Грибы являются одним из основных деструкторов органического вещества и отличаются значительным видовым разнообразием, однако при этом в разложении разных субстратов могут участвовать специфические виды грибов. Поэтому на основании изменения структуры почвенной микробиоты и увеличения доли отдельных видов грибов можно реконструировать особенности поступления в почву того или иного органического материала.

Так, в работах О.Е. Марфениной и А.Е. Ивановой с соавторами выявлены существенные отличия микробиоты антропогенно-преобразованных почв археологических памятников, где в почву поступали разнообразные органические остатки, от фоновых почв за пределами древних поселений. На основе изучения микроскопических грибов в культурных слоях средневековых поселений на Северном Кавказе, в средней и южной тайге авторами показаны характерные изменения разнообразия видовой структуры при различных формах антропогенного воздействия на почву. На основании этого были предприняты попытки реконструкции инфраструктуры поселений и особенностей использования территории на различных участках памятника [Марфенина и др., 2001, 2008; Marfenina et al., 2008; Иванова и др., 2006].

Весьма перспективными оказались исследования кератинолитических грибов, что позволило реконструировать исходное поступление в почву кератинсодержащих субстратов — шерсти, пера, кожи и др. Для выявления кератинофильных грибов был использован метод приманок, чрезвычайно простой и общедоступный метод, суть которого заключается в следующем.

Увлажненная почва насыпается в чашки Петри, слегка уплотняется, и на поверхность ее помещаются стерильные фрагменты волоса или шерсти. Если в почве исходно было много кератинофильных грибов, то через некоторое время на волосе появляются видимые невооруженным глазом гифы кератинолитических грибов. На основании полученных данных было предложено использовать обилие кератинолитических грибов как один из функциональных показателей почвенно-археологических объектов [Марфенина, 2005; Иванова и др., 2006].

Этот методический прием впоследствии нашел широкое применение в почвенно-археологических исследованиях [Борисов и др.,

2013; Peters et al., 2014]. Методы приманок могут быть использованы для оценки обилия других потенциально индикаторных грибов, также тесно связанных с деятельностью человека, таких как фитопатогенные и лигниноразрушающие виды [Марфенина, 2005], но пока эти исследования не нашли широкого применения.

С оценки плотности кератинолитических грибов в почвах археологических памятников было начато новое направление в исследовании биологической почвенной памяти — а именно: памяти о поступлении в почву **органических субстратов антропогенной природы**.

Для археологических реконструкций важность этих исследований трудно переоценить. Известно, что практически вся археологическая наука оперирует минеральными, либо минерализованными субстратами. Это: камень, металл, керамика, стекло, кость. Пожалуй, на этом список источников для реконструкции материальной культуры прошлых эпох ограничивается. Исключение составляют лишь памятники с «мокрым» слоем, либо, напротив, памятники с очень низкой влажностью воздуха, и памятники в многолетней мерзлоте. В этих случаях имеются хорошие возможности для изучения органических материалов, так как пониженное содержание кислорода, дефицит влаги и отрицательные температуры препятствуют разложению органических веществ.

Но такого рода археологические памятники довольно малочисленны. Абсолютное большинство памятников находится в аэробных условиях, при довольно высокой влажности и положительных температурах. В этой ситуации органические материалы полностью минерализуются и в распоряжении археологов остаются все те же камень, металл, керамика, стекло, кость. Насколько сильно при этом снижается информационный потенциал памятника можно понять, если представить себе свою квартиру, в которой остались только каменные, металлические и стеклянные предметы.

С разложением органических материалов теряется огромный массив материальной культуры, реконструировать который до настоящего времени не представлялось возможным. Даже людям, весьма далеким от почвенной микробиологии, хорошо известно, что любой органический субстрат, оказавшись в почве, разлагается почвенными микроорганизмами. В этом процессе происходит последовательная смена различных групп микроорганизмов. Но именно на этих этапах включается микробиологическая почвенная память: информация о поступлении в почву неспецифического для нее органического субстрата, или его поступление в объемах, зна-

чительно превышающих норму, приводит к изменениям количественных и функциональных показателей микробного сообщества почвы.

Эти изменения выражаются в увеличении численности микроорганизмов, специализирующихся на утилизации поступившего субстрата. При этом может возрасти интенсивность продуцирования этими микроорганизмами соответствующих ферментов, участвующих в разложении данного органического материала. После того, как вся органика полностью утилизирована, в микробном сообществе почвы остается увеличенной численность тех клеток, которые участвовали в процессе ее разложения. Благодаря разнообразию форм выживания почвенные микроорганизмы переходят в неактивное состояние, в котором могут находиться длительное время. Часть из них может сохранять способность образовывать колонии при посеве на питательные среды, что открывает возможность их видовой идентификации. А при использовании молекулярно-генетических методов можно идентифицировать все почвенные микроорганизмы, включая некультивируемые формы.

Таким образом, при выявлении факта возрастания численности определенных групп микроорганизмов можно, зная их трофические характеристики, предполагать: поступление какого субстрата стало причиной всплеска их численности. Этот механизм биологической почвенной памяти на сегодняшний день исследован лишь на примере сообществ почвенных грибов, хотя есть все основания ожидать, что по этой схеме может быть исследована и бактериальная память почв.

Но, как было указано выше, при поступлении в почву какого-либо органического субстрата изменяется не только количественные показатели почвенного микробного сообщества, но и ферментативная активность почв. Известно, что по мере микробного разложения органического субстрата в почве может накапливаться фермент, который может пребывать в почве без потери активности тысячи лет [Nannipieri et al. 2002; Skujins, 1976; Хомутова и др., 2012; Dick et al., 1994]. Культурные слои и почвы археологических памятников в данном случае выступают в качестве уникального почвенного тела, в которое на протяжении точно известного времени в прошлом поступали определенные органические субстраты (белки, жиры, мочевины, хитин, разного типа углеводы, в том числе крахмал, целлюлоза, лигнин и др.). Попадание этих субстратов инициировало рост численности микроорганизмов, ответственных за их утилизацию, которые, в свою очередь, выделяли специфиче-

ские ферменты, участвующие в расщеплении того или иного органического субстрата. В результате в почвах и культурных слоях увеличивалось содержание определенных ферментов, и эти изменения ферментативного пула могли сохраняться до наших дней.

Этот аспект почвенной памяти практически не исследован, хотя потенциал его представляется весьма внушительным. Первые результаты, раскрывающие потенциал ферментативной памяти почв культурных слоев археологических показаны в работах авторского коллектива данной книги [Чернышева, Борисов, Коробов, 2014; Чернышева, Каширская и др., 2014; Chernysheva et al., 2015].

Таким образом, с использованием количественных и качественных методов почвенной микробиологии и энзимологии можно реконструировать исходное поступление различных органических субстратов в почвы в различных археологических контекстах. Таким образом раскрывается информационный потенциал биологической памяти почв и культурных слоев археологических памятников. Под данным термином применительно к археологическим объектам мы предлагаем понимать *способность микробного сообщества почвы изменять свою структуру и биологическую активность в результате поступления в почву дополнительных органических субстратов антропогенной природы и сохранять эти изменения неопределенно долгое время.*

Исследованию этого аспекта почвенной памяти и посвящена данная работа.

Глава 1

Трансформация микробных сообществ почв под влиянием антропогенного воздействия в древности и в настоящее время

1.1. Влияние сельскохозяйственного освоения территории на биологическую активность почв

Начиная с середины XX в., отмечается резко возрастающая интенсивность преобразования человеком экосистем Земли, и в настоящее время около 80% поверхности планеты содержит следы его вмешательства [Ellis, Ramankutty, 2008]. Наиболее масштабным преобразующим фактором является сельскохозяйственная деятельность [Kiers et al., 2008; Venayaz, Bullock, 2012]. Так, площадь сельскохозяйственных земель в мире сейчас составляет около 40% [Foley et al., 2005]; при этом площади, занятые населенными пунктами, достигают 1.2%. В нашей стране под сельскохозяйственными угодьями по состоянию на 2013 г. занято 12.9% территории. Из них 7.1% территории занимают пашни, 0.3% — залежи, 1.4% — сенокосы, 4.0% — пастбища [Алябина и др., 2014].

Хорошо известно, что одним из основных компонентов экосистем, в наибольшей мере подверженным антропогенному влиянию при любой форме антропогенной деятельности, являются почвы. В последние десятилетия резко усилились процессы деградации

почв, что приводит к потере почвой своих биогеоценотических и биосферных функций, а также к значительному сокращению биоразнообразия [Добровольский, Никитин, 2012].

В этой связи особую важность приобретают вопросы изучения масштабов трансформации почвенных свойств под действием антропогенного прессинга и способность почвы восстанавливать свои функции. Исследования в этом направлении не только дают возможность оценить современное состояние почв, но и позволяют прогнозировать дальнейшие изменения почв и почвенного покрова как важнейшего компонента биоценозов, что особенно важно в условиях актуальной на сегодняшний день тенденции перехода на рациональные принципы природопользования.

Уникальными объектами для изучения последствий антропогенного преобразования почв в масштабе исторического времени являются почвы и культурные слои древних поселений. В этом случае в распоряжении исследователя оказывается своего рода природный эксперимент, для которого известно время, тип, интенсивность антропогенного преобразования почвы, с одной стороны, и формы проявления его последствий на современном этапе эволюции почвы — с другой. Не случайно, в последние годы наблюдается резкий всплеск работ по изучению почв археологических памятников.

История применения методов почвоведения при исследовании культурных слоев археологических памятников начинается вместе с первыми шагами генетического почвоведения. Так, основоположник генетического почвоведения В.В. Докучаев в 1878 г. участвовал в раскопках ряда неолитических стоянок, и по особенностям залегания находок им было установлено время поселения древнего человека в долине р. Оки [Жук, 2005].

Наиболее широкое применение инструментальных методов почвоведения в изучении культурных слоев поселений началось после открытия в 30-х годах прошлого века О.Аррениусом и В.Лорхом факта повышения содержания фосфатов в культурном слое поселений [Arrhenius, 1931; Lorch, 1940 (цит. по: [Holliday, Gartner, 2007])]. В настоящее время этот принцип широко используется в практике археологических изысканий [Eidt, 1977, 1984; Barba, 1994; Holliday, Gartner, 2007]. Достаточно глубоко изучена природа антропогенной трансформации гранулометрического состава культурного слоя [Чижикова, 1991; Прокофьева и др., 2001; Соколова и др., 2005], его химических свойств [Александровский, 1997; Александровский и др., 1997; Герасимова и др. 2003; Естественнонаучные методы...,

2004; Сычева, 2006; Долгих, 2010; Каздым, 2010], микробиологических показателей [Марфенина и др., 2001, 2008; Иванова и др., 2008; Marfenina et al., 2008]. Наиболее полное представление о современном уровне естественнонаучного изучения культурных слоев в нашей стране можно получить, ознакомившись с материалами международных конференций по данной тематике [Культурные слои..., 2006; Материалы..., 2014].

Сельскохозяйственное преобразование почв в древности и в Средневековье изучено в меньшей степени. Известен ряд работ, в которых проводится поиск физико-химических индикаторов древнего земледелия [Lisetskii et al., 2015], рассматривается восстановление почвенно-ландшафтных условий при древнем сельскохозяйственном освоении территории [Delgado et al., 2007; Lisetskii, 2008; Lisetskii, Rodionova, 2012], физико-химических свойств деградированных почв древних и средневековых полей [Долотов, 1984; Лисецкий, 2008; Sandor, Eash, 1995; Scalenghe et al., 2002; Lisetskii et al., 2013], последствия древнего орошения [Костюченко, Лисицина, 1976; Лисицина, Костюченко, 1976]. Особое внимание исследователей привлекают древние земледельческие террасы как наиболее яркие и монументальные природно-антропогенные образования, имеющие очень высокий и многоплановый потенциал для изучения различных аспектов древнего земледелия [Sandor et al., 1990; Sandor, 2006; Ruecker et al., 1998; Sanchez-Maranon, 2002; Goodman-Elgar, 2008; Борисов, Коробов, 2013].

В некоторых работах исторически датированный агрогенный этап эволюции почв используется для оценки скорости эрозии [Londono, 2008], реконструкции палеоэкологических условий [Cordova, Lehman, 2005], проводятся попытки реконструкции плодородия почв древних агроэкосистем [Homburg, Sandor, 2011]. Отдельной темой в рамках нового научного направления, известного как «Environmental archaeology» («Археология окружающей среды»), стало моделирование почвенных процессов при обработке почвы в соответствии с древними агротехническими приемами [Wilkinson, Stevens, 2008].

К настоящему времени накоплен огромный массив информации об изменениях почвенных свойств в результате современной антропогенной деятельности. Рассмотрение всех этих вопросов не входит в круг задач настоящего исследования.

В соответствии с задачами настоящей монографии мы сосредоточимся лишь на изменениях биологической активности почв в результате сельскохозяйственного освоения территории, так как

именно эта форма антропогенной деятельности в древности наиболее детально рассматривается в данной книге. При этом, естественно, мы не будем касаться влияния пестицидов, химических удобрений, полива, тяжелой техники и других форм воздействия на почвы, без которых не обходится современное сельскохозяйственное производство, но которых не было в историческом прошлом. Также не рассматривается влияние современного селитебного воздействия на биологическую активность почв. Эта тема достаточно освещена в литературе; при этом форма и интенсивность современного селитебного преобразования почв весьма далеки от возможного селитебного воздействия на почвы древних поселений.

Ниже приведены некоторые сведения о влиянии на биологическую активность почв лишь таких агротехнических приемов, как распашка и внесение органических удобрений. Предполагается, что этими приемами ограничивалось сельскохозяйственное воздействие на почвы в древности и в Средневековье.

Влияние распашки почв. Длительные культивирование и распашка почв, особенно без внесения органических удобрений, приводят к уменьшению содержания $C_{\text{орг}}$ и $N_{\text{общ}}$ [Dick, 1992] и существенно изменяют физические и водно-физические свойства почв, что вызывает изменение параметров микробного сообщества и пространственное перераспределение внутри почвенного профиля микроорганизмов и различных ферментов [Deng, Tabatabai, 1997; Bergstrom et al., 1998 a,b].

Различия в биологической активности почв антропогенных и естественных ландшафтов охватывают весь почвенный профиль. Так, высокая напряженность биологических процессов в целинных почвах в большей степени характерна для верхнего горизонта, и уменьшение биологической активности вниз по профилю здесь происходит более резко по сравнению с антропогенно-преобразованными почвами, т.е. можно сказать, что пахотные почвы имеют более мощный биологически активный слой [Хазиев, 1982].

Равномерность распространения микроорганизмов и ферментативной активности в антропогенно-преобразованных почвах отмечена многими авторами [Добровольская и др., 2001; Иванова и др., 2008; Лысак и др., 2004; Carter, 1986, 1992; Mikanova et al., 2009].

В работах различных авторов показано существенное уменьшение биомассы бактерий и микроскопических грибов в пахотных почвах даже при весьма непродолжительном сроке сельскохозяйственного использования [Полянская и др., 1997; Полянская, Звя-

гинцев, 2005; Лысак и др., 2004; Масютенко и др., 2008; Carter, 1986, 1992; Angers et al., 1993; Alvarez et al., 1995; Wardle, 1995; Kandeler, Bohm, 1996; Kandeler, Tscherko, Spiengel, 1999; Bardgett et al., 1996; Frey et al., 1999; Feng et al., 2003; Bittman et al., 2005; Mikanova et al., 2009; Jiang et al., 2011; и др.]. Но, если при распашке в почву вносятся органические удобрения, может происходить увеличение микробной биомассы [Mikha, Rice, 2004].

После забрасывания сельскохозяйственных полей происходит увеличение микробной биомассы. В большей степени это отражается на биомассе грибного мицелия, так как после прекращения распашки происходит восстановление сети грибных гиф [Allison et al., 2005; van der Wal et al., 2006; de Vries et al., 2007; Zarnozza et al., 2009].

Влияние распашки почв проявляется не только на количестве микробной биомассы, но и на структуре микробного сообщества почвы. Так, было показано, что таксономический состав бактериальных сообществ почвенных горизонтов целинных и пахотных почв очень близок, и представлен одним и тем же спектром доминантов *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Streptomyces*. Однако в результате антропогенной деятельности происходит изменение соотношения родов этих бактерий [Добровольская и др., 2001]. Кроме того, влияние сельскохозяйственного воздействия может выражаться и в увеличении доли отдельных групп микроорганизмов, например, коринеподобных бактерий, устойчивых к различным стрессам [Лысак и др., 2004; Ковалева и др., 2007].

Изменения в структуре микробного сообщества ведут и к изменениям ферментативной активности почв. При сельскохозяйственном освоении естественных ландшафтов без внесения органических удобрений ферментативная активность уменьшается. Как правило, в верхнем горизонте целинных почв она выше, чем в верхнем горизонте пахотных [Хазиев, 1982]. В нижележащих горизонтах наблюдается противоположная ситуация [Angers et al., 1993; Bandick, Dick, 1999; Kandeler, Stemmer, Klimanek, 1999; Kandeler, Tscherko, Spiengel, 1999; Roscoe et al., 2000; Dumontet et al., 2001], т.е. в пахотных почвах ферментативная активность по профилю распределяется более равномерно. Кроме того, влияние распашки не одинаково отражается на активности конкретного фермента, так, например, уреазная активность менее чувствительна к распашке, чем фосфатазная активность [Palma et al., 2000].

Распашка также может косвенно влиять на ферментативную активность через изменение структуры микробного сообщества [Acosta-Martinez et al., 2003]. Так, показаны изменения фосфатаз-

ной, дегидрогеназной, β -глюкозидазной и уреазной активности, вызванные распашкой пахотных почв, что было связано с изменением главных физиологических групп бактерий и грибов [Aon, Colaneri, 2001; Aon et al., 2001].

Дальнейшее изменение уровня ферментативной активности будет зависеть от характера использования почв: если в почву будут вноситься органические удобрения, то будет происходить увеличение ферментативной активности. В окультуренных почвах ферментативная активность вновь повышается и может превосходить активность целинных почв [Хазиев, 1982].

Влияние органических удобрений. В настоящее время существует целый ряд методов для реконструкции факта внесения навоза в древности [Bakels, 1997; Guttman et al., 2005]. Одним из первых методов, применяемых для идентификации древних удобряемых полей в окрестностях древних поселений, был фосфатный анализ, который был впервые использован А.Аррениусом в Швеции (в 1931 г.) и В.Лорхом в Германии (в 1940 г.). По повышенному уровню фосфатов в почвах устанавливали границы поселений, места содержания скота и древние удобряемые поля [Sjöberg, 1976; Widgren, 1983]. Позже было показано, что более надежным методом для выявления факта внесения навоза в почвы древних полей является соотношение органического фосфора и неорганического. Органические удобрения содержат большее количество органического фосфора, в то время как на поселениях фосфор, как правило, поступает в неорганической форме [Linderholm, 1997].

В последние десятилетия появился целый ряд методов для реконструкции этого агротехнического приема. К таким методам относятся: определение значений $\delta^{15}\text{N}$, микроэлементный анализ, изучение микроморфологии почв и свободных почвенных липидов (например: [Leonardi, 1999; Entwistle et al., 1998; Davidson, Carter, 1998; Wilson et al., 2008; Bull et al., 1999; Simpson et al., 1999; Meharg et al., 2006; Fraser et al., 2011; Kanstrup et al., 2014]). Для определения унаваживаемых полей также успешно использовался анализ распределения древних грибных спор [Innes, Blackford, 2003; Graf, Chmura, 2006]. На сегодняшний момент лучшим методом для выявления факта внесения навоза является липидный анализ, который позволяет установить различные виды навоза по происхождению [Simpson et al., 1999].

Ранее было высказано мнение, что для удобрения полей использовался стойловый навоз. К.К. Бейкелс предположил, что практика собирания экскрементов домашних животных для удобрения

полей было следствием содержания животных в загонах с целью производства молочных продуктов и их использования в качестве тяговой силы [Bakels, 1997]. В обзорной статье Е.Б. Гуттманна с соавторами [Guttman et al., 2005] были показаны существующие в настоящее время индикаторы внесения навоза в древности. Показано, что внесение стойлового навоза можно установить по повышению содержания фосфора [Nielsen, Kristiansen, 2014], присутствию куколок домашних мух [Nielsen et al., 2000], семян нитрофильных сорных трав [Vuurman, 1988], а также по семенам некоторых травянистых растений, растущих на постоянно удобряемых навозом полях [Rimantiene, 1994].

Новым подходом для выявления древних удобряемых полей может быть использование микробиологических индикаторов унавоживания. Этот подход основывается на предположении, что в структуре микробного сообщества почв может сохраняться информация о поступлении органических материалов. Известно, что внесение навоза в почву приводит к увеличению микробной биомассы и ферментативной активности [Bandick, Dick, 1999; Dodor, Tabatabai, 2003; Bastida et al., 2008].

Значительные поступления разнообразных органических материалов обычно стимулируют биологическую активность почвы, что приводит к увеличению микробной биомассы [Полянская и др., 1997; Масютенко и др., 2008; McGill et al., 1986; Schnurer et al., 1985; Dick et al., 1992; Kandeler, Eder, 1993; Rasmussen et al., 1994; Plaza et al., 2004; Guerrero et al., 2007; Melero et al., 2007; Liu et al., 2010; Giacometti et al., 2013]. Наиболее значительное увеличение микробной биомассы происходит вследствие внесения навоза, благодаря чему увеличивается содержание органического вещества в почвах, его наиболее лабильной фракции. В результате этого микроорганизмы обеспечиваются легкодоступными С и N, которые являются необходимыми элементами для поддержания их роста [Liang et al., 1998].

Внесение навоза приводит к увеличению микробной биомассы и в итоге стимулирует выработку ферментов, которые необходимы для разложения доступных субстратов. Это в конечном итоге приводит к увеличению ферментативной активности почв [Галстян, 1974; Dick et al., 1988; Martens et al., 1992; Miller, Dick, 1995; Friedel et al., 1996; Burket, Dick, 1998; Garcia et al., 1998; Bandick, Dick, 1999; Klose, Tabatabai, 1999; Pascual et al., 1999; Antonius, 2003; Bol et al., 2003; Dodor, Tabatabai, 2003; Bohme et al., 2005; Bastida et al., 2008; Liu et al., 2010; Moeskops et al., 2010].

Было показано, что длительное внесение навоза в течение более 100 лет, независимо от севооборота и системы землепользования, привело к увеличению фосфатазной, α -глюкозидазной, арилсульфатазной и уреазной активностей [Eivazi et al., 2003].

Различные ферменты могут по-разному отвечать на внесение органических удобрений. Так, уреазная активность в полевых условиях увеличивалась при внесении компоста садовых отходов, в то время как активность инвертазы существенно не изменялась [Antonius, 2003]. В другом исследовании показано существенное увеличение β -глюкозидазной, уреазной и фосфатазной активностей через две недели после внесения навоза, в то время как активность инвертазы и ксиланазы не изменялась [Vol et al., 2003]. Увеличение ферментативной активности свидетельствует об улучшении почвенных условий и (в случае с уреазной активностью) происходит за счет внесения уреалитических микроорганизмов вместе с навозом [Gianfreda, Ruggiero, 2006].

Однако ежегодное внесение органических удобрений может приводить и к уменьшению уровня ферментативной активности [Ruggieri, 1992; Marcote et al., 2001].

В другой работе [Crecchio et al., 2001] показаны лишь незначительные изменения β -глюкозидазной, нитратредуктазной, дегидрогеназной, уреазной, фосфатазной и протеазной активностей на обрабатываемых площадках, куда вносилось 12 т/га компоста; через 6 лет после начала эксперимента эти показатели практически не изменились.

Как уже было сказано, длительность применения органических удобрений может влиять на микробную биомассу, однако эти изменения не всегда сопровождаются изменением ферментативной активности почвы [Marschner et al., 2003].

Известно, что внесение в почву органических материалов приводит к резкому увеличению численности сапротрофных бактерий [Мишустин и др., 1979; Лысак и др., 2000] и доли целлюлазоразлагающих микроорганизмов в структуре микробного сообщества [Добровольская и др., 2001], а также появлению в значительных количествах специфических микроорганизмов, таких как термофилы [Мишустин и др., 1979].

Рассмотрим подробнее особенности изменения комплекса сапротрофных бактерий при внесении в почву органических материалов.

В первой фазе распада органических остатков, особенно растительного происхождения, в почвах преобладают неспорозные

бактерии, затем начинают размножаться аммонифицирующие бактерии рода *Bacillus*. Это связано с тем, что для их развития необходимо наличие в среде органического азота, т.е. они могут выдерживать конкуренцию с другими бактериями только при наличии в среде значительного количества белка. Но если в почву вносятся органические материалы, богатые белком, то бактерии рода *Bacillus* получают относительно хорошие возможности для быстрого размножения одновременно с неспорозоносными бактериями. Обычно же они появляются в бактериальном сообществе значительно позже, когда в среде накапливаются белковые продукты микробного синтеза. Примечательно, что в период размножения бациллярных форм в загрязненных органическими азотсодержащими веществами почвах лишь сравнительно небольшой процент их находится в покоящемся состоянии в виде спор, тогда как в незагрязненных почвах в состоянии спор пребывает значительная часть спорообразующих бактерий. В процессе самоочищения почвы происходит возрастание доли спор [Мишустин и др., 1979].

Об органическом загрязнении почвы может свидетельствовать наличие определенных видов микроорганизмов. Так, например, в почвах подзолистой зоны практически не встречаются бактерии группы *Bac. mesentericus* и *Bac. subtilis*, но они содержатся в большом количестве в навозе и компостах. Поэтому в окультуренных подзолистых почвах, куда вносились органические удобрения, наблюдается возрастание указанной группы бактерий [Мишустин и др., 1979].

Другим специфическим индикатором внесения в почву органических удобрений является численность термофильных микроорганизмов [Мишустин и др., 1979]. Термофильные микроорганизмы — это специфическая группа микроорганизмов, способных развиваться при высоких температурах. Термофилы представляют собой таксономически сборную группу. Наиболее богато они представлены среди бактерий. Значительное большинство теплолюбивых бактерий относится к роду *Bacillus*, но среди них встречаются формы не образующие спор.

Микроорганизмы с повышенным температурным оптимумом развития активно размножаются лишь в местах, имеющих высокую температуру. Попадая в субстраты внешней среды, имеющие низкую температуру термофильные микроорганизмы переходят в состояние покоя. Это позволяет использовать их в качестве показателя специфического загрязнения окружающей среды. В качестве очагов размножения термофилов и распространения их в

окружающей среде наибольшее практическое значение имеют навоз и всевозможные компосты. Присутствие теплолюбивых микроорганизмов установлено в почвах весьма различных широт, но их обилие зависит в первую очередь не от географических условий, а от степени сельскохозяйственного использования почв [Мишустин и др., 1979].

Таким образом, по наличию в почвах несвойственных им групп микроорганизмов и повышенному уровню ферментативной активности можно судить о масштабах поступления в почву различных органических материалов.

1.2. Трансформация микробных сообществ почв археологических объектов

Вопрос об изменении свойств микробных сообществ почв в результате древнего антропогенного воздействия недостаточно освещен в литературе.

По данной теме имеется ряд работ О.Е. Марфениной с коллегами, в которых были показаны существенные отличия в свойствах сообществ микроскопических грибов антропогенно-преобразованных почв поселений по сравнению с фоновыми аналогами [Марфенина и др., 2001, 2008; Иванова и др., 2006]. Так, авторами было установлено, что культурные слои древних поселений имеют специфические микологические свойства, которые могут быть использованы для индикации древних антропогенных воздействий.

К таким свойствам относятся видовой состав, различные показатели видовой (разнообразие, соотношение отдельных групп грибов, доминантные и индикаторные виды) и биоморфологической (соотношение спор и мицелия, размерные показатели спор) структур грибных сообществ.

Кроме того, было показано, что удачным примером микологической индикации почв древних поселений может быть использование группы кератинофильных грибов. Активное и обильное заселение кератиновых субстратов этими грибами позволяет дифференцировать участки культурного слоя, различные по интенсивности древнего хозяйственного использования [Иванова и др., 2006]. Авторами было показано, что в культурном слое аланских памятников Кисловодской котловины максимальная кератинолитическая

активность характерна для грунта пола жилых построек, а для грунта уличных проходов, перекрытий и обмазок были характерны значительно более низкие значения этого показателя [Иванова и др., 2006].

Этот метод был успешно применен также при изучении поселений кобанской культуры на культурном слое, возраст которого превышал 3000 лет [Борисов и др., 2013]. В работе были использованы методы почвенной микробиологии и энзимологии для выявления в культурном слое поселений мест, где мог содержаться скот. В таких ареалах в почву поступало значительное количество шерсти и мочевины, что вызывало всплеск численности кератинолитических грибов и уреазной активности. При этом, если повышенная плотность кератинолитических грибов в почве, вероятнее всего, является универсальным индикатором проживания человека на данной территории, то активность уреазы является более селективным показателем, отражающим интенсивность поступления в почву исключительно мочевины. Всплеск численности уринобактерий при попадании в почву мочевины приводил к резкому увеличению количества выделяемого этими микроорганизмами фермента уреазы и изменению ферментативного пула почвы [Борисов и др., 2013].

Варьирование значений уреазной активности культурного слоя на различных участках поселения дает возможность установить инфраструктуру памятника и выявить жилые и производственные зоны [Чернышева, Каширская и др., 2014; Чернышева, Борисов, Коробов, 2014], а также локализовать зону интенсивной хозяйственно-бытовой деятельности в некоторых случаях уточнить характер последней в связи с общей планировкой и расположением конкретных сооружений [Чернышева и др., 2012; Гак и др., 2014].

Для изучения последствий сельскохозяйственного воздействия на почвы в прошлом проводились работы по изучению микробиологических свойств окультуренных почв монастырей XVI–XVII вв. При исследовании окультуренной почвы Иверского монастыря была выявлена повышенная потенциальная биологическая активность погребенного пахотного горизонта агрозема по сравнению с современным горизонтом агрозема и почвой фоновой территории. Для погребенного пахотного горизонта была характерна большая численность бактерий и актиномицетов по сравнению с фоновой почвой [Новиков, Степанов, 2000]. В другой работе [Лысак и др., 2004] при исследовании древних окультуренных почв таежно-лесной зоны было выявлено, что в агростратоземах, в отличие от фоновых почв, наблюдалось более равномерное распределение общей

численности бактерий по профилю. Кроме того, таксономическая структура бактериальных комплексов агростратоземов имела существенные отличия от естественных аналогов: структура бактериального комплекса агростратоземов характеризовалась более высоким разнообразием и обилием коринеподобных форм.

Что же касается изучения влияния древнего антропогенного воздействия на ферментативную активность, то на этот счет имеется лишь работа [Dick et al, 1994], в которой было показано, что в почве заброшенной древней земледельческой террасы (около 1500 лет назад) сохранился высокий уровень фосфатазной и амидазной активностей, превышающий таковой для современной фоновой почвы и для почвы современной возделываемой террасы. Амидаза — это фермент, участвующий в минерализации органического азота. Высокий уровень амидазной активности авторы связывают с попаданием в почву больших количеств органических веществ, богатых азотом, таких как навоз, остатки бобовых растений, гуано. Эти материалы стимулируют развитие микрофлоры и связанную с ней ферментативную активность для гидролиза органического азота в его неорганические формы, доступные для растений. Кроме того, авторы указывают на то, что высокий уровень амидазной активности говорит о применении органических удобрений в прошлом и до настоящего времени влияет на функционирование почвенного микробного сообщества.

В другой же работе [Frankenberger, Dick, 1983] было показано, что внесенные органические удобрения даже через 400 лет влияют на уровень амидазной активности почвы, выведенной из сельскохозяйственного оборота.

Таким образом, основываясь на имеющихся литературных данных, а также на том положении, что в памяти почвы может сохраняться информация о факте поступления в нее какого-либо органического субстрата в виде количественных и качественных изменений свойств микробных сообществ, мы можем говорить о возможности проведения реконструкции характера древнего антропогенного воздействия, используя методы почвенной микробиологии. Для решения этой задачи могут успешно использоваться такие параметры микробного сообщества почвы, как биомасса и численность различных групп микроорганизмов, их соотношение, таксономическая структура, а также ферментативная активность почвы. Кроме того, представляется перспективным поиск специфических групп микроорганизмов — фитопатогенных грибов, термофильных бактерий и т.п.

Глава 2

Физико-географическая характеристика района исследований

Климат. Территория Кисловодской котловины закрыта горными массивами, обеспечивающими защиту от холодных ветров, благодаря чему в регионе создаются особые климатические условия. Климат региона умеренно континентальный. Среднегодовая температура около $+8^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность воздуха составляет 56–65%. Сумма температур выше 10° достигает 2400–2600 $^{\circ}\text{C}$. Количество солнечных дней в году около 300. Самые теплые месяцы — июль-август; в этот период среднедекадные температуры превышают 20°C . Среднедекадные температуры самого холодного месяца января на уровне -5°C (табл. 2.1) [Агроклиматические ресурсы..., 1971].

Продолжительность периода с температурой выше 0°C составляет около девяти месяцев. Безморозный период — 150–170 дней.

Таблица 2.1. Среднедекадные данные по температуре воздуха, $^{\circ}\text{C}$ (метеостанция г. Кисловодск)

Декада	Предел	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Первая	от	-4.5	-5	-1.5	5	11	14.5	17	19	14.5	10	4	-1.5
	до	-3.5	-4	-0.5	7	13	17	20	21.5	17	12	5.5	-0.5
Вторая	от	-5	-4.5	0.5	7	12.5	15	18	18	12.5	8.5	2	-3
	до	-4	-3.5	2	9	14.5	18	21	20.5	15.5	10	3.5	-2
Третья	от	-5	-3.5	2.5	9	13.5	16	19	16.5	11	6.5	0	-4
	до	-4.5	-2.5	4.5	11	16	19	21.5	19	14	7.5	1.5	-3

Давление воздуха в г. Кисловодске относительно низкое — 692 мм рт. ст.

По условиям влагообеспеченности район влажный (ГТК 1.3–1.5). Сумма осадков около 600 мм/год (табл. 2.2), из них бóльшая часть выпадает весной и в начале лета [Агроклиматические ресурсы..., 1971].

Таблица 2.2. Среднегодовые декадные суммы осадков, мм (метеостанция г. Кисловодск)

Декада	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Первая	4	4	6	11	26	35	34	26	19	13	7	6	
Вторая	4	4	6	14	32	36	33	23	18	11	6	5	
Третья	4	5	9	18	34	35	30	21	15	8	6	5	
<i>Всего</i>	12	13	21	43	92	106	97	70	52	32	19	16	573

Начало осени во второй декаде сентября характеризуется устойчивой теплой и солнечной погодой. В середине октября температура воздуха переходит через 10 °С; отмечаются первые заморозки; дожди приобретают обложной характер.

Зима наступает в последних числах ноября — первой декаде декабря. Устойчивый снежный покров образуется во второй половине декабря, его высота составляет 15–20 см. Периодически случаются оттепели с температурами воздуха до 5–10 °С.

Весна наступает во второй половине марта; к этому времени разрушается устойчивый снежный покров, очень быстро нарастает тепло. К началу третьей декады апреля температура воздуха устойчиво переходит 10°.

В летний период со второй половины июня устанавливается умеренно жаркая погода, осадки носят преимущественно ливневый характер.

Рельеф и геологическое строение. Горную страну Кавказ традиционно разделяют на Большой Кавказ, Закавказскую депрессию, Закавказское нагорье и Талышские горы [Думитрашко, 1966]. Наибольшими высотами характеризуется главная часть Кавказской горной страны — Большой Кавказ, протяженность которого 1500 км.

Большой Кавказ подразделяется на Западный, Центральный и Восточный Кавказ. Их границами служат горы Эльбрус и Казбек, расположенные между долинами рек Кубани и Терека и отделяющие соответственно Западный Кавказ от Центрального и Центральный от Восточного. В орографическом плане в горной системе

Большого Кавказа выделяются две основные части — Северный Кавказ или Предкавказье и Закавказье.

Северный Кавказ представляет собой равнину, которая имеет значительный подъем до 600–800 м над уровнем моря в районе г. Ставрополя (Ставропольское плато или Предкавказская возвышенность) и круто обрывается в южном направлении к долинам рек Кубани и Кумы [Шукин, 1926]. На южной окраине Ставропольского плато и находится Кисловодская котловина, входящая в район Кавказских Минеральных Вод.

Этот район входит в состав Северо-Кавказской моноклинали и представляет собой обширное, наклоненное с юга на север предгорное плато, начинающееся у подножия Эльбруса и оканчивающееся севернее г. Минеральные Воды, начинаются степи Ставропольской возвышенности. Наклон плато обусловлен поднятием Центрального Кавказа и в районе Кисловодской котловины составляет 5–6°.

В южной части Северо-Кавказской моноклинали расположен Скалистый хребет с максимальными высотами 2591 и 2642 м, южный склон которого крутой, часто отвесный, с перепадом высот до 1000 м. Северный склон, так называемое Бермамытского плато, представляет собой наклоненную к северу равнину, и в районе г. Кисловодска граничит с Пастбищным хребтом с вершинами в 1500 м.

Севернее г. Кисловодска Пастбищный хребет разделяется на Боргустанский и Джинальский хребты с максимальными высотами 1544 и 1425 м соответственно, окружающие Кисловодскую котловину.

Бермамытское плато разрезано глубокими долинами рек Эшкакон, Аликоновки и Березовой, которые образовали глубокие каньонообразные ущелья с отвесными склонами.

Таким образом, исследуемый регион представляет собой куэстовую область северного склона Большого Кавказского хребта, полого наклоненную с юго-запада на северо-восток (рис. 2.1). Согласно принятому делению на высотные зоны, северная часть Кисловодской котловины в районе г. Кисловодска с высотами от 600 до 1500 м относится к горной зоне, а южная часть с высотами от 1500 до 2600 м соответствует высокогорной зоне [Калоев, 1981].

Геологическое строение Кисловодской котловины довольно сложное. Наиболее древние отложения соответствуют верхнему отделу юрского периода. К ним относятся пестро окрашенные бурые, красные, серые и зеленоватые алевролиты, песчаники, гравелиты, брекчия и красная дресва [Геология СССР, 1968, т. 9]. Эти отложения вскрываются в долинах рек Аликоновки и Березовой.

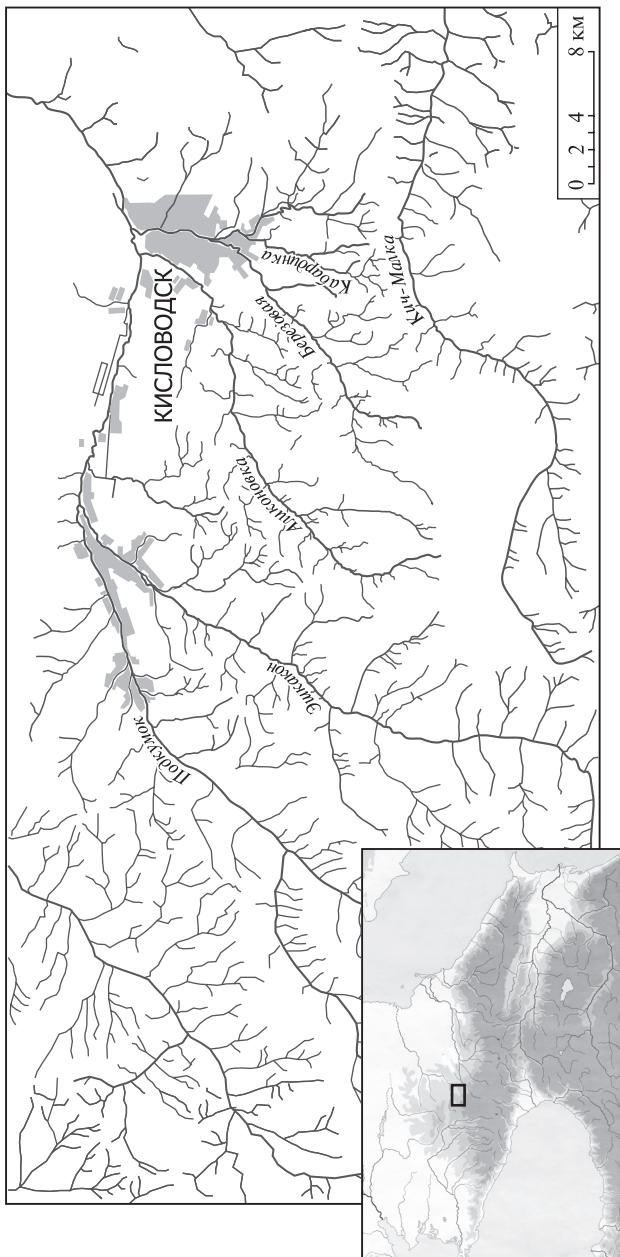


Рис. 2.1. Кисловодская котловина

Большая часть территории сложена отложениями нижнемелового периода. Среди них преобладают песчано-глинистые породы; карбонатные осадки довольно редки и встречаются только в самых нижних слоях, где преимущественно развиты доломитизированные светло-серые кварцево-известковистые песчаники и известняки. Зачастую эти отложения перекрываются мощной толщей буровато-серых, желтовато-серых и кремневых доломитизированных известняков и мергелей с прослоями темно-серых и зеленовато-серых карбонатных глин. В отдельных местах эти отложения перекрываются слоями оолитовых известняков, глинистых песчаников и песчаных глин. Песчаные оолитовые известняки бурого цвета перестилаются слоями глинисто-известковистых темно-серых тонкозернистых песчаников.

Наиболее поздние слои нижнемеловой системы представлены песчаниками и песчанстыми глинами. Эти отложения встречаются преимущественно в северо-восточной части Кисловодской котловины. Там же вскрываются рыхлые серые и зеленовато-серые глауконитово-кварцевые песчаники и песчанстые глины. Нижнемеловые отложения перекрываются четвертичными породами аллювиальной и делювиальной природы, которые распространены локально, не образуют сплошного ковра и развиты преимущественно по долинам рек и балок, а также в нижней части склонов.

Отложения верхнего мелового периода в районе Кисловодской котловины южнее р. Подкумок практически полностью отсутствуют. Эти породы слагают Боргустанский хребет и вскрываются лишь севернее г. Кисловодска, где они представлены выходами мелоподобных известняков.

Гидрография. Главной водной артерией района является р. Подкумок — крупнейший правый приток р. Кумы. В районе г. Кисловодска в р. Подкумок впадает р. Аlikоновка, долина которой очень глубоко врезана; склоны крутые и обрывистые; р. Аlikоновка имеет большое количество притоков, большая часть которых также глубоко врезана в коренные породы [Агроклиматические ресурсы..., 1971].

В черте города в р. Подкумок впадает также р. Березовая. Долина ее в верхнем течении также очень глубока. Река Березовая принимает несколько довольно значительных притоков, среди которых реки Белая и Кабардинка со своими притоками Ольховкой и Сухой Ольховкой. Южной границей Кисловодской котловины принято считать долину р. Кич-Малки.

Питание рек в большинстве случаев грунтовое, значительную роль в питании рек играют и атмосферные осадки. Режим увлажненности неустойчивый, со значительными колебаниями, и зависит от метеорологических условий. Химический состав вод региона и степень минерализации вод рек чрезвычайно неоднородны.

Водность рек исследуемого района очень неустойчива; характерны летняя и зимняя межень и довольно бурное весеннее половодье, которое начинается в середине февраля и заканчивается в конце марта. После спада весеннего половодья устанавливается летне-осенняя межень, прерываемая повышением уровней в период ливневых дождей.

Растительность. Район исследования относится к Кисловодскому флористическому району Эльбрусского округа Эльбрусской подпровинции Кавказской провинции. При этом собственно Кисловодский район подразделяется на Дарьинский, Боргустанский и Джинальский подрайоны [Галушко, 1976; Иванов, 1998].

Флора Дарьинского подрайона представлена 1172 видами. Из них 15 встречаются только в этом подрайоне. В южной части подрайона на Дарьинских высотах расположены крупные лесные массивы, с участием реликтовых видов клена светлого (*Acer laetum*), рябины глоговина (*Sorbus torminalis*), тиса ягодного (*Taxus baccata*), пиона кавказского (*Paeonia caucasica*), хмелеграба обыкновенного (*Ostrya carpinifolia*) и некоторых других. На севере подрайона развиты остепненные луга и луговые степи. Встречаются смешанные группировки с субальпийскими элементами. Так, на горе Бекет южнее ст. Бекешевской вместе с катраном Стевена (*Crambe steveniana*) и ковылем красивейшим (*Stipa pulcherrima*) встречаются оносма кавказская (*Onosma caucasica*) и горечавка семираздельная (*Gentiana septemfida*).

Боргустанский подрайон ограничен с юга Боргустанским хребтом, постепенно снижающимся к г. Ессентуки, с севера — долиной р. Бугунты. Район практически безлесный, отдельные лесные массивы встречаются по балкам. Характерно развитие петрофильных группировок на южных склонах хребта, а также остепненных лугов и луговых степей. Во флоре подрайона насчитывается 1211 видов, из них 25 характерны только для этого подрайона.

Джинальский подрайон охватывает высокогорья Кабардинского и Джинальского хребтов и их отрогов, тянущихся от г. Кисловодска по правобережью р. Подкумок с севера и р. Джуцы с востока. Для района характерно развитие субальпийских лугов и небольших лесных массивов на северных склонах и плато, а также петрофильных

группировок на южных склонах. По количеству видов является самым богатым в Кисловодском флористическом районе. Его флора насчитывает 1334 вида, из них 97 в других подрайонах не встречаются.

Почвенный покров. Согласно почвенно-географическому районированию горных систем по типам вертикальной зональности, территория Кисловодской котловины относится к Северо-Кавказской провинции Большого Кавказа [Фридланд, 1986]. Почвенный покров здесь представлен мало- и среднемощными дерново-карбонатными выщелоченными и типичными почвами на элювии известняков, а также мало- и среднемощными горными черноземами на элюводелювии глин и песчаников нижнего мела.

Для дерново-карбонатных почв характерна темная окраска и комковато-зернистая структура верхнего гумусового горизонта. Мощность его зависит от глубины залегания плотных невыветрившихся пород. Эти почвы обычно маломощны и сильно скелетны; содержание гумуса составляет 4–6%, азота — 0.2–0.3%; подвижных форм фосфора очень мало. Емкость поглощения составляет 40–60 мг-экв на 100 г почвы. В составе поглощенных катионов преобладают кальций и магний, насыщенность высокая, реакция в верхних горизонтах слабощелочная, в нижних щелочность возрастает [Казеев и др., 2004].

Горные черноземы залегают в районах с высотными отметками над уровнем моря от 1000 до 1500 м [Антыков, Стоморев, 1970]. Они приурочены к платообразным вершинам Пастбищного хребта к востоку от р. Кубани и к вершинам горных массивов Скалистого хребта к западу от р. Кубани. Эти почвы можно встретить повсеместно в юго-западной части Предгорного района, в районе Боргустанского плато, в северной части Малокарачаевского района. Горные черноземы залегают по речным долинам, вогнутым южным, восточным и западным склонам, на платообразных вершинах.

Материнскими породами служат чаще всего карбонатные продукты выветривания древних осадочных пород: известняки, доломиты, мергели, перекрытые глинами и суглинками.

Горные черноземы развиваются под разнотравной луговой растительностью.

Особенностью горных черноземов является укороченность почвенного профиля. Мощность горизонта А колеблется от 10 до 35 см, горизонтов А + В — 40–70 см. На пониженных элементах рельефа иногда встречаются черноземы с мощностью более 1 м. По грану-

лометрическому составу они разнообразны, преобладают суглинистые, часто в разной степени каменисто-щебенчатые. Структура прочная, зернистая.

Для всех горных черноземов характерным является высокое содержание гумуса, варьирующее в зависимости от крутизны и экспозиции склона от 5.5 до 12–15%. Горные черноземы бедны фосфором. Валовое его содержание колеблется от 0.05 до 0.10%, содержание подвижных фосфатов также невелико. Содержание общего азота в верхнем горизонте варьирует от 0.2 до 0.5%.

Характерной особенностью почвенного покрова Кисловодской котловины является его значительная нарушенность в результате активного сельскохозяйственного использования в кобанскую и аланскую эпохи [Борисов и др., 2012; Борисов, Коробов, 2013]. Это привело к тому, что на значительной части региона не удастся найти фоновых почв, не испытавших антропогенного воздействия в прошлом. Индикатором сельскохозяйственного воздействия является большое количество керамики, которая практически повсеместно обнаруживается в почве. В этой связи в качестве фоновых участков выбирались почвы на поверхности водоразделов на максимальном удалении от древних поселений.

Глава 3

Объекты и методы исследования

3.1. Объекты исследований

Объектами исследований послужили почвы и культурные слои следующих ключевых участков: Подкумское-2, Подкумское-3 и Подкумское-7. Следует еще раз подчеркнуть, что в истории развития почв на этих объектах был лишь один этап антропогенного воздействия, и этот этап пришелся на аланскую эпоху (II–VIII вв. н.э.). Ни до этого, ни после этого вплоть до настоящего времени на территории исследуемых ключевых участков не осуществлялась интенсивная сельскохозяйственная деятельность, способная вызвать заметные изменения почвенных свойств. На всех ключевых участках исследуемые территории использовались в качестве нерегулярных сенокосов и выпасов. В этом заключается уникальность исследуемых почв, представляющих собой образец залежи возрастом около 1500 лет.

В рамках данной работы объекты исследований можно разделить на два типа — культурные слои поселений и почвы древних земледельческих полей.

В качестве ключевого участка для изучения свойств культурных слоев было выбрано укрепление Подкумское-2. Этот объект является примером поселений без выраженной хозяйственной зоны.

Анализ подъемного материала и шурфовка вблизи поселения не позволили обнаружить керамику в почве или иные признаки земледелия в аланскую эпоху. Это могло быть связано с почвенно-ландшафтными условиями — расположением памятника на склоне южной экспозиции, подверженном сильному иссушению в

летний период, чему во многом способствовали почвообразующие породы, представленные мощным чехлом элюво-делювия мела с очень неблагоприятными водно-физическими свойствами и провальным характером водного режима. Могли играть свою роль и социально-политические причины, так как это поселение — один из первых аланских памятников в Кисловодской котловине, относящихся к периоду проникновения аланского населения на новые территории [Коробов, 2013, 2014, 2016б, т. 1 (в печати)]. Возможно, некоторая политическая нестабильность, возникающая в таких ситуациях, не позволяла населению заниматься земледелием. Однако, благодаря тому, что данный памятник расположен в условиях умеренной эрозии, на нем сохранился довольно мощный культурный слой, который, как правило, отсутствует в аланских раннесредневековых памятниках V–VIII вв. Поэтому поселение Подкумское-2 в данной работе рассматривается с позиций изучения селитебного воздействия на почвы и исследования химических и микробиологических свойств культурного слоя.

Что касается сельскохозяйственного воздействия на почвы в древности, то для изучения этого типа антропогенного воздействия были выбраны почвы вблизи двух поселений более позднего времени, относящихся к периоду полного освоения Кисловодской котловины аланским населением в V–VIII вв. н.э.

Как было указано выше, на поселениях этого времени практически не сохраняется культурный слой, так как большинство из них расположено на мысовых участках, ограниченных с трех сторон отвесными скальными обрывами, а с напольной стороны — ровом и каменными стенами с башнями [Коробов, 2014, 2016б, т. 1 и 2 (в печати)]. В этих условиях культурный слой не перекрывается наносами, и к настоящему времени оказывается полностью разрушенным. Но в окрестностях этих поселений всегда обнаруживается выраженная хозяйственная зона, которая маркируется большим количеством керамики в почвах. Керамика попадала в почвы вместе с навозом с поселений и может служить индикатором внесения органических удобрений [Wilkinson, 1982]. Данное наблюдение подтверждается исследованием серии поселений V–VIII вв. н.э. в Кисловодской котловине [Борисов, Коробов, 2009, 2013; Коробов, Борисов, 2012].

Рассмотрим антропогенные изменения химических свойств и биологической активности почв и культурных слоев древних поселений.

3.1.1. Культурные слои поселений и современные антропогенно-преобразованные почвы

3.1.1.1. Ключевой участок Подкумское-2

Памятник обнаружен Д.С. Коробовым в 2000 г. и зафиксирован как поселение Джагинское-5 [Афанасьев и др., 2004]. Тогда были найдены выходы культурного слоя темно-серого цвета, мощностью до 40 см, многочисленные сооружения из речной гальки и собран подъемный материал. В качестве укрепления он был распознан на аэрофотоснимке 1970 г. В 2009 г. был совершен рекогносцировочный осмотр для проверки результатов дешифрирования, в процессе чего повторно собирался подъемный материал — более 50 фрагментов керамики, из которых несколько относятся к раннему этапу аланской культуры. По своим топографическим и фортификационным особенностям данное городище было отнесено нами к II–IV векам н.э.

Детальное обследование памятника совершено в 2012 г., тогда же составлено более подробное описание, проведены его инструментальная топографическая съемка, шурфовка и фотофиксация видимых на поверхности объектов. Подробное описание городища можно найти в подготовленном к публикации каталоге раннесредневековых поселений Кисловодской котловины [Коробов, 2016б, т. 2 (в печати)].

Городище занимает мысовую площадку подтреугольной формы общими размерами 140×165 м, расположенную на первой террасе левого берега р. Подкумок в 650 м к северо-западу от окраины пос. Конзавод (Красный Курган) Малокарачаевского района Карачаево-Черкесской республики. Оно отделено от напольной стороны ровом, по дну которого проходит проселочная дорога (рис. 3.1 и 3.2, см. цв. вкл.). Ров имеет внушительные размеры и скорее всего является древней балкой, склоны которой были подработаны путем эскарпирования. Его длина по линии северо-восток–юго-запад достигает 170 м, ширина в средней части — 50 м, глубина 10–12 м. Склоны площадки городища также имеют значительную крутизну за счет эскарпирования, особенно с южной и западной сторон. Склон с восточной стороны менее крутой и высокий — возможно, именно через него осуществлялся заезд на площадку городища.

Растительный покров на территории поселения представлен злаково-разнотравной ассоциацией с заметной долей ксерофитов.

Площадка городища неровная, она покрыта остатками строений, которые прослеживаются на поверхности в виде ряда западин, отдельных задернованных возвышенностей от развалов построек из речной гальки. Эта часть поселения была условно названа «первой зоной освоения». При этом примерно $\frac{1}{3}$ площадки с юго-западной стороны не имеет на поверхности видимых сооружений, что также прослеживается на аэрофотоснимке. Эта часть поселения была условно названа «второй зоной освоения».

Всего на площадке было зафиксировано десять небольших возвышенностей — задернованных каменных развалов, условно обозначенных как «башни», и 11 западин, которые окружались невысокими развалами каменных стен, также задернованных. В «башне» 7 в грабительской яме была расчищена хозяйственная яма колоколовидной формы глубиной около 1.5 м, в которой найдены многочисленные фрагменты керамики.

Для определения мощности культурного слоя городища и времени его функционирования были заложены шурфы 1 (разрез Б-338) и 2 (разрез Б-341) размерами 2×2 м. В шурфе 2 на юго-западной оконечности площадки городища была расчищена хозяйственная яма округлой формы диаметром 1.2 м и глубиной 2.0 м от уровня материковой скалы. Из ямы происходит богатая коллекция находок — 242 фрагмента керамики, 58 фрагментов глиняной обмазки, 435 костей животных, халцедоновая бусина, фрагмент каменной зернотерки. В Киевской радиоуглеродной лаборатории получены две радиоуглеродные даты по кости животных из пласта 6 (Ki-18039: 1770±40 BP; 18 180–190 AD; 210–350 AD; 28 130–390 AD) и 9 (Ki-18037: 1840±60 BP; 18 80–110 AD; 120–250 AD; 28 20–40 AD; 50–350 AD). Таким образом, описанное укрепление относится к земляным городищам раннего этапа аланской культуры (II–IV вв. н.э.) [Коробов, 2014, 2016б, т. 1 (в печати)].

Для изучения химических и микробиологических свойств культурных слоев поселения и почв на прилегающих к памятнику участках была заложена серия разрезов.

Разрез Б-338 (Шурф 1)

Разрез культурного слоя расположен у стенки большой западины, ограниченной со всех сторон развалами стен.

Мощность почвенного профиля до 40 см.

С поверхности имеется дерновый слой Ад мощностью до 10 см. Ниже залегает горизонт А1 — свежий, темно-серый, супесчаный, комковато-зернистый, уплотнен, с небольшими включениями щебня. В большом количестве встречаются корни. В слое 10–30 см встречаются в большом количестве крупные камни развала стен постройки. Нижняя граница ровная, переход заметный по увеличению щебнистости.

Под камнями на глубине 30–35 см сохранился культурный слой, который оказался вмещенным в горизонт АС современной почвы. Горизонт АС свежий, серый, супесчаный, комковато-глыбистой структуры, уплотненным, с обильными включениями элювия мелоподобных известняков. С глубиной доля мелового делювия увеличивается, цвет становится более светлым до грязно белого. Редкие корни. Весь профиль вскипает от соляной кислоты. Культурный слой морфологически не обособляется от почвенной массы вследствие глубокой проработки почвообразованием и фиксируется лишь по обильным фрагментам керамики и костей животных.

Почва — дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюводелювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из горизонтов Ад, А1 и АС.

Разрез Б-339

Разрез был заложен в 500–700 м от поселения выше по склону за пределами потенциальной хозяйственной зоны древнего поселения на участке современной залежи. Возраст залежи около 30 лет. Растительный покров представлен злаково-разнотравной ассоциацией со следами пастбищной депрессии. Много пастбищных сорняков.

Мощность почвенного слоя 23 см.

Дернина слабо оформленная, прослеживается фрагментарно. Горизонт А1 свежий, серый с белесоватостью от карбонатов, супесчаный, комковато-призмовидной и мелкоглыбистой структуры. Уплотнен. Вскипает от соляной кислоты. В большом количестве встречаются корни. Щебнистость около 50%. Нижняя граница ровная. Переход ясный по цвету и характеру материала. В результате распашки горизонт АС полностью разрушен, припахана верхняя часть горизонта С.

Почва — дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюводелювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из слоя 0–10 и 10–23 см.

Разрез Б-340

Разрез расположен в 200–300 м к северо-востоку от поселения Подкумское-2, на краю балки за пределами зоны современной пашни. Преимущественно злаковая растительная ассоциация с редкими пастбищными сорняками. Данный разрез является эталонным разрезом современной почвы, так как вся остальная территория, прилегающая к поселению, распаивалась в современное время. В сельскохозяйственном отношении представляет собой выпас.

В почве выделяются следующие генетические горизонты:

Ад 0–3 см.

A1 3–10 см — темно-серый, супесчаный, комковато-зернистой структуры. Вскипает от соляной кислоты. Встречаются корни растений. Влажноват. Уплотнен. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и резкий по появлению многочисленных фрагментов мела.

AB 10–25 см — свежий темно-серый, супесчаный, немного светлее, чем A1, более прочной и крупной структуры, комковатый. Щебнистый, доля камней в слое 10–15 см — около 50%, в слое 15–25 — более 50%. Очень плотный. Размер щебня в среднем 15–30 мм, со сглаженными ребрами. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и сложению.

AC 25–35 см — делювий мелоподобного известняка, свежий, серовато-палевый, с малой долей легкосуглинистого материала. Постепенно переходит в чистый элюво-делювий мелоподобного известняка.

Почва — дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из слоя 0–10, 10–25 и 25–35 см.

Разрез Б-341 (Шурф 2)

Профиль почвы описан по восточной стенке археологического шурфа на юго-западной части поселения во второй зоне освоения. На этом участке не видны контуры развалов построек, что позволяет предполагать иной характер использования территории в аланское время (II–IV вв. н.э.). Шурфом вскрыт мощный культурный слой, насыщенный керамикой и костями животных. Профиль монотонный, без четких границ генетических горизонтов. Почвообразованием переработана только верхняя часть культурного слоя до глубины 45 см. Ниже сохранился культурный

слой поселения, который включен в горизонт АВ современной почвы. В профиле выделяются следующие горизонты:

Ад 0–6 см.

А1 6–45 см — свежий, серый, супесчаный, непрочной комковато-порошистой структуры. Структурные отдельности разного размера с многочисленными включениями мелких фрагментов мелоподобного известняка, размер в среднем 2–3 см. В слое много мелких костей животных и фрагментов керамики. Характерно уменьшение степени проработки слоя почвообразованием с глубиной. На глубине 30–40 см материал горизонта лишь частично переработан почвообразованием. Нижняя граница ровная, переход постепенный по неоднородности слагающего материала.

АВ 45–90 см — культурный слой поселения без следов почвообразования. Пепельно-серый, неоднородный супесчаный, с глубины 60 см отмечается некоторое утяжеление гранулометрического состава, бесструктурный, пылеватый, свежий, слабо уплотнен. Насыщен керамикой, костями животных. Нижняя граница слабоволнистая, переход резкий. Подстиляется элюво-делювием мелоподобного известняка без переходных горизонтов.

Почва — дерново-карбонатная типичная супесчаная с включенным культурным слоем на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Отбор образцов проводили через каждые 10 см.

Разрез Б-342

Разрез расположен на узком, вытянутом в направлении северо-восток — юго-запад останце, находящемся севернее поселения. Отделен от поселения и прилегающих территорий глубокими оврагами с крутыми откосами. Благодаря изолированности данный участок лишь эпизодически используется под выпас, что хорошо заметно по большей густоте растительного покрова. Участок расположен в зоне наименьшего антропогенного воздействия и может рассматриваться как фоновый. Растительный покров преимущественно разнотравно-злаковый. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–4 см.

А1 4–9 см — свежий, темно-серый, супесчаный, комковато-зернистой структуры, с единичными мелкими фрагментами мелоподобного известняка. Много корней, уплотнен. Встречаются копролиты размером 3–4 мм. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету, структуре и появлению обильных камней и щебня.

АВ 9–22 см — свежий, серый с белесоватостью от карбонатов, супесчаный, прочной крупно-комковатой структуры. Содержание щебня более 50%, очень плотный, в нижней части цементированный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

АС 22–33 см — свежий, палево-серый с постепенным увеличением размеров камней и уменьшением серых тонов в окраске с глубиной. Представлен элюво-делювием мелоподобного известняка палево-серого цвета. Содержание щебня более 70%.

Почва — дерново-карбонатная типичная супесчаная на элюво-делювии мелоподобных известняков.

Образцы отбирали из слоев 0–10, 10–22, и 22–33 см.

3.1.2. Почвы древних земледельческих угодий

В качестве ключевых участков для изучения влияния древнего земледелия на свойства почв были выбраны укрепления аланской культуры Подумское-3 и Подкумское-7.

3.1.2.1. Ключевой участок Подкумское-3

Подумское-3 обнаружено при дешифрировании аэрофотосъемки 1975 г., осмотрено нами в 2009 г., тогда же составлено его первичное описание [Коробов, 2016б, т. 2 (в печати)]. Более детальное исследование памятника, включавшее инструментальную топосъемку и шурфовку, а также почвенно-археологическое изучение потенциальных сельхозугодий проводилось в 2012 г.

Каменная крепость занимает две скальные площадки, находящиеся на левом берегу р. Подкумок на скальном мысу, отделенном правым берегом ручья, впадающего в Подкумок. Через ручей устроен железобетонный мост, находящийся на трассе Терезе — Верхняя Мара, примерно в 3 км от пос. Терезе Малокарачаевского района Карачаево-Черкесской Республики. На верхнюю площадку мыса ведет проселочная дорога.

На верхней площадке сохранились развалины сооружений — двух каменных башен внушительных размеров, нескольких построек и стен, перегораживающих удобные подходы на поселение. Для выяснения стратиграфической ситуации на верхней и нижней площадках укрепления были разбиты шурфы 1 и 2 размерами 2×2 м, ориентированные по сторонам света.

В шурфах найдены фрагменты керамики эпохи раннего Средневековья (V–VIII вв.) и кости животных, по которым в Киевской радиоуглеродной лаборатории получены радиоуглеродные даты (Ki-18036: 1540±60 BP; 1δ 433–574 AD; 2δ 408–638 AD и Ki-18038: 1130±40 BP; 1δ 881–980 AD; 2δ 780–991 AD).

Укрепление расположено на мысовой части склона северо-восточной экспозиции. К юго-западу от поселения расположена обширная территория, потенциально пригодная для земледелия, с уклоном около 3–5°. На расстоянии около 1000 м от поселения уклон местности возрастает; далее на расстоянии 1500–2000 м расположен водораздел, северный склон которого обращен к поселению Подкумское-3, а южный, более крутой, — к поселению Подкумское-7 (рис. 3.3, см. цв. вкл.).

Укрепление Подкумское-7 также выявлено при дешифрировании аэрофотосъемки в 2010 г. [Коробов, 2016б, т. 2 (в печати)]. Памятник занимает две площадки на краю скального мыса на высоком левом берегу р. Подкумок. Верхняя площадка перегорожена мощной каменной стеной, сохранившейся в виде развала длиной свыше 20 м, и высотой до 1.5 м, к которой примыкала каменная башня. На нижней площадке укрепления был устроен разведочный шурф, в котором расчищен участок каменной стены и обнаружены фрагмент каменного жернова, а также многочисленная керамика эпохи раннего Средневековья (V–VIII века н.э.). По костям животных из шурфа получена радиоуглеродная дата: Ki-18035: 1310±60 BP; 1δ 657–772 AD; 2δ 635–876 AD.

Поселения Подкумское-3 и Подкумское-7 расположены на мысовых участках в северо-восточной и юго-западной частях куэсты, ограниченной с севера балкой Темризова, с востока — долиной р. Подумок и с юга — безымянной балкой (см. рис. 3.3). Расстояние между поселениями около 3.5 км. На мысовых участках куэсты почвообразующими породами являются выходы плиты известковистого песчаника с разной мощностью слоя делювия; на присклоновых участках почвообразующие породы представлены элюво-делювием алевролитов и глин, перестилаемыми бронирующими пластами песчаника; водораздельная территория сложена делювием известняков и песчаников.

Куэстовая область имеет естественный уклон на уровне 4–5°, что связано с общим для данного региона поднятием пластов горных пород на 5–6° при формировании Большого Кавказа. Это обстоятельство определяет разную направленность эрозионно-аккумулятивных процессов в окрестностях поселений. В окрест-

ностях поселения Подкумское-3 эрозионные процессы ориентированы в северном направлении, в окрестностях поселения Подкумское-7 — в южном. Наличие уклона местности не отражается на состоянии почвенного покрова в настоящее время, так как дернина мощностью до 10 см исключает эрозионный перенос мелкозема. Однако в период функционирования поселений и регулярной пахоты уклон местности обусловил заметные эрозионно-аккумулятивные процессы, в первую очередь — на полях в окрестностях поселения Подкумское-7, где активная эрозия привела к тому, что на отдельных участках почвенный покров был в значительной мере нарушен.

Для определения границ потенциальной земледельческой зоны поселений была заложена серия почвенных разрезов с целью изучения свойств почв и анализа керамики, которая попадала в почвы вместе с навозом с поселений и может служить индикатором внесения органических удобрений [Wilkinson, 1982]. Потенциальная сельскохозяйственная зона поселения Подкумское-3 могла располагаться лишь с юго-западной стороны, поселения Подкумское-7 — с северо-восточной (см. рис. 3.3). На этих участках выполнена серия почвенных разрезов с целью установления зоны распространения керамики в окрестностях поселения. Анализ керамики из разрезов Б-239, Б-235, Б-236, Б-237, Б-238, Б-351, Б-352, Б-353, Б-350, Б-346, Б-347, Б-344, Б-345 и Б-348 и сбор подъемного материала в окрестностях поселения Подкумское-3 позволил установить, что земледельческие поля располагались в пределах километровой зоны, причем большая часть керамики обнаружена на удалении не более 600 м. Близкая ситуация отмечена для поселения Подкумское-7, где были заложены разрезы Б-354, Б-355, Б-356, Б-357 и Б-358.

Для изучения морфологических, химических свойств почв и биологической активности в окрестностях поселения Подкумское-3 (рис. 3.4, см. цв. вкл.) из серии разрезов, приведенных выше, были выбраны разрезы, образующие единую катену, длиной около 3000 м и ориентированную в направлении водораздел–мыс.

Рассмотрим морфолого-генетические свойства почв по данной катене.

Разрез Б-344

Разрез расположен в 100–150 м от поселения Подкумское-3. В почве обнаружено значительное количество керамики, что ука-

зывает на длительное использование территории в качестве пахотного угодья. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–5 см.

А1 5–20 см — свежий, темно-серый до черного, легкосуглинистый, крупно-комковато-зернистый, с тенденцией образования вертикальных блоков в нижней части. На гранях структурных отдельностей — белесоватый налет, структура непрочная, при разминании распадается на мелкокомковато-порошистые отдельности. Внутрипедная масса не вскипает, нижняя граница волнистая, переход ясный по появлению фракции известнякового песчаника разного размера, насыщен керамикой, встречается мелкие камни, кости.

АС 20–27 см — свежий, темно-серый до черного, супесчаный, крупнокомковато-зернистой непрочной структуры. Отличается большим количеством мелких и крупных фрагментов известковистого песчаника. Вскипает от соляной кислоты. С глубины 27 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва — чернозем горный неполноразвитый легкосуглинистый на элюво-делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали из горизонтов А1 и АС.

Разрез Б-345

Разрез расположен в 50–70 м от поселения в зоне наиболее интенсивного антропогенного воздействия в V–VIII вв. н.э. Очень много фрагментов керамики.

Ад 0–10 см.

А1 10–20 см — свежий, темно-серый, супесчаный, непрочной крупно-комковато-зернистой структуры. На гранях структурных отдельностей белесоватый налет. Не вскипает. Встречаются мелкие камни, кости. Нижняя граница волнистая, переход ясный цвету, структуре и сложению.

АС 20–33 см — свежий, темно-серый с постепенным уменьшением доли темных тонов в окраске с глубиной, супесчаный, комковато-зернистой непрочной структуры. Отличается большим количеством мелких и крупных фрагментов известковистого песчаника, встречаемость которых увеличивается с глубиной. Вскипает от соляной кислоты. С глубины 33 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва — чернозем горный неполноразвитый супесчаный на элюво-делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали из горизонтов А1 и АС.

Разрез Б-346

Разрез расположен в 200 м выше по склону от поселения Подкумское-3. В почве основная масса керамики в слое 20–40 см. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–3 см.

А1 3–30 см — свежий, темно-серый, легкосуглинистый, зернисто-комковатой структуры. При раздавливании распадается на более мелкие комковатые и порошистые отдельности. Слабая тенденция к образованию вертикальной делимости. Встречаются крупные копролиты, на поверхности граней слабый белесый налет карбонатов. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету, сложению и структуре.

АВ 30–40 см — буровато-серый, среднесуглинистый, отличается появлением бурых тонов в окраске, более крупной глыбисто-призматической структуры. Не вскипает. Предположительно остаток погребенной почвы. Влажноват, плотный.

С глубины 40 см залегает плита известковистого песчаника.

Горизонт АС выражен фрагментарно, встречается в трещинах и между крупными пластами и обломками песчаника. Представлен элювием известковистого песчаника, с переходом цвета от серого до светло-серого, среднесуглинистого гранулометрического состава, непрочной мелкокомковато-порошистой структуры. Влажноват, плотный. Вскипает от соляной кислоты.

Почва — чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали послойно через 10 см.

Разрез Б-350

Разрез расположен у подножия склона на выровненном участке с уклоном до 5°. Обнаружено значительное количество керамики аланского времени. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–4 см.

А1 4–22 см — темно-серый до черного, в верхней части супесчаный, с глубины 10 см легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры. Грани структурных отдельностей отмыты от карбонатов. Не вскипает от соляной кислоты. Свежий, уплотнен. Насыщен керамикой. Нижняя граница волнистая, переход ясный по появлению известнякового песчаника разного размера.

АС 22–38 см отмечен в трещинах и между пластами песчаника. Представлен элювием известковистого песчаника с характерным

изменением цвета от серого до светло-серого. Легкий суглинок, насыщенный фрагментами песчаника разного размера. Влажноват, плотный. Вскипание слабое.

С глубины 38 см залегают пласты известковистого песчаника.

Почва — чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на делювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали послойно через 10 см.

Разрез Б-351

Разрез современной почвы был заложен на вершине водораздела над поселением Подкумское-3. Глубина до 70 см. Керамики нет. Разрез приурочен к выровненному участку, сложенному глинистым делювием, что обуславливает слабое дренирование территории. Это связано периодическое переувлажнение и формирование верховодки. В результате профиль почвы выщелочен от карбонатов; проявляются черты лугового процесса. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–3 см.

А1 3–40 см — буровато-темно-серый, легкосуглинистый, в верхних 10 см — супесчаный непрочной комковатой структуры, при раздавливании распадается на мелкие комковато-порошистые отдельности. Плотный, влажноват. На гранях структурных отдельностей встречаются слабо выраженные охристо-бурые пятна ожелезнения. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету.

АВ 40–60 см — неоднородный по цвету, в массе серовато-бурый с многочисленными морфонами желтоватого суглинка по ходам землероев, средний суглинок глыбистой структуры. Отмечается постепенное утяжеление гранулометрического состава с глубиной и возрастание доли желтых тонов в окраске. В нижних 10 см заметны зеленовато-сизые пятна. Влажный, плотный, нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.

ВС 60–70 см — неоднородный, охристо-серый средний суглинок глыбистой структуры. Влажный, плотный. Постепенно переходит в почвообразующую породу, представленную зеленовато-серыми опесчаненными карбонатными суглинками с линзами крупнокристаллического песка.

Весь профиль не вскипает.

Почва — горная луговато-черноземная легкосуглинистая на делювии карбонатных глин и песчаников.

Образцы отбирались через 10 см.

Разрез Б-352

Разрез заложен в 400–450 м ниже по склону от Б-351 на участке с нормальными условиями дренирования. Некошенный участок. Данная почва может рассматриваться в качестве фона, не испытывавшего антропогенного воздействия. В профиле выделяются горизонты:

Ад 0–2 см.

А1 2–20 см свежий, темно-серый до черного, легкосуглинистый, в верхних 10 см супесчаный, комковато-зернистой структуры. Грани структурных отдельностей хорошо отмыты. Не вскипает. Много корней. Нижняя граница слабоволнистая, переход ясный по появлению буроватых тонов в окраске почвенной массы и утяжелению гранулометрического состава.

АВ 20–35 см — делювиальный нанос, в значительной мере проработанный почвообразованием со слабозаметными буроватыми тонами в окраске. Серовато-бурый легкий суглинок комковато-глыбистой структуры. Влажноват, плотный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[А1] 35–55 см — остатки гумусового горизонта погребенной почвы. Отличается более темным цветом с металлическим блеском на гранях. Легкий суглинок. Структура комковато-призмовидная, крупная, устойчивая. Керамики в этом слое нет. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету и сложению.

С глубины 55 см залегает фрагментарно выраженный горизонт АС, представленный морфонами материала почвообразующей породы и гумусового горизонта в норах землероев. Постепенно переходит в почвообразующую породу — желто-зеленую карбонатную глину с включениями известковистого песчаника.

В данном случае почву этого разреза можно считать эталонной для фоновых почв ключевого участка Подкумское-3.

Весь профиль не вскипает.

Почва — чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на делювии карбонатных глин и песчаников.

Образцы отбирались через 10 см.

Разрез Б-353

Разрез расположен на склоне, на расстоянии около 1000 м от разреза Б-352 ниже по склону. В разрезе обнаружено несколько фрагментов керамики, что может говорить о весьма непродолжительном использовании территории с нерегулярным внесением удобрений.

Участок можно рассматривать как пример периферийной аграрной зоны поселения со вспашкой без удобрения, либо с эпизодическим удобрением. В профиле почвы выделяются горизонты:

A1 3–20 см — свежий, темно-серый, супесчаный, комковато-зернистой структуры. Плотный, нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету и структуре.

AB 20–40 см — в целом аналогичный A1, отличается появлением буроватых тонов в окраске, доля которых увеличивается с глубиной. Делювиальный нанос, полностью переработанный почвообразованием. Средний суглинок глыбисто-комковатой непрочной структуры. Влажноват, уплотнен. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[A1] 40–55 см — более темный коричнево-бурый, средний суглинок, плотный, глыбистый. Влажноват. Представляет собой остатки гумусового горизонта погребенной почвы. Керамика в этом слое отсутствует.

BC 55–75 см — переходный горизонт, неоднородный по цвету с крупными морфонами почвообразующей породы, представленной зеленовато-серыми карбонатными глинами. Структура глыбистая. Влажноват. Постепенно переходит в почвообразующую породу: желто-зеленую карбонатную глину с прослойками известковистого песчаника.

Почва — чернозем горный выщелоченный супесчаный на делювии карбонатных глин и песчаников.

Образцы отбирались через 10 см.

3.1.2.2. Ключевой участок Подкумское-7

Поселение Подкумское-7 расположено на останце южной экспозиции. Севернее укрепления расположен обширный выровненный мысовой участок, потенциально пригодный для использования в качестве сельскохозяйственных угодий (рис. 3.5, см. цв. вкл.). Однако данный мыс имеет характерный подъем к югу на 3–4°, в результате чего нарушается геоморфологическая связь мыса со склоном и не происходит поступление эрозионного материала на территорию, прилегающую к поселению. Таким образом, весь мысовой участок представляет собой зону квазиравновесного состояния и эрозии [Самойлова, 1983]. На мысу в подъемном материале было обнаружено много керамики аланского времени. В рельефе заметны валы, представляющие собой, возможно, остатки межевых стен, что было характерно для организации земельных наделов этого времени [Коробов, Борисов, 2012; Борисов, Коробов, 2013]. Заложена

серия разрезов от укрепления к склону (Б-358, Б-356, Б-355, Б-354, Б-357), ближайший к укреплению разрез Б-357 заложен на месте выборки камня для строительства стен.

Рассмотрим свойства почв разрезов в данной катене.

Разрез Б-357

Разрез расположен в непосредственной близости от развалов стен укрепления. С поверхности задернован. В профиле выделяются горизонты:

A1 0–11 см — свежий, темно-серый до черного, супесчаный, непрочной комковато-зернистой структуры. Обильно встречаются корни. На гранях структурных отдельностей карбонатный налет, вскипание слабое, внутриведная масса не вскипает. По отсутствию керамики в этом слое можно считать, что он образовался после того, как поселение перестало функционировать (эрозионный нанос). Однородный без включений, нижняя граница ровная, переход ясный по появлению камней и щебня.

AC 11–23 см — очень неоднородный, серый, в некоторых местах светло-серый от карбонатов легкий суглинок, ореховато-призматической структуры. Вскипает от соляной кислоты. Крупные и мелкие камни составляют до 50% объема. Встречается керамика аланского времени.

С глубины 23 см залегает плита известковистого песчаника.

Почва — дерново-карбонатная типичная супесчаная на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали из горизонтов A1 и AC.

Разрез Б-354

Разрез заложен в 30–40 м от укрепления в зоне активной эрозии. Почвенный профиль эродирован, мощность его не превышает 15 см. Верхние 4–5 см обильно задернованы. Керамика аланского времени встречается единично. По всей видимости, в аланскую эпоху участок использовался очень непродолжительное время, после чего был выведен из сельскохозяйственного оборота ввиду сильной эрозии.

Почвенный профиль представлен горизонтом A1 — свежим, черным легким суглинком, непрочной комковато-мелкопористой структуры. Обильно пронизан корнями. Уплотнен. Встречаются мелкие фрагменты известковистого песчаника. Не вскипает.



Рис. 3.1. Вид с севера на укрепление Подкумское-2

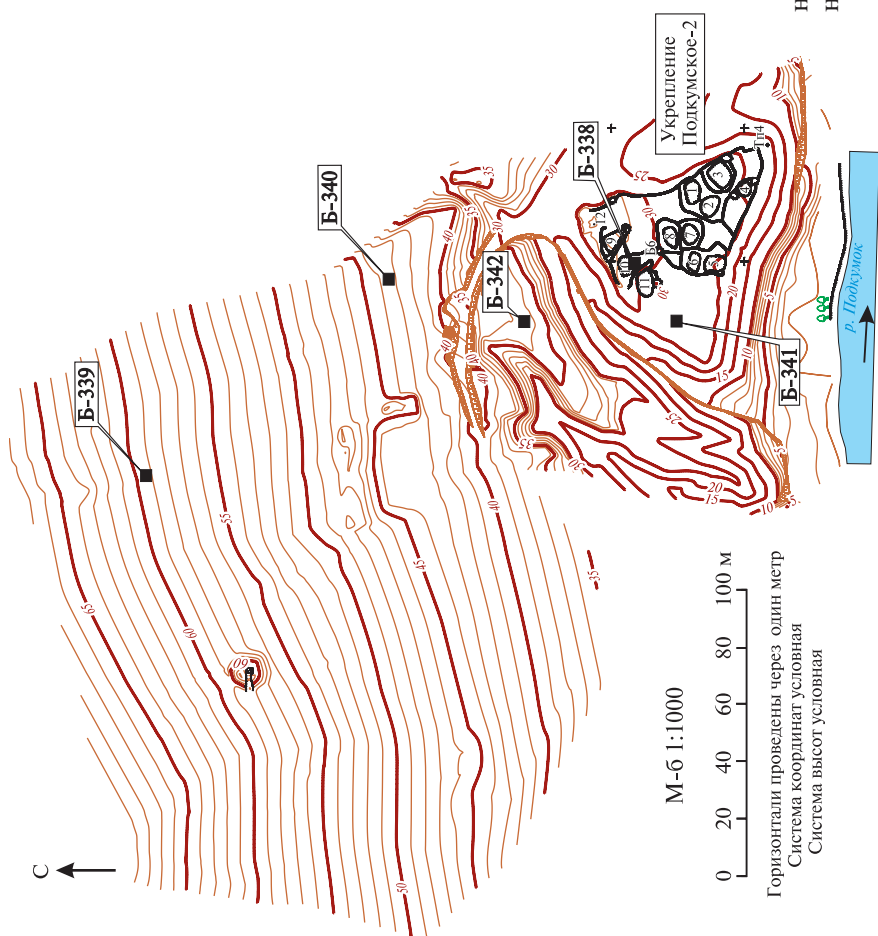


Рис. 3.2. Расположение почвенных разрезов на плане укрепления Подкумское-2
1-11 — загоны для скота

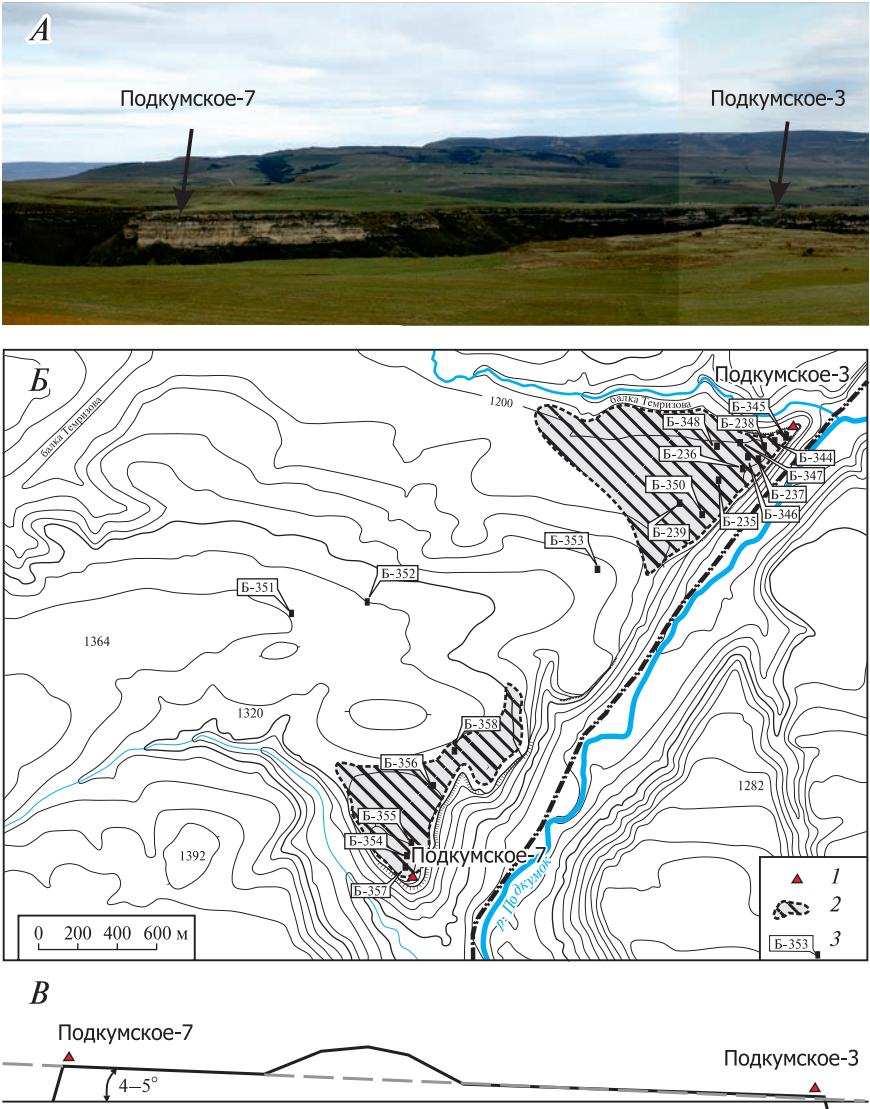


Рис. 3.3. Вид на поселения Подкумское-3 и Подкумское-7 с юго-востока (А); потенциальные сельскохозяйственные зоны поселений, определяемые по встречаемости керамики в почвах (Б) и общий характер рельефа и уклон местности (В)

1 — расположение поселений; 2 — сельскохозяйственные зоны; 3 — почвенные разрезы и их номера



Рис. 3.4. Вид с севера на укрепление Подкумское-3 (*А*), вид с юго-запада на поля, прилегающие к укреплению (*Б*)



Рис. 3.5. Раскопки шурфа на поселении Подкумское-7 (вид с запада) (А), вид с севера на поля, прилегающие к укреплению Подкумское-7 (Б)

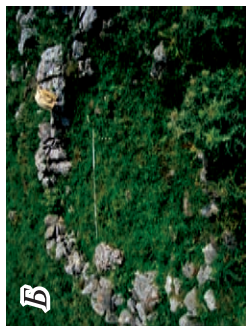
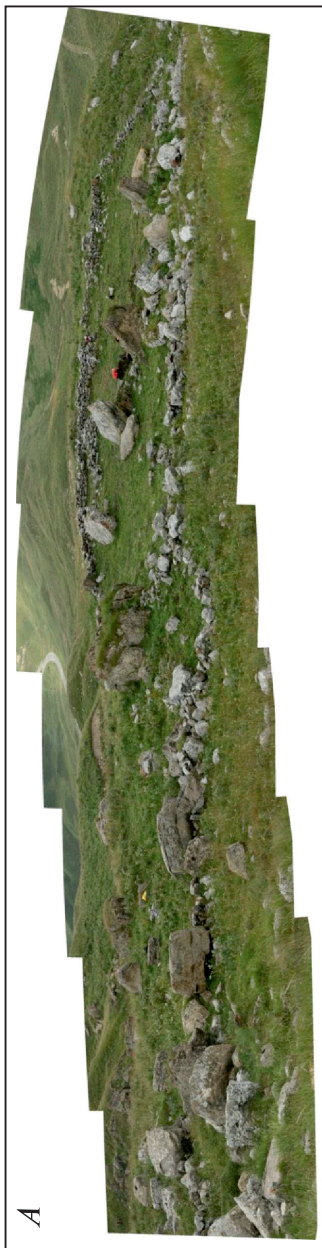
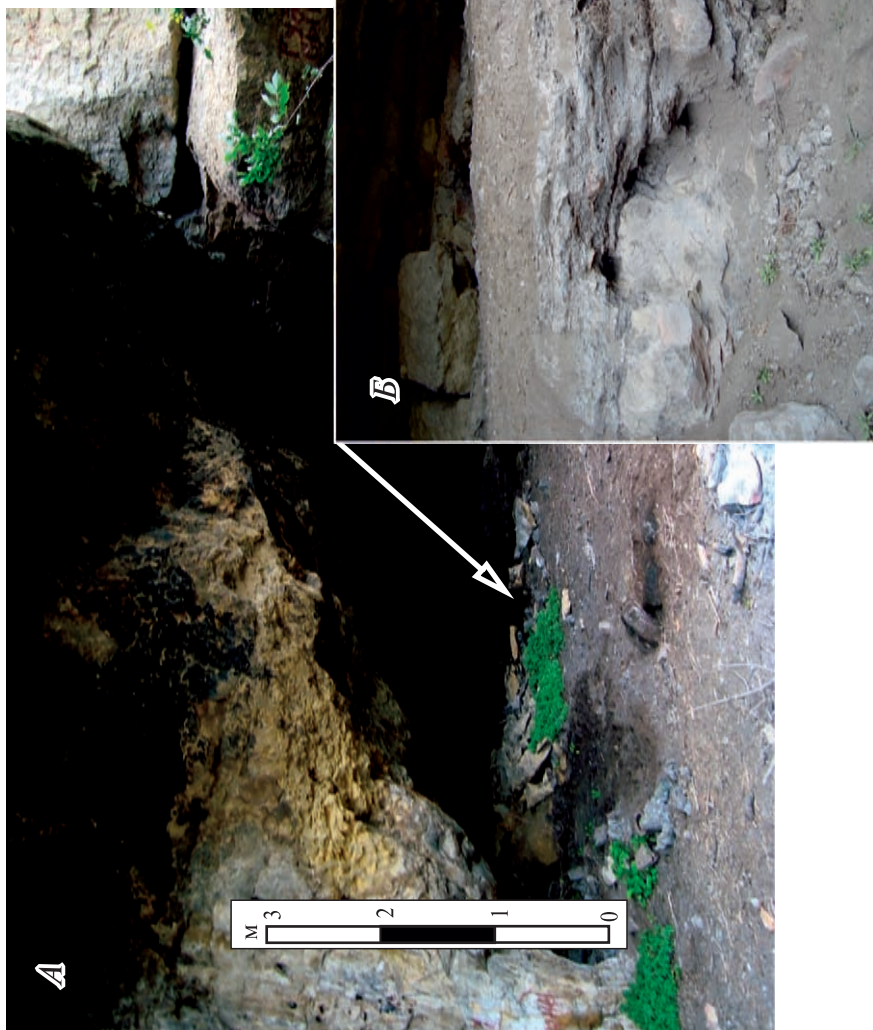


Рис. 3.7. Загоны для скота
А — загон Гум-Баши-1, Б — загон
Гум-Баши-2, В — загон Гум-Баши-4



Рис. 3.8. «Жилые» постройки в загоне Гум-Баши-4
1 — большая комната; 2 — малая комната

Рис. 3.9. Загон под скальным навесом в урочище Митькин ку-тан (А); напластования зоогенных отложений (В)



С глубины 15 см залегает плита известковистого песчаника.

Горизонт АС выражен фрагментарно, в трещинах и западинах между плитами песчаника. В таких ситуациях представляет собой очень неоднородный серый, с переходом до светло-серого, легкий суглинок, комковато-глыбистой структуры. Вскипает от соляной кислоты. Крупные и мелкие камни составляют до 50–70% объема.

Почва — чернозем горный неполноразвитый легкосуглинистый на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали через каждые 10 см.

Разрез Б-356

Очередной разрез, заложенный ниже по склону. Расположен в подсклоновой депрессии, в зоне квазиравновесного состояния и периодической аккумуляции мелкозема. С поверхности задернован. Почвенный профиль достигает мощности 40 см, дифференцирован на горизонты:

А1 0–20 см — свежий, черный, легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры. Много керамики аланского времени. Уплотнен. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход ясный по появлению мелких фрагментов известковистого песчаника.

АС 20–40 см — неоднородный, серый до светло-серого, легкосуглинистый, комковато-зернистой структуры, в нижней части ореховатой структуры. Плотный, влажноват. По трещинам — карбонатный налет. Встречаются многочисленные включения камней, распределенных довольно равномерно по всей массе горизонта, что может рассматриваться как признак древнего агротурбирования. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход резкий.

С глубины 40 см залегают крупные камни делювия известковистого песчаника.

Почва — чернозем горный выщелоченный легкосуглинистый на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали через каждые 10 см.

Разрез Б-358

Разрез расположен на склоне южной экспозиции (в нижней части) в зоне аккумуляции эрозионного материала. Керамики мало, и ее происхождение связано с эрозионно-аккумулятивными процессами. Данный участок не распахивался в аланское время. Разрез вскрыл типичную для склоновых участков ситуацию, ког-

да в нижней части профиля сохранилась погребенная почва, которую перекрывает делювиальный нанос, верхний слой которого проработан почвообразованием.

В профиле выделяются горизонты:

A1 0–30 см — свежий, темно-серый до черного, супесчаный, комковато-зернистой структуры. Обильно встречаются корни. Единично встречаются фрагменты керамики. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход ясный по появлению камней и щебня.

AB 30–60 см — отличается появлением буроватых тонов в окраске, доля которых увеличивается с глубиной. Делювиальный нанос, интенсивно переработанный почвообразованием. Легкий суглинок, структура непрочная, комковатая, в нижней части мелкоглыбистая. Влажноват, уплотнен. По всей толще горизонта встречаются мелкие камни. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход постепенный по цвету и структуре.

AB2 60–75 см — буровато-серый, с большей долей буроватых тонов в окраске, легкий суглинок непрочной глыбистой структуры. Представляет собой делювиальный нанос, в меньшей степени проработанный почвообразованием по сравнению с вышележащим. Не вскипает. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[A1] 75–100 см — остатки гумусового горизонта погребенной почвы. Темно-серый, со слабо заметными буроватыми тонами в окраске, средний суглинок с тенденцией утяжеления гранулометрического состава с глубиной. Структура глыбистая, непрочная. Грани хорошо отмыты с характерным металлическим блеском. Отмечается тенденция к вертикальной делимости. В нижней части появляются морфоны серовато-зеленой глины. Не вскипает. Нижняя граница слабо-волниста, переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.

AC 100–110 см — переходный горизонт с постепенным изменением цвета от темно-серого до зеленовато-серого средний суглинок глыбистой структуры. С глубины 110 см залегает почвообразующая порода — элюво-делювий зеленовато-серых глин и песчаников.

Почва — чернозем горный выщелоченный супесчаный на элювии известковистого песчаника.

Образцы отбирали через каждые 10 см.

3.1.3. Почвы загонов для скота

В 2015 г. проведены полевые работы по исследованию следов занятия скотоводством древнего и средневекового населения Кисловодской котловины. Археологические разведки велись на терри-

тории Карачаевского района Карачаево-Черкесской Республики, а также Предгорного района Ставропольского края. Полевым исследованиям предшествовала работа по дешифрированию аэрофото съемки, в ходе которой было обнаружено и картографировано 1073 каменных загона для скота [Коробов, 2016а]. Подобные объекты распространены в верхней части Кисловодской котловины, на высотах от 1500 до 2500 м. Эта территория, как нам известно из данных кавказской этнографии, активно использовалась карачаевцами в XIX — начале XX в. в качестве пастбищ [Шаманов, 1972] и продолжает использоваться в качестве таковой и по сей день.

Датировка загонов потенциально возможна по керамике и иному археологическому материалу по аналогии с имеющимися данными о каменных загонах укрепления Зубчихинское-1, поселения Зубчихинское-3 и кошей Кич-Малка-1 [Коробов, 2016б, т. 2 (в печати)], которые изучены Кисловодской экспедицией ИА РАН, а также Ю.Н. Вороновым [1973] (абхазские ацангуары).

С целью установления времени создания и функционирования каменных загонов, расположенных как в альпийской зоне, так и в пределах Кисловодской котловины, были проведены полевые исследования. Они концентрировались в окрестностях перевала Гум-Баши на абсолютной высоте около 2100 м (ключевой участок Гум-Баши (рис. 3.6, 1) и в балках Зубчихинская и Беловодская (абсолютная высота от 900 до 1400 м) (ключевой участок Зубчиха (см. рис. 3.6, 2). На территории загонов в виде каменных стенок закладывались почвенные разрезы, проводилось описание профилей и отбор образцов.

В окрестностях перевала Гум-Баши было исследовано четыре каменных загона для скота, находящихся возле г. Людмила, а также отдельные небольшие строения («домики пастухов») рядом с загоном Гум-Баши-4. В процессе шурфовки и закладывания почвенных разрезов в загонах Гум-Баши-4 (рис. 3.7, В, см. цв. вкл.) был обнаружен немногочисленный керамический материал кобанской культуры, в верхнем слое заложенных шурфов внутри загона Гум-Баши-1 (см. рис. 3.7, А) и зондажей внутри небольших каменных строений найдено большое количество углей и костей животных, а также материалы нового и новейшего времени. Среди керамики, найденной в нижнем слое шурфа 1 на каменном загоне Гум-Баши-1, встречаются исключительно фрагменты посуды эпохи раннего Средневековья (см. рис. 3.7, А).

В окрестностях укрепления Зубчихинское-1 исследован одноименный загон в балке Зубчихинской, давший многочисленные материалы V–VIII вв.

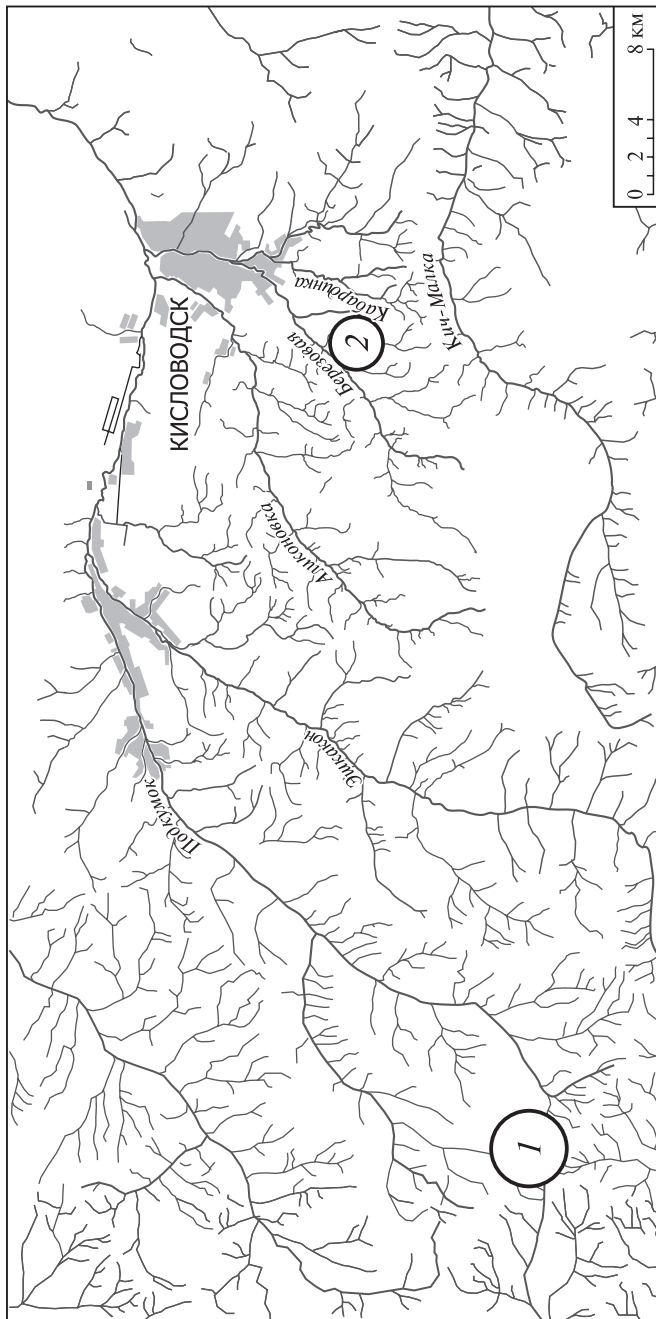


Рис. 3.6. Расположение ключевых участков изучения свойств почв загонов для скота
1 — ключевой участок Гум-Баши, 2 — ключевой участок Зубчица

Возле поселения Зубчихинское-3 был обследован загон в балке Беловодской, где в почвенных разрезах была найдена керамика кобанской культуры, а также фрагменты посуды эпохи раннего Средневековья.

Проведено исследование геоморфологической приуроченности загонов. Установлено, что в геоморфологическом плане загоны Гум-Баши-2, -4 и Беловодские-1, -2, -3, -4 приурочены к массивным древним оползням и располагаются на участках с характерным уклоном поверхности в сторону, обратную движению оползня. При образовании оползня его передний край поднимается, а задний край оказывается в некотором понижении. Это приводит к тому, что территория оказывается закрыта от ветров с одной стороны скальным массивом, возвышающимся на высоту до 100 м, а с другой — поднятым передним краем тела оползня. Такое закрытое положение обеспечивает специфические весьма благоприятные условия, что, возможно, и послужило причиной выбора данных участков для устройства стационарных загонов длительного использования.

Исследованы морфолого-генетические свойства почв в загонах Гум-Баши-2 (разрез Б-422) и Гум-Баши-1 (разрез Б-423), современных фоновых почвах ключевого участка (разрез Б-425), Гум-Баши-4 (разрез Б-426), фоновые почвы ключевого участка Гум-Баши-4 (разрез Б-427), загона 2 в балке Беловодская (разрез Б-430), а также почвы условно «жилых» построек в загоне Гум-Баши-4 и почвы современных функционирующих и заброшенных загонов. С соблюдением условий стерильности отобраны образцы почв из каждых 10 см профиля.

В загоне Гум-Баши-4 проведено исследование почв внутри двух симметричных построек, состоящих из двух комнат, большей и меньшей. В этих постройках были заложены микрошурфы размером 25×25 см, из которых отобраны образцы почв на химические и микробиологические анализы.

Рассмотрим морфологические свойства почв загонов для скота.

Разрез Б-422. Загон Гум-Баши-2

Разрез в центральной части округлого загона. Границы загона хорошо видны. Характерно, что нижняя часть стен сложена из крупных камней, в то время как верхняя часть сложена из мелких камней неправильной формы.

Слой 0–23 см — серый с буроватым оттенком опесчаненный легкий суглинок. С поверхности слабо задернован, много корней. Структура слабая комковато-порошистая. С глубины 18–20 см встречаются крупные камни. Единично встречаются угли.

С глубины 23 см залегает погребенная почва, черный легкий суглинок комковато-зернистой структуры. В верхнем слое этой почвы залегают крупные правильной формы камни развала стен. Керамика обнаружена в слое 40–50 см.

С глубины 50 см залегает горизонт В погребенной почвы, буровато-серый с постепенным увеличением доли бурых тонов в окраске почвенной массы легкий–средний суглинок комковато-глыбистой непрочной структуры. Камни по всему профилю.

В этом разрезе раннесредневековая керамика лежит в слое погребенной почвы под развалом камней стен. Это позволяет сделать вывод о соответствии керамики и времени функционирования загона. Второй период использования загона связан с достройкой стены мелкими камнями, и, возможно, имеет возраст, близкий современному. Между первым и вторым этапом функционирования прошло много времени, и успел сформироваться полноценный почвенный профиль.

Разрез Б-423. Загон Гум-Баши-1

Разрез внутри загона 1 в 20 м к югу от археологического шурфа. Растительность резко отличается от фоновых, много сорной растительности, что указывает на недавнее использование загона.

Слой 0–40 см — черный легкий суглинок крупнозернистой структуры. В значительных количествах встречаются камни разного размера, вероятно, остатки развала стен. Слой чрезвычайно насыщен костями (более 1 кг), углем, золой. Слабо проработан почвообразованием, видимо, современный. Резко отличается от погребенной почвы.

Слой 49–70 см — горизонт А1 погребенной горно-луговой почвы. Темно-серый с заметным увеличением доли бурых тонов с глубиной легкий суглинок комковато-зернистой структуры. Очень однородный, без включений камней и костей.

Слой 70–110 см — горизонт АВ, серовато-бурый легкий суглинок с желтоватыми тонами в нижней части. Структура глыбистая.

В южной стороне разреза на глубине 50–70 см и ниже обнаружены крупные камни правильной строительной формы.

Разрез Б-425. Фоновый участок для загонов Гум-Баши-1, -2, -3

Разрез современной почвы в 200–250 м от разреза Б-423. Разрез заложен в замкнутой с трех сторон котловине, что исключает эрозию почв. В целом в геоморфологическом плане место положения разреза соответствует описанным выше загонам.

В профиле выделяется хорошо развитая дернина мощностью до 10 см. Под слоем дернины залегает горизонт А1 10–30 см — бурый легкий суглинок комковато-крупитчатой структуры. По цвету более темный, ближе к черноземному типу почвообразования. Возможно, отражает более теплый период формирования. Наличие слоя погребенной почвы с более темной окраской и зернистой структурой, выявленное для всех вышеописанных разрезов, указывает на существование периода с более теплыми условиями.

Разрез Б-426. Загон Гум-Баши-4

Участок, на котором расположен загон, резко отличается от участка, где были загоны Гум-Баши-1, -2, -3. Данная территория представляет собой тело массивного оползня с характерным уклоном поверхности в сторону, обратную движению оползня. В результате передний край оползня при падении поднимается, а задний край оказывается в некотором понижении. В данном конкретном случае это привело к тому, что территория становится закрытой от ветров с севера склоном Скалистого хребта, возвышающимся над участком на высоту до 100 м, а с юга — поднятым передним краем тела оползня. Такое закрытое положение обеспечивало специфические весьма благоприятные условия, что, возможно, и послужило причиной выбора данного участка для загона. Следует отметить, что подобные оползни отмечены еще в ряде мест при движении к разрезу Б-426 от разреза Б-425, где также были обнаружены стены еще одного загона.

В растительном покрове нет признаков, указывающих на явное использование загона в позднее время. Количество пастбищных сорняков в пределах загона аналогично фоновым участкам, что может свидетельствовать о длительности периода восстановления растительного сообщества. Возможно, это наиболее древний загон.

Разрез заложен на участке, примыкающем к стене загона, что исключает активные эрозионные процессы. В почве выделяются следующие горизонты:

А1 0–12 см — темно-бурый средний суглинок непрочной комковато-порошистой структуры, много корней, дернина до 5 см.

АВ 12–35 см — темно-бурый, темнее вышележащего, средний-тяжелый суглинок комковато-глыбистой структуры, плотный.

ВС 35–50 см — переходный горизонт с изменением цвета от темно-бурого до зеленовато-серого. Средний-тяжелый суглинок глыбистой структуры.

В этом разрезе также отмечены высокие значения уреазной активности и содержания фосфатов, при этом в самых нижних частях профиля зафиксировано некоторое возрастание значений обоих показателей. Это может указывать на эродированность профиля и отложение намывтого материала. При этом в нижних горизонтах, вероятно, сохранился инситу почвенный материал.

Разрез Б-427. Фон для участка Гум-Баши-4

Фоновый участок для Гум-Баши-4. Разрез за пределами загона на участке с однотипными геоморфологическими и литологическими условиями.

Горизонт А1 0–28 см — серо-бурый легкий суглинок непрочной комковатой структуры, много корней, дернина маломощная. Нижняя граница ровная, переход постепенный.

Горизонт АВ 28–46 см — серо-бурый, более темного цвета, легкий суглинок непрочной комковатой структуры.

Горизонт В 46–65 см — более светлый, буровато-серый с зеленоватым оттенком легкий-средний суглинок комковато-глыбистой структуры.

«Жилые» постройки в загоне Гум-Баши-4

В загоне Гум-Баши-4 проведено исследование почв внутри небольших построек на южном краю загона. С южной высокой стороны загона располагались две симметричные постройки, состоящие из двух комнат, большей и меньшей (рис. 3.8, см. цв. вкл.). В этих постройках были заложены микрошурфы размером 25×25 см, из которых отобраны образцы почв на химические и микробиологические анализы. В малой комнате постройки 1 зондаж не удалось заложить, так как развал стен постройки оказался слишком мощным. Проанализированы следующие объекты:

- постройка 1 зондаж 1 — большая комната постройки 1,
- постройка 2 зондаж 2 — большая комната постройки 2,
- постройка 2 зондаж 3 — малая комната постройки 2.

Разрез Б-430. Загон Беловодская балка

Разрез у подножия скального выступа, на котором расположено поселение Зубчихинское. В геоморфологическом плане участок аналогичен Гум-Баши-4 и приурочен к телу древнего оползня. Как и в случае с Гум-Баши-4 наблюдается характерный уклон поверхности в сторону, обратную движению оползня. В результате передний край оползня при падении поднимается, а задний край оказывается в некотором понижении. При этом территория оказывается закрыта от ветров с одной стороны скальным массивом, на котором расположено Зубчихинское поселение, а с другой — поднятым краем тела оползня. Территория загона ограничена мощной стеной, сложенной из двух рядов крупных камней с забутовкой. Характер растительности внутри загона и за его пределами мало различается, что свидетельствует о длительном периоде восстановления фитоценоза.

Разрез заложен в центральной части загона. Дернина 0–10 см. В профиле выделяются следующие горизонты:

A1 10–30 см — черный средний суглинок комковатой структуры.

AB 30–45 см — горизонт отличается более насыщенным цветом, рыхлой структурой и сложением.

B 45–70 см — горизонт максимального скопления камней, черный средний суглинок.

AC 70–80 см — переходный горизонт, сохранился фрагментарно между камнями материка.

В разрезе обнаружено большое количество фрагментов керамики и костей, что может указывать на исходный жилой характер данной постройки. В пользу этого предположения говорит и стабильно высокое содержание фосфатов при заметном увеличении этого показателя с глубиной. Использование данного объекта в качестве загона для скота могло иметь место в более позднее время, не исключено, что с этим обстоятельством связаны наиболее высокие значения уреазной активности. Среди найденных фрагментов керамики преобладают сосуды кобанской культуры при значительном (около 20%) присутствии стенок сосудов эпохи раннего Средневековья.

Современные загоны

В качестве сопоставительного фона для древних объектов были исследованы современные и недавно заброшенные загоны для скота. Всего исследованы свойства почв следующих объектов:

— ферма Кичи-Балык, заброшена в 1995–2000 гг.,

- ферма Медовая Балка, заброшена в 80-х годах,
- ферма Беловодская, функционирует в настоящее время.

Загон Зубчихинские коши-1

В 2013 г. были заложены микрошурфы размером 25×25 см внутри небольших загонов с каменными стенками, расположенных у подножия обрывистого скального мыса, на котором находится аланское укрепление Зубчихинское-1 (V–VIII вв. н.э.) [Коробов, 2016б, т. 2 (в печати)]. Предположительно в этих загонах мог содержаться скот в аланское время, так как в заложенных здесь зондажах были найдены фрагменты керамики раннеаланской культуры. Многочисленный материал этого времени — фрагменты керамики, бронзовый бубенчик, железные наконечники стрел и колчанная скоба — были получены в ходе шурфовки и сбора подъемного материала, проводимых в 2015 г.

Зондаж 1. Расположен с восточной стороны у обломка скалы, преграждающий сток и привнос эрозионного материала. Площадь постройки не превышает 4 м², что дает основания рассматривать ее как «домик пастуха» или иную постройку, не связанную с содержанием скота. Условно эта часть названа жилой зоной. В профиле почвы до 25 см залегает современный нанос, рыхлый оторфованный легкий суглинок; с глубины 25 см — погребенная почва, плотный бурый суглинок глыбистой структуры.

Зондаж 2. Расположен внутри загона площадью до 50 м², окруженного каменными стенами. В профиле выделяются три горизонта:

А1 0–30 см — оторфованный легкий суглинок.

АВ 30–45 см — серо-бурый легкий суглинок с мелкими камнями.

ВС 45–60 см — погребенная почва, плотный бурый суглинок глыбистой структуры, сохранился фрагментарно в расщелинах между камнями.

Зубчихинские коши. Разрез Б-431

Исследования загонов у укрепления Зубчихинское-3 были продолжены в 2015 г. Был заложен разрез (Б-431) у подножия скального обрыва, на вершине которого располагалось укрепление Зубчихинское-3. В данном месте располагается комплекс загонов разного размера и примыкающих к ним маленьких построек, которые, возможно, использовались для проживания. Шурф зало-

жен в центральной части крупного загона. Стратиграфия отложенных имеет следующий вид.

0–25 см — горизонт А современной почвы. Черный суглинок комковато-зернистой структуры. Структура неплотная, распадается на мелкие порошистые отдельности. Обильно встречаются корни. Дернина слабо выражена. Переход ясный по цвету и структуре.

25–40 см — горизонт АВ. Переходный горизонт, для которого характерна хорошая проработанность материала почвообразованием с постепенным увеличением светлых тонов в окраске. Легкий суглинок. Сложение более плотное, структура глыбисто-комковатая. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету, сложению и появлению камней и карбонатных выцветов.

40–60 см — горизонт ВС. Неоднородный с обильными включениями щебня и гравия, в массе белесовато-серый легкий суглинок глыбистой структуры. Соответствует периоду активизации делювиальных процессов. Нижняя граница ровная, переход ясный по большей однородности слагающего материала и цвету.

60–72 см — горизонт А погребенной почвы. Более однородный, серый, с характерным зеленоватым оттенком. Без камней. Отличается более темной окраской почвенной массы. Практически без камней и щебня. Бесструктурный. По цвету и сложению близок к почвам современного функционирующего загона в балке Беловодска. Нижняя граница ровная, переход ясный по большей неоднородности. Слой функционирования.

72–90 см — горизонт АВ погребенной почвы. Темно-серый, неоднородный, с включениями камней. В отличие от вышележащей толщи имеет более выраженную комковато-глыбистую структуру. Нижняя часть профиля почвы в меньшей степени преобразованная в результате функционирования загона. Нижняя граница ровная, переход, заметный по цвету и структуре.

90–120 см — горизонт В погребенной почвы. Темно-серый до черного, однородный легкий суглинок комковато-мелкоглыбистой структуры. Встречаются крупные камни. Сохранился между крупными камнями и по трещинам.

Загон Митькин кутан

В дополнение к загонам, расположенным в открытых условиях, были проведены исследования загона, расположенного под скальным навесом в урочище Митькин кутан (рис. 3.9, см. цв. вкл.).

Благодаря тому, что скальный навес исключает попадание осадков, в это урочище долгое время загоняли скот на ночь. Это при-

вело к образованию толщи зоогенных отложений (до 1 м), которые полностью минерализованы и в настоящее время представляют собой белесовато-серую бесструктурную легкую золистую пылеватую массу, в которой хорошо видна слоистость, связанная с периодичностью использования загона. Для микробиологических исследований был отобран образец отложений из средней части профиля.

3.2. Методы исследований

Методы определения химических свойств почв

В образцах почв и культурных слоев определяли следующие показатели:

- рН водной вытяжки потенциометрическим методом;
- содержание органического углерода, по Тюрину [Воробьева, 1998];
- содержание карбонатов ацидиметрическим методом;
- содержание фосфатов, по Мачигину [Аринушкина, 1970];
- гранулометрический состав, по Качинскому [Практикум по почвоведению..., 1973].

Химико-аналитические работы были выполнены в Центре коллективного пользования ИФХиБПП РАН (руководитель — кандидат биологических наук С.Н. Удальцов). Здесь содержание валового фосфора определяли с помощью рентген-флуоресцентного метода на анализаторе МАКС-GV в лаборатории геохимии почв ИФХиБПП РАН (заведующий лабораторией — доктор биологических наук А.О. Алексеев). Также в образцах проводили определение содержания подвижных минеральных форм азота: обменного аммония [Кудеяров, 1965] и нитратов [Бочкарев, Кудеяров, 1982].

Методы определения биологической активности

Расчеты суммарной микробной биомассы, активной микробной биомассы и биомассы грибного мицелия проводили с учетом содержания в клетках 40% С и 80% H₂O [Anderson, Domsch, 1980].

Все показатели биологической активности пересчитаны на абсолютно сухую навеску.

Полученные результаты статистически обработаны в программах Excel, Graphpad Prism 6 и PC-ORD (версия 5.10).

Учет микроорганизмов с помощью люминесцентной микроскопии. Определение численности микробного сообщества и суммарной микробной биомассы проводили следующим методом [Методы..., 1991]. Навеску почвы (1 г) помещали в стерильную пробирку, приливали 10 мл 0.5%-ного раствора пиродифосфата натрия и обрабатывали ультразвуком в режиме 30 с — пауза — 30 с с помощью ультразвукового диспергатора УЗД-1. Определение проводили в трех повторностях. Численность микроорганизмов определяли в почвенной суспензии при разведении 1:1000. Из полученного разведения отбирали 10 мкл суспензии и наносили на квадрат 24×24 мм на предметном стекле, затем высушивали и фиксировали над пламенем горелки. Далее образцы окрашивали DAPI (25 мг/мл), для этого 15 мл красителя равномерно распределяли по стеклу и накрывали покровным стеклом, после чего помещали в термостат на 15–20 мин при 30 °С. Подсчет микробных клеток проводили в 30 полях зрения под люминесцентным микроскопом ЛЮАМ И2 (ЛМО). Численность микроорганизмов определяли по следующей формуле (3.1):

$$N = \frac{S_1 \cdot a \cdot n}{V \cdot S_2 \cdot c}, \quad (3.1)$$

где N — численность микробных клеток; S_1 — площадь препарата, мкм²; a — количество клеток в одном поле зрения; n — показатель разведения; V — объем капли, наносимой на стекло, мкл; S_2 — площадь поля зрения микроскопа, мкм²; c — навеска почвы.

С использованием показателя численности клеток, а также пересчетной величины $2 \cdot 10^{-14}$ г сухого веса на микробную клетку объемом 0.1 мкм³ [Кожевин и др., 1979; Полянская, Звягинцев, 2005] была рассчитана суммарная микробная биомасса.

Определение дыхательной активности микробного сообщества и расчет активной микробной биомассы (АМБ). АМБ оценивали по скорости субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}) — выделению CO₂ после обогащения почвы глюкозой [Anderson, Domsch, 1978]. Почву предварительно инкубировали при 22 °С и влажности 60% ПВ в течение 7 сут. После прединкубации отбирали по 2 г почвы в пробирки (определение проводили в трех повторностях), закрывали резиновыми пробками и инкубировали в течение 1.5 ч при 22 °С. Затем пробирки открывали и проветривали под тягой в течение 15 мин. После этого, в пробирки вносили для определения скорости базального дыхания (V_{basal}) по 0.2 мл дистиллированной воды, а в пробирки для определения субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}) по 0.2 мл раствора глюкозы (из расчета 1 г глюкозы

на 10 мл воды). Затем пробирки герметично закрывали и инкубировали при 22 °С в течение 4–5 ч для определения V_{SIR} и 16–18 ч для определения V_{basal} [Ананьева и др., 1993].

Параллельно закрывали по три пустые пробирки для определения содержания воздуха в атмосфере. После инкубации концентрацию CO_2 , выделившегося из почвы, определяли на газовом хроматографе «Кристаллюкс-4000М» с детектором по теплопроводности.

Расчет скорости дыхания (в мкг С- CO_2 /г почвы/ч) проводили по следующей формуле:

$$V_{\text{basal (SIR)}} = \frac{\Delta C \cdot 12 \cdot V \cdot 60 \cdot 1000}{100 \cdot 22.4 \cdot \Delta t \cdot g}, \quad (3.2)$$

где $V_{\text{basal (SIR)}}$ — скорость базального (субстрат-индуцированного) дыхания, мкг С- CO_2 /1 г/ч; $\Delta C = C_x - C_0$, об. %; V — объем флакона, мл; 60 — переход на час; 1000 — пересчет на мкг; 100 — переход от %; 22.4 — 44 мг CO_2 занимает объем 22.4 мл; $\Delta t = t_x - t_0$, мин; g — навеска почвы.

Активную микробную биомассу (в мкг С/г почвы) рассчитывали по скорости субстрат-индуцированного дыхания по формуле (3.3):

$$\text{АМБ} = V_{\text{SIR}} \cdot 40.04 + 0.37, \quad (3.3)$$

где V_{SIR} — скорость субстрат-индуцированного дыхания; 40.04 — расчетный коэффициент [Anderson, Domcsh, 1978].

Метод мембранных фильтров для учета микроскопических грибов.

Длину грибного мицелия определяли прямым подсчетом на мембранных фильтрах по методу Хансена в модификации Т.С. Демкиной и Т.Г. Мирчинк. Использовали мембранные фильтры из нитроцеллюлозы с диаметром пор 3.54 мкм [Методы..., 1991].

Для определения длины мицелия грибов брали 1 г навески воздушно-сухой почвы, которую тщательно растирали в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником до гомогенного состояния. Растертую почву помещали в 500 мл чистой нестерильной дистиллированной воды. Затем суспензию встряхивали на качалке Orbital Shaker OS-20 BIOSAN (200 об/мин, 5 мин), выливали в цилиндр емкостью 500 мл и, не давая отстояться, отбирали 10 мл суспензии каждый раз с одного и того же уровня из середины цилиндра. Суспензию отбирали без отстаивания, чтобы не дать осесть частицам, на поверхности которых могут быть закреплены гифы.

Далее использовали фильтр Зейца, куда вместо асбестовой прокладки на металлическую сетку помещали шесть слоев обез-

золеной фильтровальной бумаги, поверх нее клали мембранный фильтр.

Фильтры предварительно кипятили в дистиллированной воде в течение 20 мин, дважды меняя воду. На фильтры Зейца помещали 10 мл почвенной суспензии и фильтровали на колбах Бунзена.

Мембранные фильтры с почвенной суспензией вынимали из фильтров Зейца, высушивали на воздухе, а затем окрашивали. Для этого в чашку Петри помещали диск фильтровальной бумаги, хорошо смоченной красителем (в качестве красителя использовали 1%-ный раствор дианилового голубого и 5%-ный раствор фенола в соотношении 1:5), на который клали мембранный фильтр. Фильтр окрашивали не менее 2 ч, а затем высушивали при комнатной температуре в чистой чашке Петри. После окрашивания и просушивания фильтр осветляли иммерсионным маслом и сверху накладывали покрывное стекло.

Для подсчета числа грибных фрагментов и измерения длины гиф мицелия просматривали три фильтра по 50 полей зрения. Длину гиф измеряли при увеличении 7×40 . Измерения проводили с помощью светового микроскопа «Opton».

Суммарную длину гиф мицелия в почве рассчитывали по формуле (3.4):

$$a = \frac{b \cdot x \cdot 10^{-4} \cdot R \cdot 10^{-2} \cdot n}{r^2 \cdot 10^{-8} \cdot V \cdot C}, \quad (3.4)$$

где a — длина гиф в 1 г абсолютно сухой почвы, см; b — средняя длина гиф на фильтре в одном поле зрения, единицы окуляр-микрометра; x — цена деления окуляр-микрометра, мкм; R — рабочий радиус мембранного фильтра, мм; n — разведение почвенной суспензии; r — радиус поля зрения при данном увеличении, мкм; V — объем фильтруемой суспензии, мл; C — навеска почвы.

Объем гиф (в см^3) определяли по формуле (3.5):

$$V = a \cdot \pi \cdot r^2 \cdot 10^{-8}, \quad (3.5)$$

где a — длина гиф, см; r — средний радиус гиф, мкм.

Длину темноокрашенного и светлоокрашенного мицелия учитывали отдельно.

Биомассу мицелия в 1 г почвы рассчитывали, принимая удельный вес гиф равным 1.05 г/см^3 .

Определение численности сапротрофных и термофильных бактерий.

Учет численности микроорганизмов проводили поверхностным посевом на чашки Петри. Количество сапротрофов учитывали на уни-

версальной среде [Методы..., 1991] следующего состава, г/л: глюкоза — 1, пептон — 1, дрожжевой экстракт — 1, агар — 20. Определение термофильных бактерий в почвах древних сельскохозяйственных полей проводили на мясо-пептонном агаре [Мишустин, Перцовская, 1954], а в почвах древних загонов — на глюкозо-пептоно-дрожжевой [Лысак и др., 2000]. После предварительного диспергирования почвы (УЗД-1, 1 мин) делали посеvy из разведения почвенной суспензии 1:1000 для сапротрофов и 1:100 для термофилов.

Подсчет сапротрофных бактерий проводили через пять дней после инкубации при 24 °С, термофилов — через 21 ч при 60 °С. Количество клеток на 1 г почвы рассчитывали по формуле (3.6):

$$N = \frac{a \cdot n \cdot V}{c}, \quad (3.6)$$

где N — количество клеток в 1 г почвы; a — среднее количество колоний на чашке; V — объем капли, наносимой на чашку, мл; c — навеска почвы.

Определение уреазной активности. Уреазную активность определяли по методу, который был описан Е.Канделер и Н.Гербер [1988]. Для этого 1 г воздушно-сухой почвы помещали в колбу емкостью 50 мл, приливали 6.5 мл раствора мочевины (0.8М) в боратном буфере (рН = 10). Колбу закрывали и помещали в термостат при температуре 37 °С на 2 ч. После инкубации добавляли 15 мл 2М NaCl. Затем содержимое колб фильтровали. К 1 мл фильтрата добавляли 10 мл дистиллированной воды и 3 мл 0.2М NaOH, затем 5 мл салицилата натрия и 2 мл 0.1%-ного дихлоризоцианурата натрия. Оптическую плотность определяли при длине волны 690 нм, после окрашивания в течение 30 мин при комнатной температуре.

Целлюлазная активность. Целлюлазную активность почв определяли аппликационным методом [Методы..., 1991], который был нами модифицирован. Для этого в чашки Петри помещали слой почвы, увлажненной до 60% ПВ, поверх которого помещали стерильную капроновую сетку с ячейками 3×3 мм. На сетку укладывали диск из грубой стерильной льняной ткани, которая также перекрывалась сеткой. Сверху насыпали еще один слой почвы. Чашки помещали в термостат при температуре 30 °С. После 30 сут инкубации образцы ткани извлекали из чашек, тщательно промывали, помещали в сушильный шкаф и высушивали при температуре 105 °С до постоянного веса. Целлюлазную активность выражали в процентах и рассчитывали по изменению массы образцов ткани после инкубации от исходной.

Глава 4

Биологическая память почв о древнем селитебном и сельскохозяйственном воздействии

4.1. Биологическая память культурных слоев поселений

4.1.1. История заселения Кисловодской котловины

Для изучения антропогенной трансформации почвенных свойств и последующего их восстановления объекты исследования должны отвечать ряду требований. И основное условие — наличие только одного этапа антропогенной эволюции. Такие участки довольно трудно выявить в современном почвенном покрове, так как в большинстве случаев почвы неоднократно испытывали антропогенное влияние в историческом прошлом, и практически все почвы в той или иной мере преобразованы в новое и новейшее время. Поэтому для обоснования возможности использования тех или иных почв в качестве эталонных для изучения антропогенного влияния в прошлом необходимо иметь представление об освоении региона человеком и формах его воздействия на почвы и экосистемы на протяжении всего исторического времени.

Кисловодская котловина является одним из немногих регионов, отличающихся уникальной сохранностью археологических памятников и ландшафтов [Борисов, Коробов, 2013]. Причина кроется

в том, что, в отличие от других уголков Кавказа, количество населения в Кисловодской котловине постоянно то увеличивалось, то уменьшалось, вплоть до практически полного его исчезновения. Резкое снижение численности населения здесь приходится на XIV–XVIII вв.: тогда, в период незадолго до основания Кисловодской крепости в 1803 г., население в регионе практически отсутствовало [Кузнецов, 1992; Афанасьев и др., 2004].

Точно определить причины этого явления довольно трудно, но последствия его для памятников археологии оказались весьма благоприятными. Еще одним обстоятельством, способствующим сохранности древних ландшафтов и объектов, является хозяйственное использование данной территории исключительно для нерегулярных выпасов и сенокосов [Шаманов, 1972] и полное отсутствие земледелия практически на всем изучаемом пространстве в новое и новейшее время.

После основания г. Кисловодска за период XIX–XX вв. от выборки камня пострадали расположенные вблизи г. Кисловодска каменные крепости, оказались разграблены многочисленные курганные группы. Но удаленные от территории современной застройки поселенческие объекты, а также участки древнего земледелия разных форм в неприкосновенности сохранились до нашего времени [Борисов, Коробов, 2013].

Первые следы заселения Кисловодской котловины относятся к эпохе энеолита. Однако ввиду отсутствия в регионе выходов кремня или другого материала для изготовления каменных орудий [Любин, Беляева, 2002] памятники этого времени единичны, а стоянки более раннего времени неизвестны. Таким образом, согласно современным взглядам, первые обитатели Кисловодской котловины появляются здесь в V — середине IV тысячелетия до н.э.

Во второй половине IV–III тысячелетий до н.э., когда появляются поселения майкопской культуры, количество населения в Кисловодской котловине увеличивается. На сегодняшний день в регионе известно 13 памятников этого времени [Кореневский, 2004]. Известны работы, в которых предполагается наличие земледелия у населения майкопского времени [Скрипникова, 2004], однако его масштабы при столь малой численности населения были невелики [Борисов, Коробов, 2013].

В последующую эпоху среднего бронзового века (II тысячелетие до н.э.) в регионе возникает большое количество памятников северокавказской катакомбной культуры. При этом наблюдается практически полное отсутствие поселений этого времени [Кореневский,

1990]. Поэтому говорить о каком-либо интенсивном антропогенном преобразовании почв в это время нет оснований.

Последующий период на территории района исследований практически не представлен; с XIV по XII–XI вв. до н.э. имеются единичные памятники [Кореневский, 1990]. При этом в данный период на горных плато к югу от Кисловодской котловины наблюдается высокая концентрация населения [Белинский и др., 2009; Reinhold et al., 2007].

Новая страница заселения Кисловодской котловины связана с носителями кобанской культурной традиции позднего бронзового века [Козенкова, 1989]. Первые памятники кобанской культуры появляются в котловине в XII–XI вв. до н.э. в верхнем и среднем течении рек Подкумок и Эшкакон [Козенкова, 1989]. Но уже через небольшой промежуток времени практически вся котловина покрывается густой сетью достаточно крупных поселений. Именно с этим этапом заселения связаны беспрецедентные по своим масштабам антропогенные преобразования почв и ландшафтов в связи с высоким уровнем террасного земледелия у кобанского населения. В период с IX по VI вв. до н.э. более половины территории Кисловодской котловины оказалось распаханно и террасировано, что послужило причиной палеоэкологической катастрофы в середине первого тысячелетия до н.э. в связи с резким изменением природных условий [Борисов и др., 2012; Борисов, Коробов, 2009, 2013]. В результате столь масштабного преобразования почв и ландшафтов в кобанскую эпоху практически невозможно найти целинные участки в восточной части Кисловодской котловины.

Примечательно, что в западной части региона влияние кобанского земледелия на почвы и ландшафты практически не проявляется. Именно поэтому в качестве ключевых участков для данной работы были выбраны объекты именно в этой части Кисловодской котловины.

После кобанского палеоэкологического кризиса середины первого тысячелетия до н.э. произошло практически полное исчезновение населения, в результате чего Кисловодская котловина опустела приблизительно на 500 лет. Новые немногочисленные обитатели появляются здесь лишь в I в. до н.э. — I в. н.э., и они связаны с автохтонными племенами, испытывавшими сильное влияние сарматской культуры [Габуев, Малашев, 2009; Березин, 2011]. До этого времени характерно отсутствие не только оседлого земледельческого населения, но и впускных захоронений в курганах.

На рубеже эр в регионе появляются первые поселения и могильники, относимые к среднему и позднему сарматским периодам (I в. до н.э. — IV в. н.э.), а также к раннему этапу аланской культуры (II–IV вв. н.э.). Эти памятники возникают в среднем течении р. Подкумок и в нижних течениях его притоков — на месте современной городской застройки г. Кисловодска. Это, как правило, небольшие укрепления, устроенные в виде выделенных с помощью рвов и эскарпов мысовых площадок, а также укрепления в виде курганообразных возвышенностей с небольшими рвами, которые рассматриваются как наблюдательные посты. Достоверные признаки наличия земледельческой зоны у этих памятников не выявлены [Коробов, 2010].

Со второй половины V в. н.э. в Кисловодской котловине широко распространяется обряд грунтовых камерных погребений в катакомбах Т-образного типа, традиционно соотносимых с аланским населением [Кузнецов, 1962; Афанасьев, 1993; Ковалевская, 2005]. К этому же периоду относятся многочисленные поселения, устроенные в виде каменных крепостей или открытых поселений. Плотность заселения Кисловодской котловины достигает своего максимума — к периоду раннего Средневековья, по данным Д.С. Коробова, относится 370 археологических памятников, среди которых 121 укрепленное и 132 неукрепленных поселений [Коробов, 2004]. (В рамках данной работы исследованы земледельческие поля именно этой группы населения.)

В последующий период, предположительно в середине VIII в. н.э., аланское население исчезает и вместе с этим кончается период активного освоения региона. Изменяется погребальный обряд, начинают практиковаться погребения под скальными навесами. Меняется также архитектура поселений, что прослеживается при раскопках двух ключевых крепостей этого времени: Указатель и Горное Эхо [Ковалевская, 2005; Аржанцева, 2007]. Численность населения, очевидно, резко сокращается, поэтому его вклад в преобразование почв и ландшафтов региона был, по всей видимости, минимальный.

В X в. н.э., когда в регион вновь приходят аланские племена, начинается расцвет аланской культуры эпохи государства Алании (X–XII вв. н.э.). К этому времени относятся четыре укрепленных и 16 неукрепленных поселений, приуроченных к течению р. Подкумок [Коробов, 2016б, т. 1 (в печати)]. Это были городские центры Аланского царства, находящиеся на основных торговых путях того времени [Ковалевская, 2005; Кузнецов, 1992].

Что касается земледельческой деятельности населения этого времени, то этот вопрос остается открытым. В работах Д.С. Коробова и А.В. Борисова не дается однозначный вывод о масштабах и формах агрогенного воздействия на почвы в этот период [Коробов, Борисов, 2012]. Под сомнение ставится сам факт наличия земледелия у этого населения, так как в окрестностях двух крупнейших памятников этого времени — Рим-горы и Уллу-Дорбунлы — не было выявлено признаков сельскохозяйственного использования почв [Борисов, Коробов, 2013].

В любом случае, объекты исследования, обсуждаемые в данной работе, находятся за пределами потенциальной экономической зоны поселений этого времени, и в почвах ключевых участков не было обнаружено ни одного фрагмента керамики эпохи развитого Средневековья.

В результате монгольского нашествия в середины XIII в. н.э. и последовавшего за ним разгрома кавказских государств Тамерланом в конце XIV в. н.э. в регионе исчезают памятники аланской культуры [Кузнецов, 1992]. На пять столетий регион практически обезлюдел. Известны лишь небольшое количество так называемых «кабардинских» курганов, датируемых в пределах XVI–XVIII вв. и редкие абазинские поселения [Броневский, 2004], исчезнувшие во время Кавказской войны. Единственным следом присутствия человека становятся сезонные карачаевские пастушьи загоны (коши).

Основание в 1803 г. Кисловодской крепости практически не отразилось на почвах и ландшафтах удаленных районов Кисловодской котловины. Эти территории продолжали использоваться в качестве пастбищ. Эта форма сельскохозяйственного воздействия на почвы сохранилась до второй половины XX в., после чего в связи с интенсификацией сельского хозяйства все большие площади земель стали отводить под сенокосы. Масштабы сенокосов несколько сократились в 90-е годы прошлого столетия, но в настоящее время практически вся территория Кисловодской котловины регулярно выкашивается.

Таким образом, Кисловодская котловина представляет собой уникальный район с дискретным характером заселения в историческое время. Это позволяет выбрать для изучения районы с одним хронологически хорошо датированным периодом освоения. При этом ни до, ни после этого периода, почвы не испытывали антропогенного воздействия и могут рассматриваться как залежи с периодом восстановления около 1500 лет.

4.1.2. Химические свойства и биологическая активность почв и культурных слоев поселения Подкумское-2

Поселение занимает мысовую площадку общими размерами 140×165 м, расположенную на первой террасе левого берега р. Подкумок. Площадка поселения неровная, она покрыта остатками строений, которые прослеживаются на поверхности террасы в виде ряда западин и отдельных задернованных возвышенностей, образованных развалами построек из речной гальки, соединенных стенами из того же материала. Образцы культурного слоя на поселении отбирали из разрезов Б-338 (первая зона освоения с развалами стен) и Б-341 (вторая зона освоения без следов построек).

Кроме того, в первой зоне освоения территории была заложена серия зондажей. Образцы культурного слоя из зондажей были отобраны с помощью почвенного бура. За пределами поселения заложены разрез на территории залежи (более 30 лет залежного состояния) и разрез на пастбищном участке (разрезы Б-339 и Б-340 соответственно). Разрез фоновой почвы располагался на участке, ограниченном со всех сторон глубокими балками с крутыми склонами, благодаря чему исключается любое хозяйственное использование на данной территории (разрез Б-341) (см. главу 3).

Исследуемые почвы и культурные слои не имели существенных различий по химическим свойствам и гранулометрическому составу (табл. 4.1). По морфологическим свойствам антропогенно-преобразованные почвы (залежь и выпас) и культурные слои отличались от фоновой почвы более светлой окраской гумусового горизонта и менее прочной структурой.

Влажность в различных горизонтах исследуемых почв варьировала в пределах от 2 до 5%, и лишь в почве выпасного участка в верхнем горизонте она достигала 16%. Также повышенная влажность наблюдалась на глубине 10–30 см культурного слоя первой зоны освоения.

Содержание $C_{\text{орг}}$ в верхнем горизонте было на уровне 5–6%, с глубиной происходило равномерное его уменьшение. Исключение составил лишь культурный слой во второй зоне освоения, где почти в два раза увеличилось содержания $C_{\text{орг}}$ на глубине 80–90 см по сравнению с вышележащим слоем.

Таблица 4.1. Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт (глубина), см	Влажность	C _{орг}	CaCO ₃	pH _{вод}	Содержание частиц, %	
		%				< 0.01 мм	< 0.001 мм
Б-342 (Фон)	0–10	4.9	5.4	41.8	7.9	14	3
	10–22	4.1	3.5	50.9	8.0	15	3
	22–33	2.4	1.3	58.3	8.1	25	10
Б-340 (Выпас)	0–10	16.3	5.2	35.9	7.9	18	6
	10–25	8.6	3.8	52.7	8.0	19	9
	25–35	7.0	2.4	62.8	8.2	23	9
Б-339 (Залежь)	0–10	4.3	4.9	43.7	8.0	17	6
	10–23	3.6	4.4	44.9	8.0	21	7
Б-338 (Первая зона)	0–10	5.7	5.0	20.9	7.9	8	4
	10–30	8.6	3.1	21.1	7.9	11	4
	30–40	4.1	3.2	44.9	8.2	17	5
Б-341 (Вторая зона)	0–10	4.3	5.6	44.9	8.0	12	4
	10–20	3.6	3.5	46.4	7.8	14	6
	20–30	3.3	2.5	48.5	8.0	16	7
	30–40	3.4	1.7	46.7	8.2	12	5
	40–50	3.3	1.7	44.9	8.3	19	7
	50–60	3.1	1.2	44.9	8.5	17	8
	60–70	2.6	1.2	47.9	8.4	22	8
	70–80	1.9	0.9	46.7	8.9	22	6
80–90	2.2	1.5	47.9	8.0	21	9	

Реакция среды во всех изученных почвах и культурных слоях была щелочной и в различных горизонтах регистрировалась на уровне значений 8–9.

Содержание CaCO₃ в различных горизонтах варьировало от 20 до 60%. Максимальные значения этого показателя были выявлены в нижних горизонтах почв фонового и выпасного участков, минимальные — в культурном слое первой зоны освоения территории, в слоях 0–10 и 10–30 см. В целом с глубиной происходило увеличение содержания CaCO₃, за исключением почвы залежного участка и культурного слоя второй зоны, где с глубиной этот показатель менялся незначительно. Гранулометрический состав во

всех изученных почвах варьировал от супесчаного в верхней части профиля до легкосуглинистого в нижней части, кроме культурного слоя первой зоны освоения территории, где весь профиль был супесчаным.

Существенные различия между фоновой и антропогенно-преобразованными почвами были выявлены лишь в отношении содержания подвижных фосфатов (табл. 4.2). Содержание фосфатов в почвах окрестностей поселения в различных горизонтах изменялось в пределах от 1.54 до 3.72 мг $P_2O_5/100$ г почвы, причем, если в фоновой и выпасной почвах происходило равномерное их уменьшение с глубиной, то в почве залежи по всей толще содержание фосфатов было примерно одинаковым. В культурных слоях поселения содержание подвижных фосфатов было существенно выше, чем в современных антропогенно-преобразованных почвах.

В культурном слое первой зоны освоения максимальное содержание фосфатов было выявлено на глубине 10–30 см, где оно было в 1.7 раза выше, чем в верхнем горизонте фоновой почвы.

В культурном слое второй зоны содержание подвижных фосфатов по всей толще изменялось в пределах от 5.00 до 13.82 мг $P_2O_5/100$ г почвы, с максимумом на глубине 50–60 см. Кроме того, здесь было определено содержание валового фосфора. Максимальные содержания валового фосфора, так же как и подвижных фосфатов, были выявлены на глубине 40–60 см, однако не было установлено тесной взаимосвязи между содержанием валового фосфора и подвижных фосфатов в толще культурного слоя (рис. 4.1).

Максимальное содержание нитратного азота (3.27 мг N/100 г почвы) выявлено в почве выпаса в горизонте A1, вниз по профилю оно уменьшалось до 0.94 мг N/100 г почвы (см. табл. 4.2). Примечательно, что в культурном слое первой зоны, предположительно используемой в качестве загонов для скота, содержание нитратного азота также было высоким, вниз по профилю оно уменьшалось от 2.73 до 0.27 мг N/100 г почвы. В почве залежного участка и в культурном слое второй зоны содержание $N-NO_3^-$ составляло 1.42 мг N/100 г почвы в верхнем горизонте (слое), и вниз по профилю происходило уменьшение его содержания. В культурном слое второй зоны на глубине 50–70 см содержание $N-NO_3^-$ было выявлено лишь в следовых количествах. В фоновой почве выявлено минимальное содержание нитратного азота, здесь оно не превышало 0.82 мг N/100 г почвы по всему профилю.

Таблица 4.2. Содержание минеральных форм азота и фосфатов в почвах и культурных слоях ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт (глубина), см	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ _{обм}	P ₂ O ₅	
		мг/100 г почвы		подвижные фосфаты, мг/100 г почвы	валовый фосфор, %
Б-342 (Фон)	0–10	0.82	1.10	3.21	н.д.
	10–22	0.43	0.90	2.84	н.д.
	22–33	сл.	0.21	1.54	н.д.
Б-340 (Выпас)	0–10	3.27	1.30	3.42	н.д.
	10–25	1.21	0.45	2.61	н.д.
	25–35	0.94	0.25	1.87	н.д.
Б-339 (Залежь)	0–10	1.42	0.85	3.62	н.д.
	10–23	0.71	0.63	3.72	н.д.
Б-338 (Первая зона)	0–10	2.73	0.94	4.90	н.д.
	10–30	1.72	1.74	5.24	н.д.
	30–40	0.27	0.33	2.96	н.д.
Б-341 (Вторая зона)	0–10	1.26	1.70	5.31	0.73
	10–20	0.19	0.92	5.00	0.83
	20–30	0.08	0.49	5.12	0.94
	30–40	0.18	0.30	6.72	0.83
	40–50	0.10	0.31	9.81	1.06
	50–60	сл.	0.21	13.82	1.05
	60–70	сл.	0.25	8.24	0.79
	70–80	0.19	0.59	9.11	0.71
80–90	0.18	0.21	7.12	0.80	

Примечание. Здесь и далее: н.д. — нет данных; сл. — следы.

Содержание азота обменного аммония (N-NH₄⁺_{обм}) в целом также уменьшалось с глубиной, и максимальное его содержание было выявлено в культурном слое первой и второй зон освоения на глубине 10–30 и 0–10 см соответственно, где эти показатели достигали 1.74 мг N/100 г почвы. В почвах за пределами поселения содержание N-NH₄⁺_{обм} не превышало 1.30 мг N/100 г почвы, максимальные его значения были выявлены в почве выпаса, минимальные — в почве залежного участка. Следует отметить, что практически во всех изученных почвах и культурных слоях нит-

ратная форма азота преобладала над аммонийной. Исключением были фоновая почва и культурный слой во второй зоне освоения. И если в случае с фоновой почвой преобладание аммонийной формы азота можно рассматривать как показатель устойчивости экосистемы [Умаров и др., 2007], то высокое содержание азота обменного аммония в культурном слое второй зоны поселения связано, по всей видимости, с особенностями использования территории.

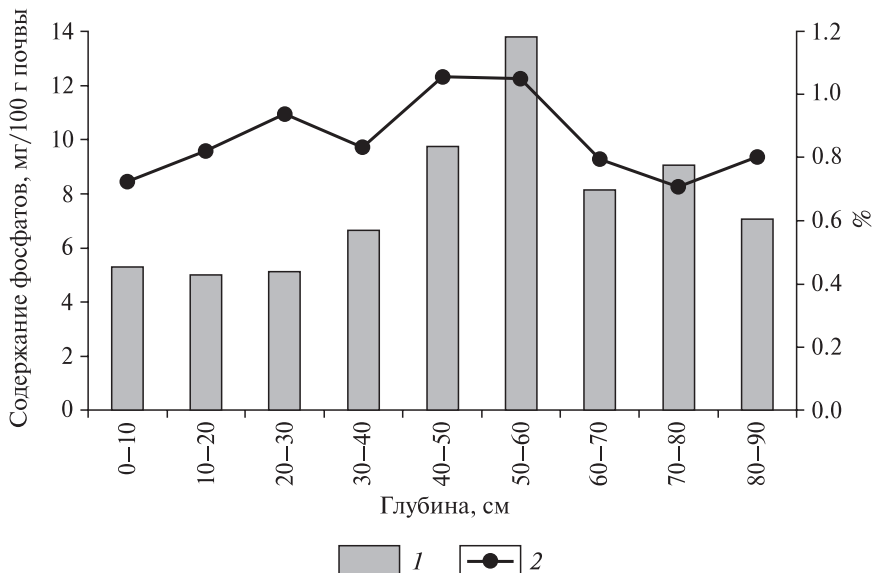


Рис. 4.1. Содержание подвижных фосфатов и валового фосфора в культурном слое второй зоны освоения (разрез Б-341)

1 — подвижные фосфаты; 2 — валовый фосфор

Таким образом, селитебная нагрузка привела к существенному изменению химических свойств почв и к формированию культурного слоя как результата бытовой и производственной деятельности человека и почвообразовательного процесса. Для культурного слоя характерно резкое изменение морфологических свойств, увеличение содержания подвижных фосфатов и валового фосфора. Кроме того, хозяйственная деятельность человека привела к увеличению содержания нитратного азота, и в наибольшей степени это было характерно для культурного слоя на участке, где предположительно содержался скот.

Биологическая активность почв и культурных слоев

Суммарная микробная биомасса. Численность микробных клеток (кл.) в различных горизонтах исследуемых почв и культурных слоев варьировала в пределах от 1.83 до $7.64 \cdot 10^{11}$ кл. в 1 г почвы. На основе этого показателя была рассчитана суммарная микробная биомасса (СМБ) (рис. 4.2; табл. 4.3).

В современных дерново-карбонатных почвах максимальная СМБ была характерна для почвы фонового участка, где она составляла 3966 мкг С/г почвы (средневзвешенная величина по всему профилю). Кроме того, в этой почве была отмечена тенденция к увеличению биомассы микроорганизмов в нижней части профиля, здесь в горизонте АС ее значения возросли до 5610 мкг С/г почвы.

Значительное увеличение численности бактерий, растущих на мясо-пептонном и крахмало-аммиачном агарах, в средней и нижней частях профиля дерново-карбонатных почв, уже отмечалось ранее некоторыми авторами [Казеев и др., 2004].

В почве выпаса была выявлена минимальная СМБ, здесь ее средневзвешенная величина составляла 1618 мкг С/г почвы, при этом наименьшей микробной биомассой характеризовался горизонт АВ. В почве залежи средневзвешенная величина СМБ по профилю составила 1760 мкг С/г почвы.

В культурных слоях поселения Подкумское-2 максимальная СМБ была выявлена в почве второй зоны освоения (разрез Б-341). Здесь отсутствовали какие-либо закономерности в распределение микробных клеток по профилю. В слое 0–10 см СМБ была почти вдвое меньше, чем в верхнем горизонте фоновой почвы, однако в слое 10–20 см произошло ее увеличение до 4170 мкг С/г почвы. В нижележащих слоях содержание микроорганизмов колебалось в пределах от 1950 до 3030 мкг С/г почвы. В культурном слое первой зоны освоения вниз по профилю произошло увеличение СМБ с 1690 мкг С/г почвы в слое 0–10 см до 3490 мкг С/г почвы — в слое 30–40 см.

Из вышесказанного следует, что антропогенная нагрузка, имевшая место около 1500 лет назад, привела к существенному сокращению суммарной биомассы микроорганизмов в почвах и к изменению профильного распределения этого показателя. Так, в антропогенно-преобразованных почвах и культурных слоях СМБ была в 1.6–2.5 раза ниже, чем в фоновой почве.

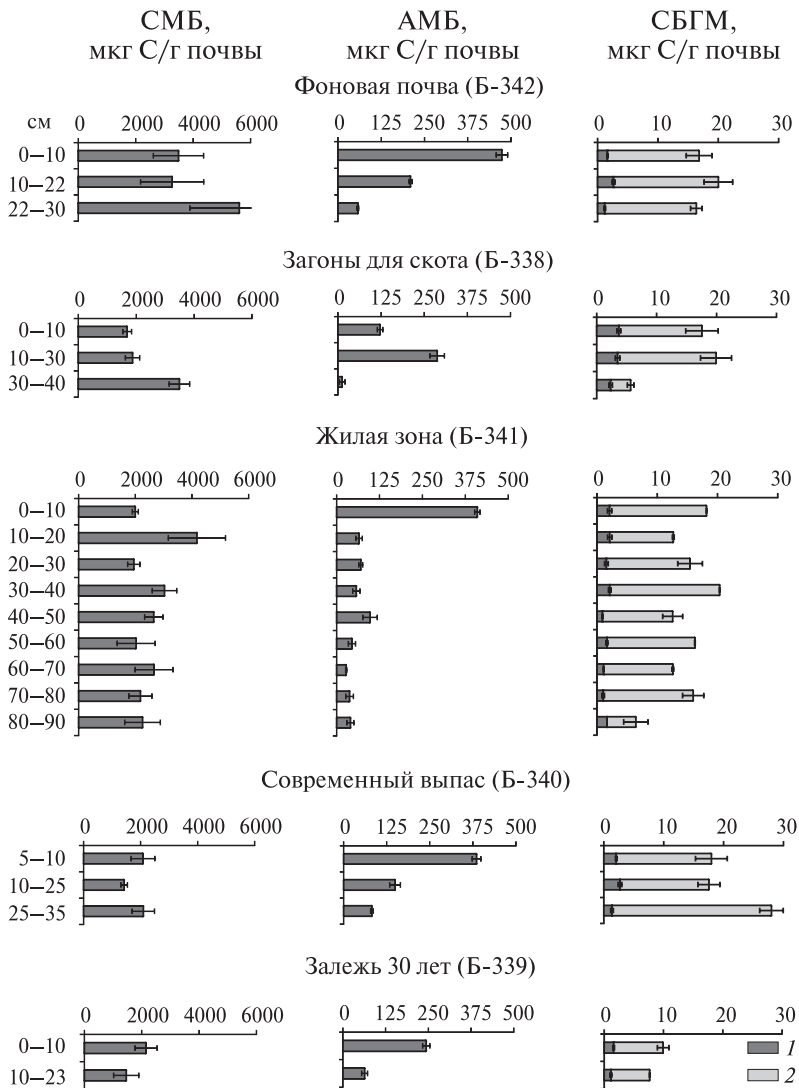


Рис. 4.2. Микробная биомасса в почвах и культурных слоях ключевого участка Подкумское-2

СМБ — суммарная микробная биомасса; АМБ — активная микробная биомасса; СБГМ — суммарная биомасса грибного мицелия: 1 — темноокрашенного, 2 — светлоокрашенного

Таблица 4.3. Микробиологические параметры почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт (глубина), см	Микробная биомасса, мкг С/г почвы		Численность		
		суммарная	активная	микроорганизмов, кл.·10 ¹¹ /г почвы	сапротрофных бактерий, кл.·10 ⁶ /г почвы	термофильных бактерий, кл.·10 ³ /г почвы
Б-342 (Фон)	0-10	3490±875	474±17	4.36±0.89	1.27±0.15	–
	10-22	3268±1100	210±4	4.09±1.11	1.44±0.08	–
	22-30	5606±1717	58±2	7.01±2.15	0.52±0.01	–
Б-340 (Выпас)	0-10	2084±419	386±13	2.60±0.52	7.45±0.26	0.8±0.4
	10-25	1424±113	149±15	1.78±0.14	4.22±0.21	–
	23-35	2095±394	82±4	2.62±0.49	2.42±0.26	–
Б-339 (Залежь)	0-10	2150±383	244±11	2.69±0.48	2.01±0.22	1.5±1.1
	10-23	1460±441	64±9	1.83±0.55	2.80±0.43	3.5±1.2
Б-338 (Первая зона)	0-10	1689±150	122±8	2.11±0.19	3.59±0.72	–
	10-30	1875±247	288±21	2.34±0.25	5.69±0.29	–
	30-40	3492±354	12±8	4.37±0.44	0.39±0.10	–
Б-341 (Вторая зона)	0-10	1999±104	410±8	2.50±0.13	5.51±0.53	–
	10-20	4172±1011	65±9	7.64±2.59	1.12±0.26	–
	20-30	1947±217	70±6	2.43±0.27	5.07±0.58	–
	30-40	3031±434	57±11	3.70±0.54	1.44±0.21	–
	40-50	2652±324	97±21	3.31±0.40	1.68±0.38	–
	50-60	2029±668	45±11	2.54±0.84	1.59±0.15	–
Б-340 (Фон)	60-70	2660±667	28±2	3.33±0.83	1.45±0.05	–
	70-80	2182±407	38±11	2.73±0.51	1.53±0.07	–
	80-90	2255±627	40±10	2.82±0.63	1.15±0.19	–

Биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы (активная микробная биомасса). В исследуемых почвах максимальная активная микробная биомасса (АМБ) (см. рис. 4.2 и табл. 4.3) была выявлена в почве фонового участка, отдаленного от поселения и не используемого в сельскохозяйственных целях (разрез Б-342). В горизонте А1 она составила 474 мкг С/г почвы, вниз по профилю произошло резкое ее уменьшение до 210 и 58 мкг С/г почвы в горизонтах АВ и АС соответственно.

Аналогичный характер распределения биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, наблюдался и в почве выпаса (разрез Б-340). В данном случае значения этого показателя были заметно меньше: в горизонте А1 активная микробная биомасса составляла 386 мкг С/г почвы, в горизонте АВ — 149 мкг С/г и в горизонте АС — 82 мкг С/г почвы. Наименьшие значения АМБ были характерны для почвы залежи, где в верхнем слое они были в 1.5 раза меньше, чем в фоновой почве. Значительное уменьшение микробной биомассы при распашке отмечалось и в ряде других работ [Полянская и др., 1997; Rasmussen et al., 1994; Schnurer et al., 1985; Mikanova et al., 2009]. Характерно, что в горизонте АС фоновой почвы и почвы выпаса биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была примерно одинаковой.

В культурных слоях наблюдалась иная картина распределения активной микробной биомассы по профилю.

Так, в культурном слое, расположенном в первой зоне освоения территории (разрез Б-338) в слое 0–10 см биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была существенно меньше, чем в почвах окрестностей поселения, и составила 122 мкг С/г почвы. Однако на глубине 10–30 см произошло увеличение АМБ до 288 мкг С/г почвы, а на глубине 30–40 см значения активной микробной биомассы резко уменьшились до 12 мкг С/г почвы.

В культурном слое второй зоны освоения территории (разрез Б-341), напротив, в верхнем горизонте активная микробная биомасса была на уровне таковой в фоновой почве, затем она резко уменьшилась до 28–70 мкг С/г почвы. Во всей толще культурного слоя значения активной микробной биомассы были очень низкими, и лишь на глубине 40–50 см АМБ составила 97 мкг С/г почвы.

В культурных слоях первой зоны освоения, отобранных из зондажей, значения активной микробной биомассы были близки к таковым в фоновой почве, либо выше (табл. 4.4).

Таблица 4.4. Химические и биологические свойства культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Зондаж, номер	Глубина, см	Влажность		C _{орг}	АМБ, мкг С/г почвы	C _{мик} /C _{орг} , %	qCO ₂ , мкг С-CO ₂ /мг С _{мик} /ч	Уреазная активность, мкг N-NH ₄ ⁺ /г почвы/ч
		%						
1	0-20	6.4	5.7	374±23	0.66	0.51	440.3±5.2	
	20-30	5.8	4.7	172±4	0.37	0.87	376.3±21.5	
	30-40	4.1	2.8	86±22	0.31	0.87	170.1±2.9	
	40-50	3.4	2.2	23±5	0.10	4.76	138.8±0.5	
	50-60	3.3	1.4	28±6	0.20	0.72	71.4±3.5	
	60-70	3.1	0.4	18±5	0.48	0.64	16.8±3.0	
	0-10	6.4	6.0	321±19	0.54	1.10	389.1±19.5	
2	10-20	4.8	4.0	125±6	0.31	1.55	216.4±3.2	
	20-30	4.4	3.0	44±4	0.15	2.27	173.4±3.2	
	30-40	3.9	2.6	41±3	0.15	1.81	138.5±7.9	
	40-50	4.2	2.4	63±15	0.26	1.93	172.6±13.4	
	50-60	2.0	1.0	37±6	0.35	0.89	51.8±2.3	
	0-20	5.9	5.2	277±33	0.53	0.75	291.0±6.7	
	20-40	5.6	3.9	68±3	0.17	1.14	187.1±5.8	
5	40-60	4.6	3.3	44±6	0.13	17.91	139.2±8.7	
	60-80	5.5	2.6	27±4	0.10	24.64	95.4±6.7	
	0-10	8.2	6.0	272±45	0.45	2.80	377.0±16.5	
	10-20	5.7	5.5	213±4	0.38	2.87	321.8±1.2	
	20-30	4.9	2.9	63±3	0.21	2.15	189.1±14.5	
	7							

Таблица 4.4. Окончание

Зондаж, номер	Глубина, см	Влажность		$C_{\text{орг}}$	АМБ, мкг С/г почвы	$C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}, \%$	$q\text{CO}_2$, мкг С-СО ₂ /мг С _{мик} /ч	Уреазная активность, мкг N-NH ₄ ⁺ /г почвы/ч
		%						
7	30-40	5.6	1.6	37±2	0.23	1.36	104.6±2.3	
	40-50	4.1	1.1	27±8	0.25	0.82	98.4±2.2	
9	0-20	6.1	5.5	542±5	0.98	0.27	389.2±6.3	
	20-40	5.6	4.0	109±4	0.27	0.44	301.1±5.4	
	40-60	4.2	2.6	32±5	0.13	0.00	173.5±8.8	
10	0-20	4.1	3.2	72±10	0.22	3.25	119.2±1.2	
	20-40	6.6	6.1	233±6	0.38	0.73	224.7±3.6	
12	0-10	5.3	5.8	527±27	0.90	0.59	330.9±9.5	
	10-20	5.4	4.0	154±2	0.38	0.22	200.7±6.1	
	20-30	5.0	3.1	43±6	0.14	0.77	188.2±4.4	
	30-40	3.9	2.9	50±10	0.17	0.93	183.6±5.2	
	40-50	3.4	1.5	24±3	0.16	0.02	66.1±11.3	
	50-60	4.3	1.4	9±5	0.06	3.45	52.8±0.1	
60-70	4.8	1.5	13±9	0.09	1.31	35.1±2.7		
	4.2	2.0	13±12	0.07	2.86	52.8±1.4		

Примечание. Экофизиологический коэффициент — $q\text{CO}_2$ и отношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ пояснены в тексте.

Максимальная биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была выявлена в образцах культурного слоя, отобранных из зондажей 9, где она составляла около 542 мкг С/г почвы, и 12, где она была равна 527 мкг С/г почвы. В культурном слое зондажа 12 не наблюдалось каких-либо закономерностей в профилном распределении микроорганизмов, отмечено лишь незначительное увеличение активной микробной биомассы на глубине 30–40 см. В слоях 50–60, 60–70 и 70–80 см полученные значения были недостоверными.

В культурных слоях из зондажей 1, 2, 5 и 7 значения активной микробной биомассы в верхнем слое составляли 374, 321, 277 и 272 мкг С/г почвы соответственно.

В изученных культурных слоях, за исключением зондажей 5, 7 и 9, на различных глубинах фиксировались вторые максимумы возрастания значений микробной биомассы. Минимальная биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была выявлена в зондаже 10, расположенном в 10 м от разреза Б-338. Здесь в верхнем слое она составляла 72 мкг С/г почвы, а в нижележащем слое произошло ее увеличение до 233 мкг С/г почвы.

Увеличение активной микробной биомассы на различных глубинах культурного слоя может свидетельствовать о значительных поступлениях различных органических материалов во время его формирования, так как при поступлении органических субстратов в почву происходит увеличение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы [Kandeler, Eder, 1993; Plaza et al., 2004; Guerrero et al., 2007; Melero et al., 2007; Масютенко и др., 2008; Liu et al., 2010; Giacometti et al., 2013].

В современных антропогенно-преобразованных дерново-карбонатных почвах в окрестностях поселения отношение активной микробной биомассы к суммарной было максимальным в почве выпасного участка (разрез Б-340), где вниз по профилю соотношение АМБ/СМБ уменьшилось от 19 до 4%. В почве залежного участка (разрез Б-339) АМБ/СМБ по профилю изменялось от 11 до 4%. На территории поселения максимальное соотношение АМБ/СМБ наблюдалось в слое 0–10 см культурного слоя второй зоны освоения, где оно составляло 21%, а в нижележащих слоях эти значения не превышали 4%. В культурном слое первой зоны освоения это соотношение достигало 15% в слое 10–30 см. В почве фонового участка доля активной микробной биомассы от суммарной, несмотря на высокое содержание последней, не превышала 14%. Это говорит о

том, что в фоновой почве, по сравнению с почвой выпасного участка, бóльшая часть микробного сообщества находится в покоящемся состоянии.

Таким образом, в культурных слоях поселения было выявлено уменьшение активной микробной биомассы, при этом значения этого показателя варьировали в зависимости от характера использования территории. Так, в культурных слоях первой зоны освоения, где, предположительно, содержался скот, активная микробная биомасса, как правило, была в 1.5 раза выше, чем в культурном слое второй зоны освоения. При этом не обнаружены какие-либо закономерности профильного распределения АМБ в культурном слое. Что касается современных антропогенно-преобразованных почв, то максимальные значения активной микробной биомассы были характерны для почвы фонового участка, где этот показатель был в 1.8 раза выше, чем в почвах выпаса и залежи.

Суммарная биомасса грибного мицелия. Длина грибного мицелия в различных горизонтах изученных почв варьировала от 6 до 27 м/г почвы. На основе этого показателя была рассчитана суммарная биомасса грибного мицелия (СБГМ) (табл. 4.5; см. рис. 4.2) с учетом среднего диаметра гиф, равного 4 мкг.

Наибольшая биомасса грибного мицелия была выявлена в горизонте АС современной почвы выпаса, где она составляла около 28 мкг С/г почвы, а в вышележащих горизонтах ее значения не превышали 18 мкг С/г почвы. Несколько меньшее содержание микроскопических грибов наблюдалось в почве фонового участка, где биомасса их мицелия варьировала в пределах от 17 мкг С/г почвы в горизонтах А1 и АС до 20 мкг С/г почвы в горизонте АВ. При умеренной пастбищной нагрузке, если не происходит смены растительности, как правило, не происходит и существенного изменения структуры сообщества микроскопических грибов [Марфенина, 2005; Казеев и др., 2012]. Этим можно объяснить отсутствие достоверных различий между почвами фонового и выпасного участков. Наименьшие значения биомассы грибного мицелия были выявлены в современной почве залежи, где вниз по профилю они уменьшались от 10 до 8 мкг С/г почвы. Таким образом, даже весьма непродолжительный срок сельскохозяйственного использования территории привел к существенному сокращению содержания микроскопических грибов. Этот факт уже отмечался ранее [Полянская и др., 1997; Лысак и др., 2004; Полянская, Звягинцев, 2005; Jiang et al., 2011].

Таблица 4.5. Длина и биомасса грибного мицелия в почвах и культурных слоях ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт (глубина), см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса мицелия, мкг С/г почвы		Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			темноокрашенного	светлоокрашенного		
Б-342 (Фон)	0-10	15.9±2.1	1.65±0.08	15.17±2.14	16.82±2.22	90.2
	10-22	19.0±2.5	2.64±0.23	17.36±2.37	20.01±2.60	86.8
	22-30	15.5±1.0	1.19±0.14	15.16±0.96	16.35±1.10	92.7
Б-340 (Выпас)	0-10	17.0±2.6	2.07±0.13	15.89±2.66	17.96±2.79	88.5
	10-25	16.6±2.0	2.70±0.29	14.85±1.83	17.55±2.12	84.6
	23-35	26.5±2.1	1.35±0.22	26.63±1.97	27.99±2.19	95.2
Б-339 (Залежь)	0-10	9.4±1.4	1.60±0.15	8.34±0.97	9.94±1.12	83.9
	10-23	7.3±0.2	1.14±0.16	6.53±0.05	7.67±0.20	85.1
Б-338 (Первая зона)	0-10	16.6±2.9	3.70±0.33	13.86±2.71	17.56 ±3.03	78.9
	10-30	18.9±2.8	3.48±0.38	16.43±2.58	19.91±2.96	82.5
	30-40	5.4±0.8	2.34±0.29	3.33±0.55	5.67±0.84	58.8
Б-341 (Вторая зона)	0-10	15.0±2.1	2.09±0.36	16.08±0.01	18.17±0.37	88.5
	10-20	10.6±1.5	2.12±0.36	10.54±0.14	12.67±0.50	83.2
	20-30	13.8±1.8	1.57±0.31	13.88±2.05	15.45±2.36	89.8
	30-40	18.4±0.9	2.12±0.20	18.23±0.01	20.35±0.21	89.6
	40-50	11.6±1.2	0.92±0.08	11.64±1.65	12.56±1.73	92.7
	50-60	15.8±0.8	1.65±0.15	14.60±0.06	16.25±0.21	89.8

Таблица 4.5. Окончание

Разрез	Горизонт (глубина), см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса мицелия, мкг С/г почвы		Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			темноокрашенного	светлоокрашенного		
Б-341 (Вторая зона)	60–70	13.1±1.0	1.10±0.05	11.49±0.13	12.59±0.18	91.3
	70–80	15.6±1.0	1.04±0.20	14.92±1.76	15.96±1.96	93.5
	80–90	5.6±1.5	1.67±0.01	4.77±2.02	6.44±2.03	74.1

Иные закономерности выявлены в отношении биомассы грибного мицелия в культурных слоях поселения. Так, в культурном слое, сформированном в первой зоне освоения территории (разрез Б-338), максимальная биомасса грибного мицелия была отмечена на глубине 0–30 см, где она составляла 18–20 мкг С/г почвы. При этом содержание микроскопических грибов было лишь не намного меньше, чем в современной фоновой почве. Во второй зоне освоения территории (разрез Б-341) биомасса микроскопических грибов по профилю изменялась от 6 до 20 мкг С/г. Минимальные значения были выявлены в слое 80–90 см, а максимальные в слое 30–40 см. Кроме того, в этой почве наблюдался довольно сложный характер распределения микроскопических грибов. Здесь было выявлено несколько максимумов: в слое 0–10, 30–40, 50–60 и 70–80 см.

Во всех изученных почвах в структуре грибного мицелия преобладали светлоокрашенные гифы, их доля в различных горизонтах изученных почв и культурных слоях составляла 60–95%. Максимальная доля темноокрашенного мицелия была выявлена в культурном слое первой зоны. Темноокрашенный мицелий содержит пигменты типа меланинов, которые определяют его устойчивость против лизиса и высыхания [Демкина и др., 2010]. Поэтому можно предположить, что в культурном слое первой зоны освоения сложились наиболее неблагоприятные условия для микроскопических грибов вследствие антропогенного прессинга.

Таким образом, в культурных слоях поселения значения СБГМ были сопоставимы со значениями этого показателя для

верхних горизонтов фоновых почв, но без характерных закономерностей изменения с глубиной. В современных антропогенно-преобразованных почвах на величину суммарной биомассы грибного мицелия наибольшее влияние оказала распашка; при этом за 30 лет пребывания в залежном состоянии не произошло восстановления этого показателя до уровня фоновых значений.

Численность сапротрофных бактерий. Численность этих бактерий в современных антропогенно-преобразованных почвах и в культурных слоях аланского времени существенно превышала таковую для фоновой почвы (рис. 4.3; см. табл. 4.3).

В культурных слоях на территории поселения максимальная численность сапротрофных бактерий была выявлена в первой зоне освоения (разрез Б-338), где она составляла 3.84 млн кл./г почвы, причем максимум этого показателя был отмечен на глубине 10–30 см.

В культурном слое второй зоны освоения этот показатель был в 1.7 раза ниже, причем здесь наблюдалось два максимума в слое 0–10 и 20–30 см.

В современных антропогенно-преобразованных почвах максимальная численность сапротрофных бактерий была выявлена в почве выпасного участка (разрез Б-340), где она составляла 4.00 млн кл./г почвы (средневзвешенная величина по профилю), что было в 3.5 раза выше, чем в фоновой почве (разрез Б-342).

В почве залежного участка численность сапротрофов составляла 2.46 млн кл./г почвы.

Во всех изученных почвах, кроме почвы выпасного участка, профильные различия численности сапротрофных бактерий были недостоверными, однако в фоновой почве и почве залежного участка отмечалась тенденция к их увеличению в средней и нижней частях профиля.

На основании полученных данных можно заключить, что антропогенная нагрузка, имевшая место в древности, могла увеличить численность сапротрофных бактерий в почвах и культурных слоях и эти изменения могли сохраниться до наших дней. Что касается современных антропогенно-преобразованных почв, то увеличение в них численности сапротрофов, по сравнению с фоновыми, незагрязненными органическими материалами почвами, было показано ранее [Мишустин и др., 1979].

Численность термофильных бактерий. Термофильные бактерии — это специфическая группа микроорганизмов, которая попадает в почву в основном с навозом или компостами, богатыми этими микро-

организмами. В почвах они могут сохраняться в покоящемся состоянии. Обилие термофилов в почвах зависит в основном от степени их сельскохозяйственного использования [Мишустин и др., 1979].

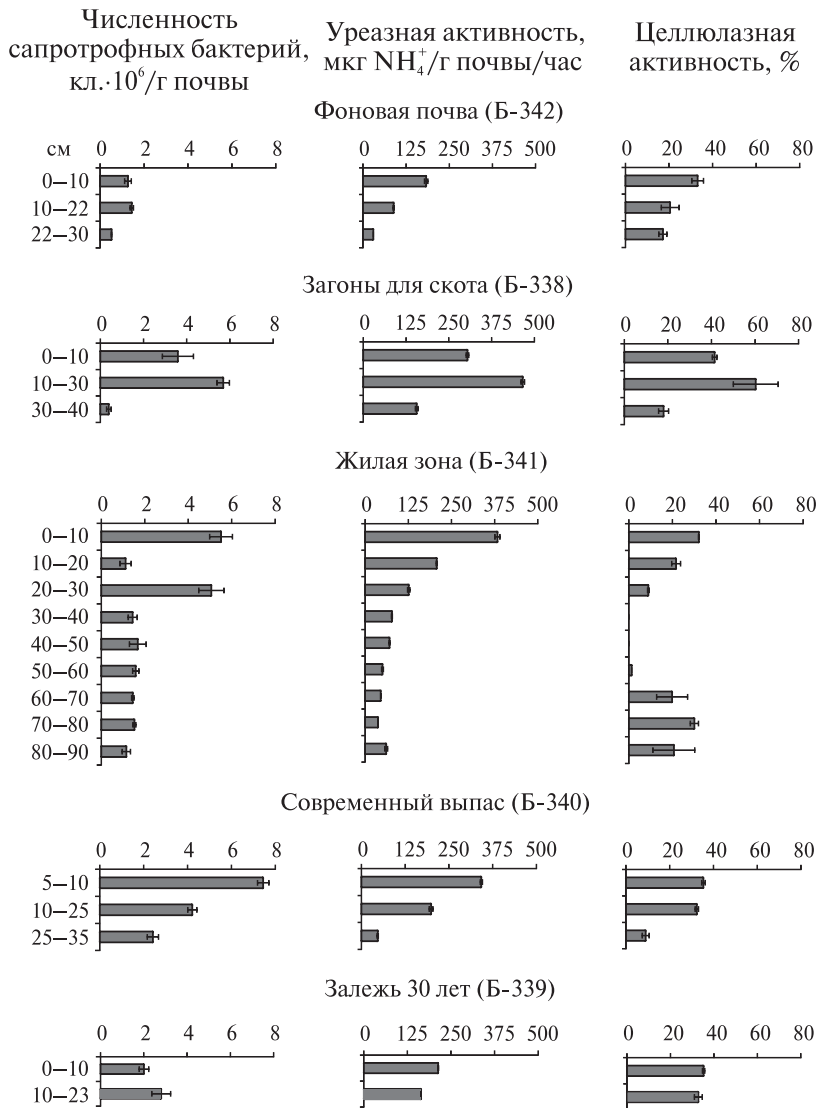


Рис. 4.3. Численность сапротрофных микроорганизмов и ферментативная активность почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

В изученных почвах термофильные микроорганизмы были выявлены лишь в почвах выпасного и залежного участков (см. табл. 4.3). Причем, если в почве выпасного участка термофилы выявлялись только в верхнем горизонте, и их численность не превышала показатели для незагрязненных почв [Методические указания..., 1977], то в почве залежного участка по всему профилю регистрировалась довольно высокая численность микроорганизмов этой группы. Максимальное обилие термофильных бактерий здесь наблюдалось в нижней части профиля на глубине 10–23 см, где их численность составляла 3.5 тыс. кл./г почвы. Повышение обилия термофилов на данном участке, по-видимому, связано с внесением навоза более 20 лет назад.

В культурных слоях первой и второй зоны освоения территории термофильные микроорганизмы не были выявлены. Отсутствие термофильных микроорганизмов в культурном слое зоны предположительного содержания скота обусловлено тем, что здесь не могли создаваться необходимые условия для образования термофилов, так как в значительных количествах они образуются только при созревании навоза и повышении температуры при этом до 50–65 °С.

Уреазная активность. На прилегающих к поселению участках максимальная уреазная активность была выявлена в современной почве выпаса, где в верхнем горизонте она составляла 343 мкг NH_4^+ /г почвы/ч, а в горизонтах АВ и АС ее значения уменьшались до 199 и 47 мкг NH_4^+ /г почвы/ч соответственно (табл. 4.6; см. рис. 4.3). Заметное возрастание уреазной активности в почвах, используемых в качестве выгонов, ранее отмечалось и другими авторами [Мукатанов, 1979; O'Tool et al., 1985; Paz-Ferreiro et al., 2007].

На залежном участке уреазная активность была несколько меньше, вниз по профилю происходило ее уменьшение с 213 до 164 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. В почве фонового участка были выявлены минимальные значения уреазной активности, и вниз по профилю здесь произошло более резкое ее уменьшение. Так, в горизонте АВ уреазная активность составила 89 мкг NH_4^+ /г почвы/ч, что было вдвое меньше, чем в почвах залежи и выпаса.

Уреазная активность культурных слоев поселения, в целом, была больше, чем в современных дерново-карбонатных почвах, прилегающих к поселению (см. рис. 4.3 и табл. 4.6). В культурных слоях первой зоны (предполагаемой зоны содержания скота) она варьировала в пределах от 119 до 389 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. В культурном слое разреза Б-338 на глубине 0–10 см уреазная активность не превышала 305 мкг NH_4^+ /г почвы/ч, однако в нижележащем

слое ее значения достигали 466 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. Аналогичный характер распределения уреазной активности наблюдался и в культурном слое из зондажа 10, здесь также вниз по профилю произошло ее увеличение с 119 до 255 мкг NH_4^+ /г почвы.

Таблица 4.6. Ферментативная активность почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт (глубина), см	Уреазная активность, мкг NH_4^+ /г почвы/ч	Целлюлазная активность, %
Б-342 (Фон)	0–10	183.0±4.9	33.2±2.7
	10–22	88.9±1.5	20.5±4.1
	22–30	30.1±0.1	17.2±1.8
Б-340 (Выпас)	0–10	342.6±3.2	35.4±0.8
	10–25	199.0±5.2	32.4±0.7
	23–35	46.6±1.5	9.0±1.6
Б-339 (Залежь)	0–10	213.3±1.2	35.3±0.5
	10–23	164.1±0.3	32.8±1.8
Б-338 (Первая зона)	0–10	304.6±3.7	41.5±1.0
	10–30	465.9±5.0	60.3±10.3
	30–40	156.1±3.6	18.0±2.3
Б-341 (Вторая зона)	0–10	383.1±7.1	32.2±0.2
	10–20	207.3±1.6	21.7±2.0
	20–30	126.2±3.4	9.0±0.4
	30–40	77.5±1.4	–
	40–50	70.8±1.1	–
	50–60	50.2±2.7	1.3±0.0
	60–70	45.2±0.2	19.9±7.1
	70–80	37.2±0.4	30.1±1.9
80–90	61.1±3.9	20.7±9.6	

Иной характер профильного распределения уреазной активности выявлен в культурном слое второй зоны освоения (предположительно, жилой зоны). Здесь в разрезе Б-341 в верхнем слое регистрировалась довольно высокая уреазная активность. Вниз по профилю произошло значительное ее уменьшение. На различных глубинах в толще культурного слоя второй зоны уреазная активность варьировала в пределах от 37 до 207 мкг NH_4^+ /г почвы/ч; в слое 80–90 см отмечалось значительное увеличение уреазной

активности относительно вышележащего слоя. Максимальные значения уреазной активности в верхнем горизонте были выявлены в культурных слоях зондажей 9 и 7, где они достигали 389 и 377 мкг NH_4^+ /г почвы/ч соответственно. Примечательно то, что во всех изученных почвах поселения на глубине 10–20 (20–40) см уреазная активность превышала таковую фоновой почвы в верхнем горизонте.

В верхних горизонтах культурного слоя первой и второй зоны уреазная активность была довольно близка. Однако если во всех почвах первой зоны освоения в подповерхностных слоях наблюдались довольно высокие значения уреазной активности, то в почве второй зоны они были значительно ниже. Высокий уровень уреазной активности в культурных слоях первой зоны скорее всего связан с использованием построек в качестве загонов для скота, поскольку в почвах при внесении навоза и других органических удобрений происходит достоверное увеличение уреазной активности [Dick et al., 1988; Garcia et al., 1998; Kandeler, Eder, 1993; Liu et al., 2010; Moeskops et al., 2010].

Целлюлазная активность. Целлюлазная активность во всех изученных почвах в верхнем горизонте регистрировалась на уровне 30–40% (см. рис. 4.3 и табл. 4.6). В современных почвах вблизи поселения происходило незначительное уменьшение целлюлазной активности вниз по профилю. Исключение составила лишь фоновая почва, где этот показатель существенно уменьшился с 33% в горизонте A1 до 21% в горизонте AC. Также значительное уменьшение целлюлазной активности относительно верхних горизонтов наблюдалось в горизонте AC почвы выпаса.

В культурных слоях поселения наблюдалась другая картина распределения целлюлазной активности. В почве первой зоны освоения территории (разрез Б-338), которая предположительно использовалась для содержания скота, были выявлены максимальные значения целлюлазной активности. Здесь в слое 10–30 см она достигала 60%. В почве второй зоны освоения, вероятно, жилой зоны (разрез Б-341), уровень целлюлазной активности в верхнем горизонте был сравним с современными почвами вблизи поселения. На глубине 30–60 см она либо не регистрировалась, либо регистрировалась на очень низком уровне. Глубже 60 см происходило увеличение целлюлазной активности, причем в слое 70–80 см ее значения были на уровне значений верхнего горизонта, что говорит о значительном поступлении целлюлозы в период формирования этой части культурного слоя.

Таким образом, антропогенная нагрузка, связанная с проживанием населения и содержанием скота, приводит к увеличению ферментативной активности почв. Различия в ферментативной активности культурных слоев первой и второй зон поселения могут указывать на разный характер использования территорий.

Экофизиологические коэффициенты. Экофизиологические коэффициенты рассчитываются на основе ряда физиологических характеристик микроорганизмов, таких как дыхание, потребление углерода, рост/смерть и др. [Anderson, Domsch, 1989; Anderson, 1994]. К основным экофизиологическим коэффициентам относятся $q\text{CO}_2$ и $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$. Метаболический коэффициент $q\text{CO}_2$ является важным индикатором состояния микробного сообщества почвы и представляет собой отношение скорости базального дыхания микроорганизмов к содержанию активной микробной биомассы в почве [Anderson, Domsch, 1990]. Отношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ также является чувствительным индикатором, указывающим на изменение доступности микроорганизмам питательных веществ. Это соотношение применяют в качестве индикатора устойчивости для быстрого распознавания изменений окружающей среды [Anderson, Domsch, 1989].

Для всех почв и культурных слоев характерно низкое соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$, что указывает на невысокую доступность для микроорганизмов источников углерода [Anderson, 2003]. Относительное повышение этого коэффициента отмечалось в фоновой почве, однако здесь наблюдались и высокие значения метаболического коэффициента $q\text{CO}_2$. Высокие значения этого коэффициента и невысокое соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ указывают на то, что микробное сообщество находится в стрессовых условиях. В контрольных почвах высокие значения метаболического коэффициента отмечались и ранее [Bohme et al., 2005], что, по мнению авторов, было связано с недостатком питательных веществ. В этой же работе было показано, что на опытных площадках с длительным внесением навоза, значения $q\text{CO}_2$ были минимальными. Уменьшение метаболического коэффициента при внесении навоза было отмечено и другими авторами [Kandeler, Eder, 1993; Giacometti et al., 2013].

В наших исследованиях аналогичная ситуация наблюдалась в культурном слое второй зоны освоения территории. В современных почвах в окрестностях поселения (выпас, залежь) на фоне низкого соотношения $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$, в особенности в почве залежного участка, значения $q\text{CO}_2$ были невысокими. В культурных слоях первой зоны освоения метаболический коэффициент в целом соответствует оптимальным условиям (см. табл. 4.4). Значительное увеличение

этого коэффициента наблюдалось лишь в культурном слое одной из построек (зондаж 5).

Повышение метаболического коэффициента наблюдается в том случае, когда при иницировании микробного сообщества глюкозой не происходит существенного возрастания скорости субстрат-индуцированного дыхания относительно базального, что может свидетельствовать о том, что микробное сообщество полностью обеспечено легкодоступными источниками углерода, либо о других его потребностях [Демкина и др., 2000].

Статистическая обработка данных

Для обобщения полученных результатов химических и микробиологических анализов был использован метод главных компонент (МГК) (рис. 4.4). МГК, выполненный с микробиологическими и химическими данными, показал, что 67.4% общей вариации признаков могут быть объяснены первыми двумя осями. Все почвенные характеристики были значимыми, за исключением СМБ и биомассы грибного мицелия ($P = 0.05$).

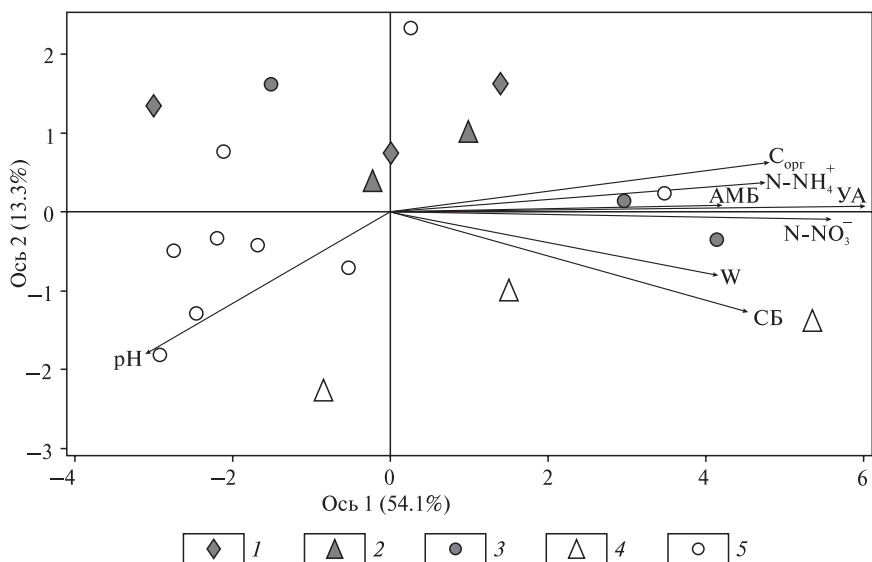


Рис. 4.4. Метод главных компонент для химических и микробиологических параметров

1 — фон; 2 — залежь; 3 — выпас; 4 — первая зона; 5 — вторая зона освоения

Почвенные образцы можно объединить в три группы в зависимости от типа землепользования. Вдоль оси 1 выделилась группа, объединяющая образцы с территории выпаса первой зоны освоения на поселении, где содержался скот, и группа, объединяющая образцы из почв фонового и залежного участков. Ось 1 объясняла 54.1% вариации. Ось 2 объясняла 13.3% вариации, вдоль нее отделялся культурный слой, отобранный их второй, жилой, зоны освоения.

Показатели уреазной активности (УА), $N-NO_3^-$, АМБ, $N-NH_4^+$, $C_{орг}$, влажности и численности сапротрофных бактерий (СБ) показали положительную взаимосвязь с осью 1 и, следовательно, с почвой выпаса и культурным слоем первой зоны освоения, т.е. образцы, отобранные из этих участков характеризовались повышенными значениями этих показателей. Изменения почвенных свойств вдоль оси 2 были связаны с увеличением значений рН.

Корреляционный анализ Подкумское-2. В современных дерново-карбонатных почвах в окрестностях поселения активная микробная биомасса (АМБ) и уреазная активность (УА) тесно коррелировали с влажностью (W), содержанием $C_{орг}$, $CaCO_3$, рН и подвижных минеральных форм азота (табл. 4.7). Причем в целом наблюдалась прямая взаимосвязь между этими показателями.

В фоновой почве также выявлена значимая обратная корреляция между суммарной микробной биомассой и минеральными формами азота. Целлюлазная активность в почве на данном участке коррелировала с $CaCO_3$, рН (обратная взаимосвязь) и содержанием минеральных форм азота (прямая взаимосвязь).

В почве выпасного участка все химические показатели коррелировали не только с АМБ и уреазной активностью, но и с численностью сапротрофных бактерий (СБ). Также здесь была выявлена тесная прямая взаимосвязь между суммарной биомассой грибоного мицелия (СБГМ) и рН; целлюлазная активность коррелировала с рН, содержанием карбонатов, $N-NO_3^-$ и $N-NH_4^{+}_{обм}$.

С увеличением антропогенной нагрузки произошло нарушение взаимосвязи между химическими свойствами и показателями биологической активности. Так, в почве залежного участка не было выявлено никакой зависимости биологических показателей от влажности и рН почвы. В культурных слоях поселения наблюдалось еще большее нарушение зависимости биологических показателей от химических свойств.

В культурном слое первой зоны освоения на АМБ влияла только влажность, на СМБ — содержание карбонатов. СБГМ отрицательно коррелировала с $CaCO_3$ и рН и положительно с нитратным азотом.

4.1. Биологическая память культурных слоев поселений

Таблица 4.7. Коэффициенты корреляции между химическими свойствами и параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-2

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза	Целлюлаза
<i>Фон</i>						
Влажность	-0.77	0.93	0.12	0.63	0.94	0.68
C _{орг}	-0.75	0.98	0.01	0.74	0.99	0.77
CaCO ₃	0.72	-0.98	0.01	-0.75	-0.99	-0.82
pH	0.70	-0.99	0.03	-0.76	-0.99	-0.80
N-NO ₃ ⁻	-0.82	0.93	-0.17	0.79	0.94	0.88
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	-0.89	0.86	-0.13	0.70	0.87	0.82
<i>Выпас</i>						
Влажность	0.21	0.97	-0.60	0.96	0.91	0.65
C _{орг}	0.06	0.95	-0.76	0.98	1.00	0.88
CaCO ₃	-0.13	-0.97	0.70	-0.99	-0.98	-0.80
pH	0.07	-0.84	0.83	-0.91	-0.97	-0.98
N-NO ₃ ⁻	0.35	0.98	-0.49	0.93	0.89	0.63
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	0.38	0.98	-0.47	0.91	0.89	0.65
<i>Залежь</i>						
Влажность	0.60	0.09	0.37	-0.14	-0.05	0.28
C _{орг}	0.57	0.83	0.43	-0.80	0.90	0.85
CaCO ₃	-0.51	-0.96	-0.65	0.81	-1.00	-0.90
pH	0.49	-0.65	-0.17	0.56	-0.75	-0.63
N-NO ₃ ⁻	0.54	0.99	0.73	-0.86	1.00	0.94
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	0.60	0.98	0.75	-0.87	0.98	0.96
<i>Первая зона освоения</i>						
Влажность	-0.75	0.97	0.68	0.97	1.00	0.88
C _{орг}	-0.27	-0.18	0.49	0.11	-0.03	0.06
CaCO ₃	0.84	-0.72	-0.84	-0.88	-0.83	-0.79
pH	0.76	-0.62	-0.89	-0.83	-0.73	-0.69
N-NO ₃ ⁻	-0.64	0.39	0.85	0.64	0.57	0.66
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	-0.68	0.90	0.68	0.91	0.98	0.95
<i>Вторая зона освоения</i>						
Влажность	0.10	0.70	0.47	0.57	0.79	0.01
C _{орг}	0.02	0.88	0.24	0.69	1.00	0.55

Таблица 4.7. Окончание

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза	Целлюлаза
CaCO ₃	-0.16	-0.46	-0.28	0.04	-0.41	0.07
pH	-0.56	-0.32	0.24	-0.32	-0.58	-0.21
N-NO ₃ ⁻	-0.09	0.97	0.31	0.66	0.90	0.62
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	0.15	0.88	0.32	0.64	0.95	0.68

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, значимые при P = 0.05.

Таблица 4.8. Коэффициенты корреляции между изученными параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-2

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза	Целлюлаза
<i>Фон</i>					
СМБ	-0.62	-0.21	-0.60	-0.66	-0.44
АМБ		-0.13	0.80	1.00	0.84
СБГМ			-0.44	-0.09	-0.47
Сапротрофы				0.80	0.72
Уреаза					0.82
<i>Выпас</i>					
СМБ	0.30	0.57	0.11	0.04	-0.09
АМБ		-0.54	0.94	0.94	0.74
СБГМ			-0.73	-0.77	-0.79
Сапротрофы				0.97	0.81
Уреаза					0.90
<i>Залежь</i>					
СМБ	0.52	0.65	-0.35	0.49	0.62
АМБ		0.76	-0.86	0.98	0.95
СБГМ			-0.49	0.67	0.70
Сапротрофы				-0.85	-0.94
Уреаза					0.92
<i>Первая зона освоения</i>					
СМБ	-0.75	-0.47	-0.83	-0.77	-0.60
АМБ		0.54	0.94	0.96	0.74
СБГМ			0.76	0.70	0.79

Таблица 4.8. Окончание

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза	Целлюлаза
Сапротрофы				0.97	0.83
Уреаза					0.90
<i>Вторая зона освоения</i>					
СМБ	-0.18	-0.42	-0.38	0.20	0.29
АМБ		0.34	0.73	0.90	0.50
СБГМ			0.38	0.27	-0.24
Сапротрофы				0.69	0.29
Уреаза					0.59

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, значимые при $P = 0.05$.

Так же здесь обнаружена тесная взаимосвязь между численностью сапротрофов, уреазной и целлюлазной активностями с влажностью и содержанием $N-NH_4^+$ обм. Кроме того, в первой зоне освоения выявлена обратная корреляция между численностью сапротрофных бактерий и уреазной активностью с содержанием карбонатов. Численность сапротрофных бактерий также коррелировала с рН.

В культурном слое второй зоны освоения выявлена наименьшая зависимость показателей биологической активности от химических свойств почв. Так, АМБ и уреазная активность здесь коррелировали только с влажностью, содержанием $C_{орг}$ и минеральных форм азота; численность сапротрофов — с содержанием $C_{орг}$; целлюлазная активность — с содержанием азота обменного аммония.

Кроме того, проведен корреляционный анализ между различными показателями биологической активности (табл. 4.8).

В фоновой почве была выявлена тесная взаимосвязь АМБ с численностью сапротрофов, уреазной и целлюлазной активностью; также уреазная активность коррелировала с целлюлазной активностью.

В почве выпасного участка выявлена тесная взаимосвязь между АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью. Кроме того, в почве на данном участке была выявлена тесная корреляция между целлюлазной, уреазной активностями и численностью сапротрофов.

В почве залежного участка отмечена обратная взаимосвязь АМБ, уреазной, целлюлазной активностей и численности сапротрофных

бактерий. Также между собой коррелировали показатели АМБ, уреазной и целлюлазной активности.

В культурном слое первой зоны освоения выявлена тесная корреляция между АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью. Сапротрофные бактерии здесь также отрицательно коррелировали с СМБ и положительно с целлюлазной активностью. Кроме того, в культурном слое первой зоны выявлена взаимосвязь между уреазной и целлюлазной активностью.

В культурном слое второй зоны отмечалась значимая корреляционная связь только между показателями АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью.

Наличие тесной корреляционной связи между уреазной активностью и АМБ практически во всех изученных почвах указывает на наличие уреазы, связанной с живыми почвенными микроорганизмами [Paulson, Kurtz, 1970; Biederbeck et al., 1984; Schnurer et al., 1985].

Таким образом, наиболее сильная антропогенная нагрузка наблюдалась в местах проживания населения. Это приводило к изменению всех микробиологических показателей, но в первую очередь изменялась биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы. По особенностям антропогенной трансформации наиболее близкими между собой оказались почва выпаса и культурный слой, отобранный в первой зоне освоения, где содержался скот. Это сопровождалось увеличением уреазной активности, содержанием минеральных форм азота, $C_{орг}$, АМБ, численностью сапротрофных бактерий и влажностью.

4.1.3. Заключение по ключевому участку Подкумское-2

Биологическая активность почв и культурных слоев существенно изменилась в результате антропогенного воздействия. Наиболее значительные изменения были выявлены в отношении ферментативной активности. Так, уреазная и целлюлазная активности культурных слоев были вдвое выше, чем в фоновой почве. Причем антропогенная нагрузка привела и к профильному изменению данного показателя. Ферментативная активность в культурных слоях первой и второй зон также существенно различалась. Эти различия могут указывать на разное назначение этих зон. Высокий уровень уреазной и целлюлазной активности в почвах первой зоны освоения, скорее

всего, связан с использованием построек в качестве загонов для скота. Эту часть территории поселения, таким образом, можно называть производственной. Вторая зона освоения, по всей видимости, связана с проживанием населения, на это указывает как мощный культурный слой, так и наличие глубоких хозяйственных ям.

Кроме того, в культурных слоях поселения было выявлено уменьшение активной микробной биомассы, при этом значения этого показателя варьировали в зависимости от характера использования территории. Так, в культурных слоях производственной зоны активная микробная биомасса, как правило, была в 1.5 раза выше, чем в культурном слое жилой зоны. Причем в культурных слоях в местах содержания скота этот показатель был на уровне фоновой почвы. В окрестностях поселения уменьшение АМБ наблюдалось только в почве залежного участка.

Антропогенная нагрузка также привела к увеличению численности сапротрофных бактерий. Существенное ее возрастание относительно фоновой почвы наблюдалось в почве выпасного участка, а также в культурных слоях, как жилой, так и производственной зон поселения. Таким образом, этот показатель можно считать одним из маркеров селитебного освоения территории.

Что касается биомассы микроскопических грибов, то ее уменьшение отмечено только в почве залежного участка, что является следствием распашки почвы. В культурных слоях поселения, современных антропогенно-преобразованных почвах и фоновой почве различия в биомассе грибного мицелия были незначительными.

Суммарная биомасса микроорганизмов также существенно уменьшилась в результате антропогенной нагрузки. Так, в антропогенно-преобразованных почвах и культурных слоях СМБ была в 1.6–2.5 раза ниже, чем в фоновой почве.

Таким образом, селитебное освоение территории в древности, так же, как и современные формы антропогенного воздействия на почвы, вызывают существенные изменения химических свойств почв и биологической активности. При этом, если селитебная нагрузка вызывает значительные изменения морфологических параметров, химических свойств и биологической активности почв, то сельскохозяйственное освоение может отражаться на микробиологических показателях; в меньшей мере — на уровне химических свойств и практически не отражается на морфологических свойствах антропогенно-преобразованных почв.

В антропогенно-преобразованных почвах поселения Подкумское-2 отмечалась слабая корреляционная взаимосвязь между по-

казателями биологической активности и химическими свойствами почв.

4.2. Биологическая память почв средневековых полей

4.2.1. Общие сведения о развитии земледелия на Северном Кавказе

Литературный материал, посвященный становлению и развитию земледелия на Кавказе, настолько обширен, что его анализ является темой отдельной книги. Многочисленные археологические источники, содержащие сведения о находках пахотных орудий, предметов переработки и хранения земледельческой продукции, а также огромный этнографический материал о сельском хозяйстве горских народов отражены в фундаментальных трудах Х.А. Амирханова, Б.А. Калоева, М.В. Кантария, Е.И. Крупнова, Г.С. Читая и многих других. В нашем случае рассмотрим лишь несколько аспектов земледелия на Северном Кавказе, наиболее тесно связанных с темой настоящей книги, а именно те составляющие земледелия, которые приводят к максимальным изменениям почвенных микробоценозов, — это обработка почвы и внесение удобрений.

Следует отметить, что в вопросах датировки возникновения на Северном Кавказе земледелия как такового исследователи еще не пришли к единому мнению. Зерна культурных злаков, таких как пшеница одно- и двузернянка, ячмень пленчатый и голозерный, были обнаружены в культурных слоях неолитических поселений Дагестана, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Чечни, Ингушетии, черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. В тех же культурных слоях были обнаружены орудия для сбора и переработки зерна: зернотерки и терочники, кремневые вкладыши для серпа, обломки мотыги. Таким образом, в эпоху энеолита земледелие уже составляло заметную часть экономики первобытного населения не только равнинных, но и горных регионов Северного Кавказа [Калоев, 1981; Шеуджен и др., 2001].

Б.А. Калоев полагает, что зарождение земледелия как одной из основных отраслей хозяйства на Северном Кавказе относится ко второй половине III тысячелетия до н.э. [Калоев, 1981]. По мнению других исследователей, начало земледелия в регионе следует датиро-

вать значительно раньше [История народов..., 1988]. Наиболее обоснованно датировать становление земледелия на Северном Кавказе третьим тысячелетием до н.э. [Андреев, 1974], причем допускается ее возможная генетическая связь с Восточно-Средиземноморским очагом террасного земледелия [Агларов, 1979].

Весьма убедительно выглядят предположения Х.А. Амирханова о процессе зарождения земледелия в горной зоне. По мнению автора, накопление информации о вегетационных особенностях дикорастущих предков культурных злаков позволило неолитическому населению довольно легко перейти к их воспроизводству. При этом выбор пал на пшеницу и ячмень как на относительно неприхотливые, высококалорийные и готовые к употреблению в любом виде культуры. Для их выращивания не требовались высокие агротехнические знания. Отметим, произрастание диких форм этих злаков на Северном Кавказе хорошо известно [Вавилов, 1936; Синская, 1969]. Для воспроизводства этих растений достаточно было лишь расчистить от кустарников поле и разрыхлить верхний слой почвы с помощью самых примитивных орудий. Но даже эти незначительные по своим масштабам действия способствовали перемещению части почвенного материала почвы с верхних участков поля на нижние, что при многократном повторении приводило к формированию террас [Амирханов, 1983].

М.А. Агларов считает, что в Дагестане горное земледелие исторически развивалось как террасное [Агларов, 1986]. В определенной мере это выражение применимо ко всем геоморфологическим районам Кавказа, где уклоны местности не позволяют вести земледелие без соответствующих противоэрозионных мероприятий, главным из которых является террасирование.

К такому выводу приходит Х.А. Амирханов [1983], справедливо считая при этом горный Дагестан одним из очагов земледелия на Северном Кавказе, начало функционирования которого автор соотносит со временем становления земледелия в Закавказье. Далее автор связывает террасные поля в округе поселения Чох, где в промывках культурного слоя были обнаружены обугленные зерна пшеницы и ячменя, со временем существования этого памятника, и датирует их, таким образом, эпохой неолита до первой половины VI тысячелетия до н.э. [Амирханов, 1983].

Наиболее твердо установленной на сегодняшний день является дата уже в известной мере развитого террасного земледелия в Дагестане — рубеж II–I тысячелетий до н.э. [Котович В.П., 1965]. После раскопок Верхнегунибского поселения, когда было доказа-

но, что окружающие поселение поля синхронны памятнику, эта точка зрения стала преобладающей [Котович В.М., 1965].

Таким образом, Северный Кавказ, считавшийся до этого периферией Закавказского очага земледелия, был поставлен на один исторический уровень с последним в вопросах возникновения земледелия, и было предложено рассматривать Кавказский регион в целом с дифференциацией на горные и равнинные варианты аграрной деятельности [Амирханов, 1983]. Отмечается лишь специфически затяжной характер становления земледелия в горных районах в отличие от земледелия в закавказских речных долинах, где было больше общих моментов с ближневосточным очагом земледелия. Что касается террасного земледелия в горной зоне Кавказа, то этот тип освоения ландшафтов является общепризнанной, наиболее целесообразной формой адаптации аграрного хозяйства к особенностям горной местности и находит аналоги во всех очагах первоначального горного земледелия как на Кавказе, так и в Южной Азии и Центральной Америке.

Первые шаги земледелия в горной зоне М.В. Кантария предлагает связывать с подсечно-террасной системой полеводства, считая ее коренным отличием земледелия в условиях Центрального Кавказа [Кантария, 1989]. Здесь имеет смысл отметить, что на настоящий момент нет единого мнения о возникновении собственно подсеки. Некоторые авторы относят ее к эпохе мезолита и раннего неолита [Семенов, 1974; Калоев, 1981]. С этой точкой зрения не соглашается М.В. Кантария, предполагая соответствие этих дат лишь для территории Северной Европы [Кантария, 1989]. Вероятно, в Грузии появление подсеки следует связывать с периодом становления земледелия, а ее проникновение на Северный Кавказ было несколько позже, и, по мнению М.В. Кантария, начало использования подсек для земледельческих целей происходило в эпоху средней бронзы [Кантария, 1989]. При этом террасирование склонов было единственным способом уменьшения эрозии почв.

Материальные свидетельства о характере орудий для обработки почвы менее представительны, чем находки предметов переработки урожая. Тем не менее становление земледелия на Северном Кавказе, как и в других регионах, связано с мотыжной обработкой почвы. Известны, в частности, находки каменных орудий типа мотыг, обнаруженные на стоянках неолита–энеолита на р. Мзымте недалеко от селения Аштырь, западнее Адлера [Анфимов, 1951]. Свидетельства о земледелии в эпоху бронзы представлены более широко. Для майкопской культуры известна бронзовая мотыжка, обна-

руженная в погребении Псекупского могильника [Шеуджен и др., 2001]. Известны находки мотыг в курганах раннекубанской группы [Круглов, Подгаецкий, 1935]. Мотыгообразные орудия для обработки почвы в числе прочих орудий труда дошли до нас от представителей дольменной культуры [Марковин, 1960].

Носители ямной, новотиторовской и северокавказской культур среди материальных свидетельств земледелия оставили нам лишь зернотерки и составные серпы с кремневыми вкладышами, а также серпы из меди [Анфимов, 1951; Очерки..., 1996; Калоев, 1981]. Орудия для обработки почвы, бытовавшие в этот период, неизвестны.

С помощью мотыги человек мог обрабатывать до пяти соток в день. Применение тягловой силы скота увеличивало норму выработки до 1 га, т.е. в 20 раз больше [Громов, Новиков, 1967]. Вот почему пашенное земледелие стало огромным шагом вперед в аграрной практике.

Продвижение пахоты как нового прогрессивного способа обработки почвы на Северном Кавказе началось, вероятно, еще в эпоху бронзы. И первым регионом, где стал практиковаться этот вид обработки почвы, был Дагестан [Котович В.Г., 1965]. Недаром все слова, связанные с пашенным земледелием (рало, борозда, пашня, бык, ярмо и т.д.), восходят к общедагестанскому глоттохронологическому уровню, существовавшему до II тысячелетия до н.э. [Сравнительно-историческая лексика..., 1971].

Е.И. Крупнов датирует появление пашенного земледелия на Центральном Кавказе серединой I тысячелетия до н.э. [Крупнов, 1960]. Этой же точки зрения придерживается и Е.Н. Синская. Она допускает появление пашенного земледелия в степях и предгорьях Северного Кавказа в скифское и, возможно, предскифское время, и при этом отмечает, что эпоха поздней бронзы связана с мотыжным земледелием [Синская, 1969]. Вероятно, в этот период пахотные орудия изготавливались из дерева без использования металлических частей.

Окончательный переход к пашенному земледелию все исследователи связывают с появлением железа в скифскую эпоху. На Северный Кавказ железо поступало из Урарту, где еще в III тысячелетии до н.э. изготавливались железные сошники для пахотных орудий типа горного рала [Крупнов, 1960; Калоев, 1981]. Однако на Северном Кавказе железные детали пахотных орудий в первой половине I тысячелетия до н.э. неизвестны. Железо в раннескифское время использовалось в большей степени для изготовления

серпов [Анфимов, 1951; Бойко, 1999] и лишь позднее нашло применение в почвообрабатывающих орудиях. Об использовании железных сошников в IV–III вв. до н.э. говорят находки этих деталей, обнаруженные М.В. Покровским [Покровский, 1937] на территории современного Краснодара.

Вытеснение мотыги плугом продолжалось до середины I тысячелетия н.э. Так, в первые века нашей эры на Боспоре были известны железные наральники, но при этом продолжала широко использоваться железная мотыга полулунной формы, напоминающая современную тяпку [Материалы..., 1952].

С появлением железного наральника стала возможной обработка тяжелых каменистых почв, что привело к существенному расширению площади пахотных угодий. Вместе с тем, старопашотные почвы на легких аллювиальных отложениях продолжали пахать деревянными примитивными орудиями, что нашло отражение в описании Кавказской Албании Страбоном, где античный автор указывает на обработку почвы «не железным лемехом, но созданной самой природой деревянной сохой» [Калоев, 1981]. И лишь в первой половине I тысячелетия н.э. на Северном Кавказе окончательно утверждается пашенное земледелие [Синская, 1969]. При этом мотыгой продолжали пользоваться, но только там, где размеры поля или особенности его расположения не позволяли применять тягловый скот. Мотыгами обрабатывались относительно короткие террасы, при этом обработка почвы начиналась с нижнего края террасы; земля отбрасывалась под ноги земледельца, что способствовало поддержанию горизонтальности террасного полотна [Кантария, 1989].

В качестве тяглого скота преимущественно использовали воллов, реже — буйволов и лошадей.

Именно волы оказались наиболее пригодными для пахотного земледелия.

Использование воллов имело лишь одно ограничение — развивая очень большие усилия постоянного движения, упряжка быков могла работать только на ровных участках хорошо отсортированной почвы без включений корней и камней. Это связано с тем, что при встрече препятствия остановить движение пахотного агрегата довольно трудно, что приводит к поломке рала или плуга.

В этом отношении лошадь больше подходила для возделывания засоренных почв, так как, развивая меньшее тяговое усилие, лошадь способна к быстрой остановке при встрече плуга с препятствием и более маневренна на полях малого размера [Громов, Новиков, 1967].

Тем не менее основной тягловой силой являлись волы еще и потому, что у многих народов Северного Кавказа обычаи, уходящие в глубокую древность, запрещали использовать лошадей для вспашки [Калоев, 1973]. Норма дневной вспашки колебалась в зависимости от качества земли и составляла от $\frac{1}{4}$ десятины¹ до десятины и более [Кантария, 1980].

Пахотным орудиям горного земледелия посвящен огромный этнографический материал, анализ которого выходит за пределы данного исследования. Отметим лишь одну особенность, которая очень важна для дальнейшего рассмотрения материала этой работы — на первых этапах пашенного земледелия использовались безотвальные орудия типа простого рала. Они состояли из подошвы с железным лемехом, составного градия и рукоятки. Этот вид пахотных орудий восходит своими корнями к древнешумрским плугам, имевшим широкое распространение по всей Передней Азии [Читай, 1952]. Производительность вспашки с помощью такого орудия в условиях гор составляла от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{4}$ десятины, на равнинных участках — до половины десятины [Гаглоева, 1957].

Практически у всех народов Северного Кавказа способы обработки почвы имели много общего. Население равнин использовало тяжелый плуг, в который впрягали три-четыре пары волов. В горной же части орудием вспашки служил легкий горный плуг, приводимый в движение одной, реже — двумя парами волов. Поле перед посевом вспахивали два раза [Гарданов, 1965; Шеуджен и др., 2001].

Деревянное рало с железным наконечником оставалось основным пахотным орудием и в раннем Средневековье. Подобное орудие труда было обнаружено на поселении Козьи скалы близ Пятигорска [Калоев, 1981; Кузнецов, Рудницкий, 1998]. Оно датируется VIII–IX вв. Одновременно продолжала свое существование и мотыга. В дальнейшем, с расширением пахотных площадей, появляется тяжелый плуг, аналог современного адыгейского [Калоев, 1981]. Существование такого плуга у северокавказских племен подтверждается находкой плужного ножа на исторической аланской территории. Плужный нож был найден в 1955 г. Т.М. Минаевой на аланском городище X–XII вв. Адиюх. По аналогии с подобными находками на Дону и Украине, VIII–IX и VIII–X вв., автор относит адиюхский нож к X–XI вв. [Минаева, 1955, 1960a]. Возможно, именно с появлением тяжелого плуга следует связывать так называемые ленточные террасы [Кантария, 1989].

¹ Единицы площади в России до 1918 г., равная 1,09 га.

С внедрением тяжелого плуга резко возросла производительность вспашки и существенно расширились возможности использования тяжелых глинистых целинных почв с потенциально высоким плодородием. Необходимо было лишь усовершенствовать плуг и увеличить количество тяглового скота. Так, например, в Азербайджане при вспашке глинистых почв в тяжелый плуг впрягали (в зависимости от почвы и характера местности) от четырех до двенадцати пар волов и буйволов [Джавадов, 1981].

О высокой культуре земледелия свидетельствуют и данные по урожайности на Северном Кавказе. Так, урожайность пшеницы на наиболее плодородных орошаемых аллювиальных почвах Кавказской Албании могла составлять сам-13², ячменя — сам-9. Для сравнения, по данным древнеримского агронома Колумеллы, урожай хлебов в Италии составлял не более сам-4 [Гаджиев, 2000].

Столь высокие урожаи на Северном Кавказе обеспечивались не только высоким плодородием почвы и орошением, но и наличием плодосменной системы земледелия и удобрением полей [Гаджиев, 2000]. Благодаря высокой культуре земледелия в условиях горной Черкесии удавалось получать урожаи пшеницы на уровне сам-18 — сам-20 [Гарданов, 1965].

Основным источником поддержания почвенного плодородия в условиях горного земледелия являлись органические удобрения — навоз. В горных регионах его доставляли на поля в специальной заплечной плетенке — таск [Гаглоева, 1957], в равнинных и предгорных областях использовали более крупную плетенку (куыф), устанавливаемую на санях. Стоимость навоза была весьма высока: так у осетин один куф навоза (8–10 пудов) в XIX в. стоил 20–25 коп. [Калоев, 1981]. Неудивительно, что горцы столь бережно относились к этому продукту, накапливая его в особых помещениях.

Общее малоземелье и связанный с ним чрезвычайно напряженный характер использования террасных полей требовали постоянного внесения органических удобрений. Самым ценным удобрением считался овечий навоз, который собирали в селах и отдаленных загонах. Использовался и коровий навоз. Нормы удобрений варьировали от 25 до 75 т/га и более, удобрение проводилось раз в 2–3 года. [Калоев, 1981]. Широко использовался прогон овец по

² Урожайность в XVII в. выражалась в четвертях или в «самах» (отношение общего сбора хлеба к количеству посеянных семян). Средний урожай составлял сам-3.

сжатым полям и устройством зимних загонов на террасах с наиболее истощенными почвами [Кантария, 1989]. В Осетии, Чечне и Ингушетии удобрение полей проводилось с помощью внесения навоза, иногда смешанного с золой, речного ила, помета домашней птицы и диких голубей [Шеуджен и др., 2001].

Но, тем не менее, во все времена навоза не хватало. С этим обстоятельством связана постоянная забота земледельцев о накоплении любых органических отходов, способных повысить плодородие почв. Поэтому те хозяева, которым навоз в достаточных количествах был недоступен, вынуждены были довольствоваться выбросами из туалета, которые каждый день присыпались золой и домашним мусором [Османов, 2005]. М.О. Османов отмечает интересную деталь организации подворья у горцев: если в селении земледелие составляло основную отрасль экономики, в каждом доме присутствовал туалет, в то время как в традиционных скотоводческих районах, с большим поголовьем скота и, соответственно, большими объемами навоза, специально обустроенных отхожих мест не было [Османов, 2005].

Постоянная потребность внесения органических удобрений в почву террас вынуждала земледельца чрезвычайно бережно относиться ко всем видам органических отходов, которые могли использоваться в этом качестве. Складировались и вывозились на поля все органические остатки — содержимое отхожих мест, бытовой мусор и пр. По всей видимости, это был основной источник поступления в почву террас и фрагментов керамики. Этот ключевой момент будет неоднократно упоминаться в настоящей книге при выделении зоны удобряемого земледелия. Возможность попадания керамики в древние пахотные горизонты почв с органическими удобрениями обсуждается в литературе [Gaffney, Tingle, 1989] (цит. по: [Gosden, Lock, 2003]).

В рамках нашего исследования для изучения следов древнего земледелия были выбраны поля в окрестностях поселений аланской культуры Подкумское-3 и -7, для которых был характерен один и тот же этап заселения территории в V–VIII вв. Ни до этого, ни после на территории памятников не осуществлялось никакой хозяйственной деятельности, которая могла бы изменить свойства почв. Это обусловило исключительную сохранность археологических памятников и позволяет все антропогенные изменения почвенных свойств связывать именно с влиянием средневекового населения.

4.2.2. Химические свойства и биологическая активность почв средневековых полей в окрестностях укрепления Подкумское-3

Поселение Подкумское-3 (V–VIII вв. н.э.) расположено на мысовой части склона северо-западной экспозиции. К юго-западу от поселения находится обширная территория, потенциально пригодная для земледелия, с уклоном около 3–5°. Для изучения свойств почв была заложена серия разрезов по трансекте в направлении поселение–водораздел. Разрезы были удалены на следующие расстояния от поселения: 60, 120, 250, 600, 1200, 2300 и 2600 м (разрезы Б-345, Б-344, Б-346, Б-350, Б-353, Б-352 и Б-351 соответственно). Морфологические свойства почв описаны в главе 3.

Разрезы Б-345 и Б-344, расположенные в зоне наиболее мощного антропогенного воздействия в V–VIII вв., характеризуются схожим строением почвенного профиля. Здесь, в непосредственной близости от поселения, развиты маломощные эродированные почвы, насыщенные керамикой аланского времени, которая сосредоточена преимущественно в слое 0–20 см (рис. 4.5). Анализ распределения керамики в почвах часто используется в археологии для установления границ древних земледельческих полей [Wilkinson, 1982].

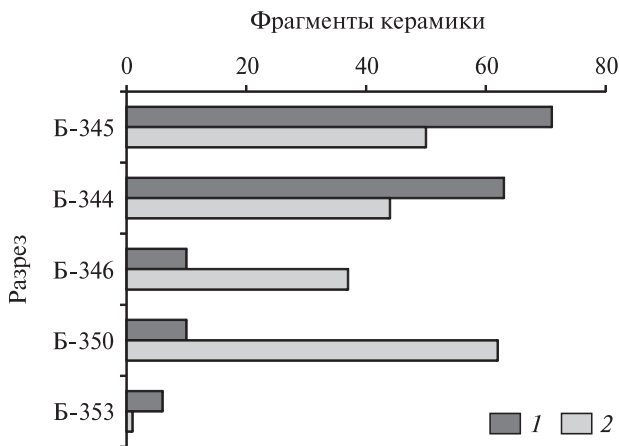


Рис. 4.5. Распределение фрагментов керамики в почвах ключевого участка Подкумское-3

Слой: 1 — 0–20 см; 2 — 20–40 см

В разрезе Б-346 керамики встречается существенно меньше, чем в предыдущих разрезах, основная ее масса сосредоточена в слое 20–40 см.

Аналогичная ситуация отмечена в разрезе Б-350, расположенном у подножия склона, в зоне заведомого активного сельскохозяйственного использования на участке с уклоном 2–3°.

Разрез Б-353 был заложен в периферийной аграрной зоне без внесения удобрений, либо с нерегулярным удобрением, на что указывает незначительное количество керамики, обнаруженной в разрезе.

Разрезы Б-352 и Б-351 располагались на максимальном удалении от поселения в зоне, где заведомо не практиковалось земледелие. Почвы этих участков могут рассматриваться как фоновые.

При движении по трансекте по линии поселение–водораздел, наблюдалось существенное изменение химических свойств почв (табл. 4.9). Так, влажность верхнего горизонта (слоя) уменьшалась от 9% в ближайшей к поселению почве до 5% в фоновых почвах водораздела. Причем в разрезе Б-346 и Б-350 максимальная влажность была в слое 10–20 см, а в разрезе Б-353 — в слое 20–30 см. Содержание $C_{\text{орг}}$ уменьшалось от 9 до 4% по трансекте, и во всех изученных почвах происходило постепенное его уменьшение вниз по профилю. Увеличение содержания $C_{\text{орг}}$ в почвах бывших земледельческих угодий могло быть вызвано длительным внесением органических удобрений. Этот факт отмечен в ряде работ [Шапошникова, Новиков, 1986; Haynes, Naidu, 1998; Edmeades, 2003; Lehmann et al., 2003; McLauchlan, 2006; Homburg, Sandor, 2011]. Известно, что повышенный уровень содержания $C_{\text{орг}}$ может сохраняться в почвах длительное время (500–1000 лет) после прекращения внесения органических удобрений [Sandor, Eash, 1995; Springob, Kirchmann, 2002].

Содержание CaCO_3 было максимальным в ближайшей к поселению почве, где в слое 20–33 см оно достигало 22%. В данном случае карбонаты имеют антропогенную природу; повышение содержания карбонатов показано для культурных слоев поселений [Александровский, 1997; Александровский и др., 1997; Долгих, 2010; Герасимова и др. 2003; Естественные научные методы..., 2004; Каздым, 2010].

При движении по трансекте в сторону водораздела происходило уменьшение содержания карбонатов в почвах. Реакция среды по мере удаления от поселения изменялась от слабощелочной до слабокислой.

Таблица 4.9. Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Глубина (горизонт), см	Влажность	C _{орг}	CaCO ₃	pH _{вод}	Содержание частиц, %	
		%				< 0.01 мм	< 0.001 мм
Б-345 (60 м)	0–20	9.4	8.8	9.0	7.6	13	3
	20–33	5.0	5.5	22.4	7.9	18	3
Б-344 (120 м)	0–20	7.9	8.4	6.7	7.0	21	5
	20–27	6.4	5.7	7.6	7.1	17	5
Б-346 (250 м)	0–10	6.7	6.1	5.4	6.7	23	7
	10–20	9.2	5.1	4.0	6.6	22	8
	20–30	5.8	3.9	4.5	7.3	29	12
	30–40	7.0	3.3	3.6	6.7	37	17
Б-350 (600 м)	0–10	5.8	6.3	4.5	6.9	16	9
	10–20	7.7	5.3	3.6	7.1	25	11
	20–30	5.7	3.6	3.6	6.9	24	15
	30–38	5.7	3.2	4.0	7.5	28	11
Б-353 (1200 м)	0–10	3.9	3.6	2.2	6.3	16	7
	10–20	3.1	3.2	3.1	6.5	16	6
	20–30	4.6	1.8	3.1	6.7	33	9
	30–40	2.4	1.4	2.2	6.5	37	9
	40–50	2.6	1.0	2.2	6.2	32	15
Б-352 (2300 м)	0–10	5.2	4.5	2.2	6.2	18	8
	10–20	4.4	4.0	2.2	6.1	21	6
	20–30	4.9	2.1	2.2	6.5	29	12
	30–40	2.9	2.0	2.2	6.3	33	18
	40–50	3.5	1.9	2.2	6.7	29	17
Б-351 (2600 м)	0–10	5.2	3.9	2.2	5.4	15	6
	10–20	5.4	3.6	2.2	5.4	20	6
	20–30	3.9	2.0	2.2	5.3	26	11
	30–40	4.4	1.5	1.8	5.7	26	11
	40–50	4.6	1.0	2.2	5.9	32	14

4.2. Биологическая память почв средневековых полей

Таблица 4.10. Содержание минеральных форм азота и фосфатов в почвах ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт (глубина), см	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ _{обм}	P ₂ O ₅	
		мг/100 г почвы		подвижные фосфаты, мг/100 г почвы	валовый фосфор, %
Б-345 (60 м)	0–20	4.78	0.97	5.31	н.д.
	20–33	2.77	0.65	3.12	н.д.
Б-344 (120 м)	0–20	4.21	0.84	5.84	0.51
	20–27	2.34	0.91	3.19	0.42
Б-346 (250 м)	0–10	3.93	0.88	2.62	0.28
	10–20	2.12	0.82	2.21	0.28
	20–30	0.50	0.46	2.19	0.21
	30–40	0.27	0.36	1.92	0.18
Б-350 (600 м)	0–10	2.81	1.60	2.01	н.д.
	10–20	1.73	1.26	2.20	н.д.
	20–30	0.40	0.61	1.98	н.д.
	30–38	0.11	0.52	1.34	н.д.
Б-353 (1200 м)	0–10	0.87	1.28	3.34	н.д.
	10–20	0.41	1.02	2.07	н.д.
	20–30	0.30	0.94	1.92	н.д.
	30–40	сл.	0.43	1.24	н.д.
	40–50	сл.	0.33	1.12	н.д.
	50–60	сл.	0.30	1.14	н.д.
Б-352 (2300 м)	0–10	0.67	2.30	3.32	0.20
	10–20	0.76	0.81	4.71	0.18
	20–30	0.57	0.71	3.25	0.14
	30–40	сл.	0.52	2.73	0.13
	40–50	сл.	0.50	1.41	0.11
Б-351 (2600 м)	0–10	0.50	2.30	3.32	н.д.
	10–20	0.78	1.92	4.47	н.д.
	20–30	0.21	1.02	3.21	н.д.
	30–40	сл.	0.86	3.32	н.д.
	40–50	сл.	0.64	3.34	н.д.

Гранулометрический состав в различных горизонтах почв изменялся от супесчаного до среднесуглинистого. Наиболее легкой по гранулометрическому составу была ближайшая к поселению почва. В данном случае облегчение гранулометрического состава также может рассматриваться как результат интенсивного антропогенного воздействия, при котором происходит относительное уменьшение тонкодисперсной фракции в результате увеличения поступления грубодисперсного материала при формировании урбиковых горизонтов [Прокофьева и др., 2001; Соколова и др., 2005; Чижикова, 1991].

Содержание $N-NO_3^-$ в почве, удаленной на 60 м от поселения, уменьшалось от 4.78 мг N/100 г до 0.67–0.50 мг N/100 г в почвах водораздела (табл. 4.10). Минимальными значениями характеризовалась почва, удаленная на 1200 м от поселения. Причем здесь наблюдались и минимальные значения содержания $C_{орг}$ и влажности.

Содержание $N-NH_4^{+}_{обм}$, напротив, увеличивалось по трансекте от 0.97 до 2.30 мг N/100 г. Кроме того, если в почвах, ближайших к поселению (разрезы Б-345, Б-344, Б-346 и Б-350), нитратная форма азота преобладала над аммонийной, то в почвах, максимально удаленных от него (разрезы Б-353, Б-352 и Б-351), наблюдалась противоположная тенденция.

По литературным данным известно, что в природных экосистемах, особенно находящихся на последних стадиях сукцессии, аммонийная форма азота в почвах преобладает над нитратной, тогда как в почвах агроэкосистем преобладает нитратная форма [Умаров и др., 2007]. Также, показано, что нитратная форма азота преимущественно накапливается в культивируемых почвах [Кудеяров, 1989].

Следует подчеркнуть также, что определение содержания минеральных форм азота (обменного аммония и нитратов) в образцах в данной работе мы рассматриваем не только с позиций одного из значимых показателей химических свойств почв, но и как дополнительный (химический) метод определения биологической активности почв [Практикум по биологии..., 2002]. Минеральные формы азота образуются в почвах главным образом в результате микробиологической трансформации азотсодержащих органических соединений, включающей процессы аммонификации (образование и накопление аммонийного азота) и нитрификации (образование и накопление нитратного азота) [Кудеяров, 1989; Звягинцев и др., 2005; Умаров и др., 2007]. При наличии в почвах более предпочтительных условий для одного или для другого из этих процес-

сов преимущественно будет накапливаться либо аммонийная, либо нитратная форма азота.

Содержание подвижных фосфатов в верхнем горизонте (слое) уменьшалось от 5.31–5.84 мг/100 г в ближайших к поселению почвах до 2 мг/100 г в почве, удаленной на 600 м от поселения (разрез Б-350), затем вновь происходило их увеличение до 3.34 мг/100 г, причем в почвах водораздела максимум их содержания наблюдался в слое 10–20 см, где содержание фосфатов достигало 4.71 мг/100 г почвы (см. табл. 4.10).

Также было определено содержание валового фосфора в почвах, удаленных на 120, 250 и 2300 м от поселения (разрезы Б-344, Б-346 и Б-352 соответственно). Содержание валового фосфора в зоне заведомого антропогенного влияния в аланское время, было почти в 2.5 раза выше, чем в фоновой почве водораздела. Обогащение фосфором почв вблизи археологических памятников было показано еще в 30-х годах XX в. в работах О.Аррениуса и В.Лорха [Arrhenius, 1931; Lorch, 1940] (цит. по: [Holliday, Gartner, 2007]) и в настоящее время этот принцип широко используется в практике археологических изысканий [Eidt, 1977, 1984; Holliday, Gartner, 2007; Barba, 1994].

Таким образом, антропогенная нагрузка, связанная с сельскохозяйственным освоением с применением органических удобрений, привела к существенному изменению химических свойств почв. Так, в ближайших к поселению почвах, в зоне заведомо активного сельскохозяйственного использования, отмечались: повышенный уровень содержания органического углерода, валового фосфора и накопление нитратного азота.

Биологическая активность почв

Суммарная микробная биомасса. Численность микроорганизмов, определенная прямым микроскопированием в различных горизонтах изученных почв, варьировала в пределах от 1.15 до $7.01 \cdot 10^{11}$ кл./г почвы (табл. 4.11). На основе этого показателя была рассчитана суммарная микробная биомасса.

Между почвами, использовавшимися в сельскохозяйственной практике около 1500 лет назад, и фоновыми целинными почвами водораздела, не было выявлено существенных различий в СМБ и различия по этому показателю между горизонтами почв были, как правило, недостоверными (рис. 4.6; см. табл. 4.11).

Таблица 4.11. Микробиологические параметры почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-2

Разрез	Горизонт (глубина), см	Микробная биомасса, мкг С/г почвы		Численность		
		суммарная	активная	микроорганизмов, кл.·10 ¹¹ /г почвы	сапротрофных бактерий, кл.·10 ⁶ /г почвы	термофильных бактерий, кл.·10 ³ /г почвы
Б-345 (60 м)	0-20	3320±476	893±10	4.04±0.69	2.04±1.04	147.2±16.1
	20-33	3344±285	427±19	4.18±0.41	1.49±0.18	115.5±3.7
	0-20	2731±138	1043±35	3.41±0.20	2.94±0.31	87.5±11.4
	20-27	2504±79	388±8	3.13±0.11	1.68±0.14	127.2±13.5
Б-346 (250 м)	0-10	3371±174	1444±11	4.12±0.25	2.80±0.17	28.9±2.2
	10-20	3612±488	757±39	4.52±0.70	1.19±0.21	5.5±0.8
	20-30	2621±197	505±122	3.28±0.28	0.63±0.09	–
	30-40	4042±534	306±4	5.05±0.77	0.36±0.15	–
Б-350 (600 м)	0-10	2417±524	1370±22	3.02±0.76	4.40±0.01	18.0±0.7
	10-20	3668±927	634±14	4.59±1.34	3.51±0.01	–
	20-30	3392±249	312±12	4.24±0.36	0.16±0.05	5.3±0.7
	30-38	2457±429	159±11	3.07±0.62	0.24±0.03	4.2±0.0
Б-353 (1200 м)	0-10	4835±904	754±3	6.04±1.31	2.91±0.30	9.4±0.7
	10-20	4104±1103	296±6	5.13±1.59	0.56±0.10	–
	20-30	5384±1882	165±6	6.73±2.72	0.85±0.25	–
	30-40	5605±1275	42±6	7.01±1.84	0.01±0.01	–
	40-50	3937±253	28±5	4.92±0.37	0.09±0.04	–
	50-60	2444±216	46±6	3.05±0.31	0.11±0.03	–

Таблица 4.11. Окончание

Разрез	Горизонт (глубина), см	Микробная биомасса, мкг С/г почвы		Численность		
		суммарная	активная	микроорганизмов, кл.·10 ¹¹ /г почвы	сапротрофных бактерий, кл.·10 ⁶ /г почвы	термофильных бактерий, кл.·10 ³ /г почвы
Б-352 (2300 м)	0-10	2840±524	376±19	3.55±0.76	0.99±0.15	1.1±0.7
	10-20	2114±126	222±4	5.41±2.78	0.73±0.11	1.0±0.7
	20-30	3221±55	100±6	5.25±0.20	–	–
	30-40	3664±565	85±14	4.58±0.82	0.01±0.01	–
	40-50	2528±684	93±7	3.16±0.99	0.01±0.01	–
Б-351 (2600 м)	0-10	1912±171	83±3	2.39±0.30	0.01±0.01	1.1±0.7
	10-20	2257±245	70±2	2.82±0.35	0.04±0.02	–
	20-30	3745±87	50±5	3.63±1.06	0.01±0.01	–
	30-40	4617±89	36±4	4.28±1.34	0.01±0.01	–
	40-50	605±66	35±4	1.15±0.40	–	–

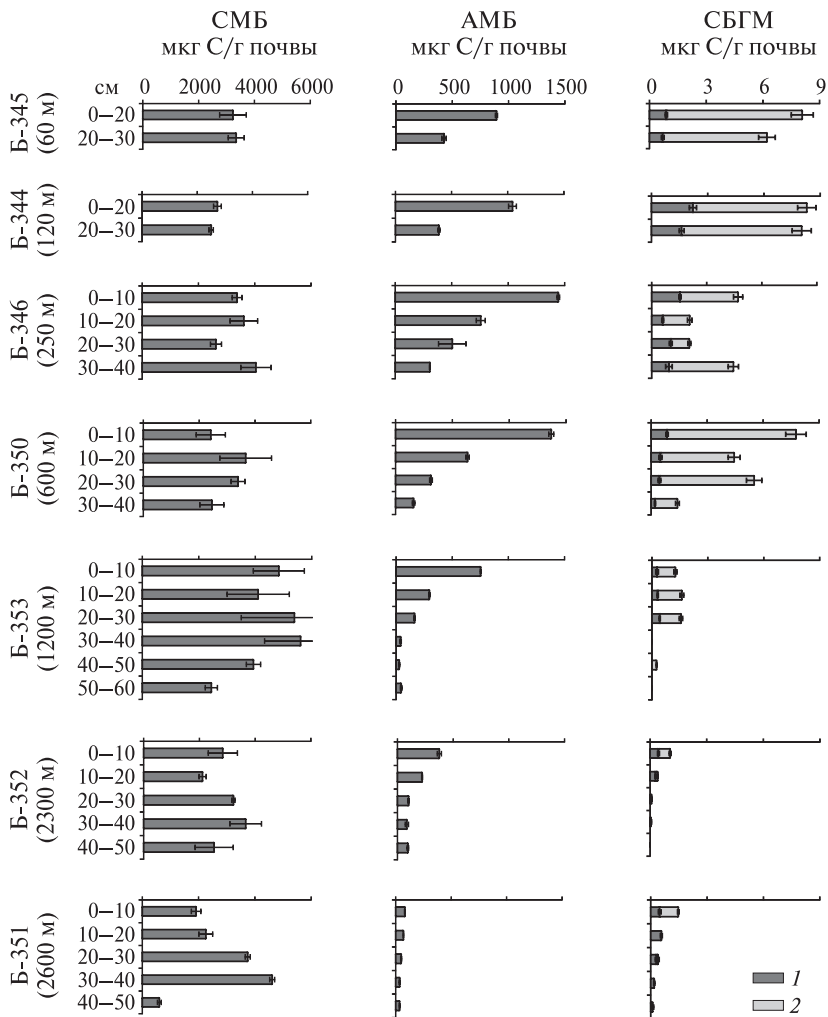


Рис. 4.6. Микробная биомасса в почвах ключевого участка Подкумское-3
СМБ — суммарная микробная биомасса; АМБ — активная микробная биомасса; СБГМ — суммарная биомасса грибного мицелия: 1 — темноокрашенного, 2 — светлоокрашенного

Тенденция к увеличению этого показателя наблюдалась в почве, удаленной на 1200 м от поселения, где СМБ составила 4358 мкг С/г почвы (средневзвешенная величина по профилю), а максимальные ее значения наблюдались на глубине 20–40 см.

Уменьшение СМБ, относительно других почв бывших сельскохозяйственных угодий, наблюдалось в почвах, удаленных на 120 и 600 м от поселения, где средневзвешенная ее величина составляла 2730–2760 мкг С/г почвы. В почве, удаленной на 600 м от поселения, наблюдалась тенденция к увеличению этого показателя в средней части профиля, тогда как в почве, удаленной на 120 м, СМБ незначительно уменьшалась вниз по профилю. В почвах, удаленных на 60 и 250 м от поселения, СМБ составляла 3290 и 3412 мкг С/г почвы соответственно, причем вниз по профилю происходило незначительное ее увеличение. В фоновых почвах водораздела СМБ была на уровне 2630–2870 мкг С/г почвы, и здесь также наблюдалась тенденция к увеличению микробной биомассы в средней и нижней частях профиля.

Таким образом, антропогенная нагрузка, имевшая место в V–VIII вв., не оказала заметного влияния на величину суммарной микробной биомассы. Относительная инертность этого показателя и его слабая чувствительность к различным воздействиям отмечалась ранее другими авторами [Звягинцев, 1987].

Активная микробная биомасса. В отличие от суммарной микробной биомассы, биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была существенно выше в зоне заведомо активного сельскохозяйственного использования с внесением навоза в аланское время (разрезы Б-345, Б-344, Б-346 и Б-350) (см. рис. 4.6 и табл. 4.11).

В ряде работ показано, что добавление органических удобрений приводит к увеличению микробной биомассы [Масютенко и др., 2008; McGill et al., 1985; Dick et al., 1992; Feng et al., 2003].

На данном участке трансекты максимальные значения АМБ были выявлены в верхнем слое почв, удаленных на 250 и 600 м от поселения, где биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, составила 1444 и 1370 мкг С/г почвы соответственно.

В подповерхностных слоях этих почв АМБ уменьшалась с 757–634 мкг С/г почвы до 306–159 мкг С/г почвы.

В ближайших к поселению почвах (разрезы Б-345 и Б-344) микробная биомасса была значительно меньше. Так, в почве, удаленной на 60 м от поселения, вниз по профилю АМБ изменялась от 893 до 427 мкг С/г почвы, а в почве, удаленной на 120 м — с 1043 до 388 мкг С/г почвы.

В предполагаемой периферийной аграрной зоне с нерегулярным применением навоза, биомасса микроорганизмов, дающих респи-

роторный отклик на внесение глюкозы, уменьшалась в 2 раза по сравнению с почвами, удаленными на 250 и 600 м от поселения.

В фоновых почвах водораздела была выявлена минимальная АМБ, где ее значения уменьшались до 83–35 мкг С/г почвы в почве, удаленной на 2600 м от поселения (разрез Б-351).

Отношение активной микробной биомассы к суммарной увеличивалось в верхнем горизонте (слое) от 28% в ближайших к поселению почвах до 57% в почве, удаленной на 600 м, и во всех случаях наблюдалось значительное уменьшение этого показателя вниз по профилю. Далее по трансекте произошло резкое сокращение доли активной микробной биомассы до 16, 13 и 4% в почвах, удаленных на 1200, 2300 и 2600 м от поселения соответственно. Причем, во всех этих почвах в нижнем слое наблюдалось увеличение отношения АМБ/СМБ относительно вышележащих слоев, а в почве, находящейся на максимальном удалении от поселения, в нижнем слое это отношение было несколько выше, чем в верхнем.

Таким образом, сельскохозяйственное освоение с длительным внесением навоза привело к достоверному увеличению биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы.

Суммарная биомасса грибного мицелия. На биомассу грибного мицелия древнее земледелие оказало сложное и неоднозначное влияние. Установлено, что длина грибного мицелия в различных горизонтах изученных почв изменялась в пределах от 0.1 до 7.9 м/г почвы (табл. 4.12). На основе этого показателя была рассчитана суммарная биомасса грибного мицелия.

По мере удаления от поселения происходило существенное изменение содержания мицелия микроскопических грибов в почвах (см. рис. 4.6 и табл. 4.12). Наибольшей СБГМ характеризовались ближайшие к поселению почвы (разрезы Б-345 и Б-344), где ее средневзвешенные значения по профилю составили 7.02 и 8.19 мкг С/г почвы.

Вниз по профилю содержание микроскопических грибов здесь уменьшалось незначительно.

Далее по трансекте, в почве, удаленной на 250 м, произошло уменьшение СБГМ в 2.5 раза, и в профиле наблюдалось два максимума, в слое 0–10 см и 30–40 см, где биомасса микроскопических грибов была на уровне 4 мкг С/г почвы.

В почве, удаленной на 600 м от поселения, вновь произошло увеличение содержания микроскопических грибов до 5.03 мкг С/г почвы, и здесь было отмечено возрастание СБГМ в слое 20–30 см.

Таблица 4.12. Длина и биомасса грибного мицелия в почвах ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт (глубина), см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса мицелия		Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			темноокрашенного	светлоокрашенного		
Б-345 (60 м)	0-20	7.7±0.4	0.86±0.06	7.19±0.58	8.08±0.44	89.1
	20-33	5.9±1.0	0.70±0.07	5.51±0.44	6.21±1.06	88.7
	0-20	7.9±0.3	2.21±0.19	6.07±0.49	8.28±0.36	70.0
	20-27	7.6±0.5	1.61±0.13	6.40±0.51	8.01±0.51	79.9
Б-346 (250 м)	0-10	4.5±0.2	1.54±0.06	3.17±0.25	4.71±0.19	67.2
	10-20	2.0±0.4	0.60±0.05	1.47±0.12	2.07±0.41	71.0
	20-30	1.9±0.2	1.04±0.08	1.01±0.08	2.04±0.25	49.2
	30-40	4.2±0.9	0.94±0.18	3.51±0.28	4.45±0.96	78.8
Б-350 (600 м)	0-10	7.4±0.7	0.86±0.06	6.90±0.55	7.76±0.74	89.0
	10-20	4.2±0.9	0.50±0.08	3.95±0.32	4.45±0.95	88.8
	20-30	5.2±1.0	0.45±0.07	5.07±0.41	5.51±1.09	91.9
	30-38	1.3±0.3	0.21±0.03	1.20±0.10	1.40±0.32	85.5
Б-353 (1200 м)	0-10	1.2±0.2	0.28±0.07	0.98±0.08	1.26±0.20	75.5
	10-20	1.5±0.3	0.31±0.03	1.30±0.10	1.61±0.34	80.6
	20-30	1.5±0.3	0.42±0.03	1.14±0.09	1.56±0.31	73.1
	30-40	—	—	—	—	—

Таблица 4.12. Окончание

Разрез	Горизонт (глубина), см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса мицелия		Суммарная биомасса грибоного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			темноокрашенного	светлоокрашенного		
Б-353 (1200 м)	40-50	0.2±0.2	-	0.25±0.02	0.25±0.18	100.0
	50-60	-	-	-	-	-
Б-352 (2300 м)	0-10	1.0±0.2	0.44±0.05	0.62±0.05	1.07±0.17	58.3
	10-20	0.4±0.1	0.29±0.03	0.11±0.01	0.41±0.12	26.5
	20-30	-	-	0.08±0.01	0.08±0.04	100.0
	30-40	-	0.04±0.04	-	0.04±0.04	-
	40-50	-	-	-	-	-
Б-351 (2600 м)	0-10	1.4±0.1	0.48±0.07	0.99±0.04	1.47±0.12	67.0
	10-20	0.5±0.0	0.57±0.05	-	0.57±0.05	-
	20-30	0.4±0.1	0.31±0.06	0.08±0.06	0.39±0.12	20.0
	30-40	0.2±0.0	0.19±0.03	-	0.19±0.03	-
	40-50	0.1±0.0	0.11±0.05	-	0.11±0.05	-

В зоне нерегулярного земледелия (разрез Б-353) биомасса микроскопических грибов сократилась до 0.78 мкг С/г почвы. Причем на глубине 10–30 см биомасса грибных гиф была выше, чем в верхнем слое; на глубине 30–40 и 50–60 см микроскопические грибы не были выявлены вовсе.

В фоновых почвах водораздела была выявлена минимальная суммарная биомасса грибного мицелия, средневзвешенное ее значение составляло 0.32 и 0.55 мкг С/г в почвах, удаленных на 2300 и 2600 м соответственно. В работах разных авторов [Полянская и др., 1997; Лысак и др., 2004; Bardgett et al., 1996; Frey et al., 1999; Bittman et al., 2005] показано существенное уменьшение биомассы микроскопических грибов при сельскохозяйственном освоении территории, вызванное, в первую очередь, физическим разрушением сети грибных гиф. Последующее забрасывание земледельческих полей приводит к увеличению биомассы грибного мицелия [Allison et al., 2005; van der Wal et al., 2006; de Vriers et al., 2007; Zarnoza et al., 2009]. По-видимому, повышенные значения суммарной биомассы грибного мицелия в ближайших к поселению почвах бывших пахотных угодий связано с восстановлением комплекса микроскопических грибов после прекращения распашки.

В различных горизонтах почв бывших земледельческих угодий, как правило, в структуре грибного мицелия наблюдалось преобладание светлоокрашенных гиф. Максимальные значения этого показателя были выявлены в почве, удаленной на 600 м от поселения, где доля светлоокрашенного мицелия составила, в различных горизонтах, 86–92%. Значительное уменьшение доли светлоокрашенных гиф (до 49%) на данной территории наблюдалось только в слое 20–30 см почвы, удаленной на 250 м от поселения. В периферийной аграрной зоне (разрез Б-353) в структуре грибного мицелия также преобладали светлоокрашенные гифы, и их доля достигала 100% на глубине 40–50 см. В почвах водораздела была выявлена минимальная доля светлоокрашенного мицелия. Так, в почве, находящейся на максимальном удалении от поселения, его доля не превышала 67%, причем на глубине 10–20 и 30–50 см весь мицелий был представлен темноокрашенными гифами.

Таким образом, после забрасывания пахотных угодий произошло увеличение суммарной биомассы грибного мицелия и увеличение доли светлоокрашенных гиф в его структуре, что было вызвано улучшением воздушно-физических свойств и увеличением содержания $C_{\text{орг}}$ в почвах.

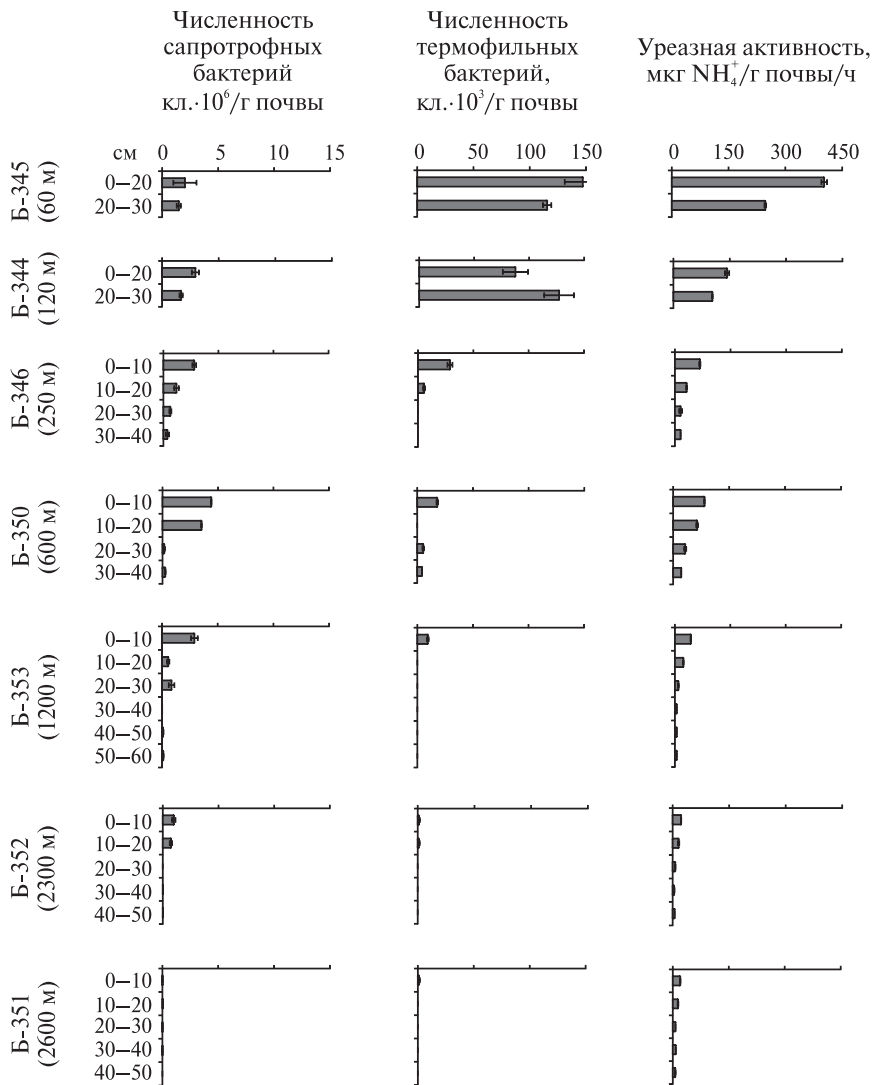


Рис. 4.7. Численность сапротрофных и термофильных микроорганизмов и уреазная активность почв ключевого участка Подкумское-3

Численность сапротрофных бактерий. Для оценки степени антропогенного преобразования почв археологических памятников можно использовать показатель численности сапротрофных бактерий. Существенное возрастание этой группы микроорганизмов проис-

ходит при внесении в почву различных органических материалов [Мишустин и др., 1979; Лысак и др., 2000].

Максимальная численность сапротрофных бактерий в изученных нами почвах наблюдалась в зоне интенсивного сельскохозяйственного использования в аланское время (рис. 4.7; см. табл. 4.11). Здесь, на участке трансекты протяженностью 600 м, наблюдалось увеличение численности этой группы микроорганизмов в верхних горизонтах с 2.04 до 4.4 млн кл./г почвы. В ближайших к поселению почвах (разрезы Б-345 и Б-344) вниз по профилю происходило существенное сокращение численности сапротрофов до 1.49–1.68 млн кл./г почвы в слое 20–30 см.

В почве, удаленной на 250 м от поселения, в подповерхностных слоях наблюдалось более выраженное уменьшение численности сапротрофных бактерий, где она равномерно сокращалась с 2.8 до 0.36 млн кл./г почвы.

В почве, удаленной на 600 м от поселения, была выявлена максимальная численность сапротрофов, причем в слое 10–20 см она была лишь незначительно ниже, чем в вышележащем слое. В нижележащих слоях численность сапротрофных бактерий уменьшалась до 0.16–0.24 млн кл./г почвы, причем некоторое ее увеличение наблюдалось на глубине 30–38 см.

В почве зоны нерегулярного земледелия (разрез Б-353), численность сапротрофных бактерий в различных горизонтах изменялась в пределах от 0.01 до 2.91 млн кл./г почвы, максимальные значения ее были выявлены в слое 0–10 см, минимальные — на глубине 30–40 см. По всему профилю наблюдалось несколько пиков возрастания численности на глубине 20–30 см и 50–60 см.

В фоновых почвах водораздела численность сапротрофных бактерий была существенно меньше. В разрезе Б-352 их численность изменялась вниз по профилю от 0.99 до 0.01 млн кл./г почвы, причем на глубине 20–30 см эти бактерии не были выявлены.

В разрезе Б-351 численность сапротрофов не превышала 0.04 млн кл./г почвы и наивысшее значение было выявлено на глубине 10–20 см.

Таким образом, сельскохозяйственное освоение территории с длительным применением навоза в аланское время могло привести к существенному увеличению численности сапротрофных бактерий, повышенный уровень которых отличается в настоящее время.

Численность термофильных бактерий. Как один из индикационных показателей, по нашим данным, можно рассматривать в почве термофильных бактерий. Эти организмы развиваются в условиях

высоких температур при перегнивании навоза, и только в случае поступления в почву навоза происходит ее загрязнение термофилами.

Численность термофильных бактерий в почвах существенно уменьшалась по мере удаления от поселения (см. рис. 4.7 и табл. 4.11). Наибольшее содержание термофилов было выявлено в почве, удаленной от поселения на 60 м, где вниз по профилю их содержание уменьшалось с 147 до 112 тыс. кл./г почвы.

В следующей по удалению от поселения почве содержание термофилов также было высоким, но здесь максимальное их содержание было выявлено в нижнем горизонте, на глубине 20–27 см.

Далее по трансекте произошло существенное сокращение численности термофильных бактерий до 29 и 18 тыс. кл./г почвы в верхнем горизонте почв, удаленных на 250 и 600 м от поселения. Примечательно, что в почве, удаленной на 600 м от поселения, наблюдалось возрастание содержания термофилов до 5–4 тыс. кл./г почвы на глубине 20–30 и 30–38 см.

В почве на участке нерегулярного земледелия термофильные микроорганизмы были выявлены только в слое 0–10 см, и здесь их обилие не превышало 9 тыс. кл./г почвы.

В фоновых почвах водораздела уровень термофильных микроорганизмов соответствовал значениям для современных незагрязненных почв, и их численность не превышала 1 тыс. кл./г почвы.

Таким образом, высокая численность термофилов в почвах на участке интенсивного сельскохозяйственного освоения указывает на активное применение навоза в земледельческой практике в аланское время, так как в естественных почвах, которые не возделывались и не удобрялись навозом в раннем Средневековье, этот показатель на несколько порядков ниже.

Уреазная активность. Те же закономерности, которые были установлены для численности термофильных бактерий, удалось выявить и для другого показателя, тесно связанного с внесением навоза — уреазной активности.

По мере удаления от поселения в почвах происходило уменьшение уреазной активности (см. рис. 4.7). Уреазная активность была выявлена в ближайшей к поселению почве, удаленной от него на 60 м, где в верхнем горизонте она составляла 403 мкг NH_4^+ /г почвы, а в нижележащем горизонте уменьшилась почти в два раза. Далее при движении по трансекте от поселения к фоновым участкам произошло резкое уменьшение уреазной активности верхнего горизонта сначала до 143 мкг NH_4^+ /г в почве, удаленной от поселения на 120 м, а затем до 67 мкг NH_4^+ /г в почве, удаленной на 250 м.

В почве, удаленной на 600 м от поселения, произошло некоторое увеличение уреазной активности. В зоне нерегулярного земледелия в аланское время (разрез Б-353) уреазная активность вниз по профилю уменьшалась с 43 до 5 мкг NH_4^+ /г почвы. Минимальная уреазная активность была выявлена в почвах, расположенных на вершине водораздела, где в верхнем горизонте она не превышала 22 NH_4^+ /г почвы.

Повышенная уреазная активность в зоне активного сельскохозяйственного освоения связана с внесением навоза в аланское время. Известно, что внесение в почву значительного количества органических материалов обычно стимулирует микробиологическую активность и приводит к увеличению микробной биомассы и ферментативной активности [Klose, Tabatabai, 1999; Dodor, Tabatabai, 2003; Marschner et al., 2003]. Увеличение уреазной активности при внесении навоза отмечалось некоторыми авторами [Bandick, Dick, 1999; Antonius, 2003; Bol et al., 2003; Bohme et al., 2005; Bastida et al., 2008], и это обусловлено улучшением почвенных свойств и внесением уреобактерий непосредственно вместе с навозом [Gianfreda, Ruggiero, 2006].

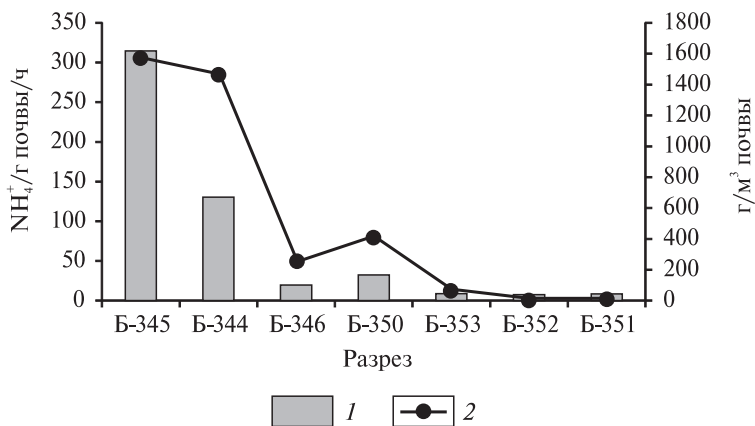


Рис. 4.8. Соотношение уреазной активности (средневзвешенная величина по профилю) и содержания керамики в почвах ключевого участка Подкуское-3

1 — уреазная активность; 2 — содержание керамики

Мы провели сравнение уреазной активности с содержанием керамики в почвах, исходя из предположения, что ее происхождение в почвах связано с внесением навоза вместе с бытовым му-

сором с поселения (рис. 4.8). Для этого количество фрагментов керамики было пересчитано на 1 м³ почвы и рассчитана средняя уреазная активность по всему профилю. Между уреазной активностью и числом фрагментов керамики была выявлена тесная, значимая взаимосвязь (коэффициент корреляции 0.82 при P = 0.05).

Таким образом, использование навоза в аграрной практике в аланское время привело к увеличению уреазной активности, и ее повышенный уровень сохранился до настоящего времени.

Таблица 4.13. Экофизиологические коэффициенты почв ключевого участка Подкумское-3

Разрез	Горизонт (глубина), см	$q\text{CO}_2$, мкг С-СО ₂ /мг С _{мик} /ч	$C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$	АМБ/СМБ
			%	
Б-345 (60 м)	0–20	0.2	1.0	27.6
	20–33	0.0	0.8	12.8
Б-344 (120 м)	0–20	0.7	1.2	38.2
	20–27	0.9	0.7	15.5
Б-346 (250 м)	0–10	0.3	2.4	42.8
	10–20	1.1	1.5	21.0
	20–30	0.4	1.3	19.3
	30–40	0.0	0.9	7.6
Б-350 (600 м)	0–10	0.5	2.2	56.7
	10–20	0.9	1.2	17.3
	20–30	0.4	0.9	9.2
	30–38	1.3	0.5	6.5
Б-353 (1200 м)	0–10	0.8	2.1	15.6
	10–20	2.2	0.9	7.2
	20–30	1.2	0.9	3.1
	30–40	6.0	0.3	0.7
	40–50	28.7	0.3	0.7
	50–60	1.7	0.5	1.9
Б-352 (2300 м)	0–10	2.4	0.8	13.2
	10–20	1.1	0.5	10.5
	20–30	1.2	0.5	3.1
	30–40	0.7	0.4	2.3
	40–50	0.1	0.5	3.7

Таблица 4.13. Окончание

Разрез	Горизонт (глубина), см	$q\text{CO}_2$, мкг С- CO_2 /мг С _{мик} /ч	$C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$	АМБ/СМБ
			%	
Б-351 (2600 м)	0–10	0.6	0.2	4.3
	10–20	0.4	0.2	3.1
	20–30	0.2	0.3	1.3
	30–40	0.2	0.2	0.8
	40–50	0.1	0.4	5.9

Экофизиологические коэффициенты. В ближайшей к поселению почве (разрез Б-345) наблюдались как низкие значения метаболического коэффициента, так и низкое соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ (табл. 4.13). Невысокое соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ показывает уменьшение доступности органического вещества в почве для микроорганизмов так же, как и низкие значения $q\text{CO}_2$.

Кроме того, уменьшение экофизиологических коэффициентов может быть вызвано невысокой долей активной микробной биомассы [Joergensen, Emmerling, 2006; Mamilov, Dilly, 2002], что и наблюдается в данном случае. Некоторые авторы отмечают, что низкие значения $q\text{CO}_2$ характерны для почв, в которые вносились органические удобрения [Marinari et al., 2006]. Однако внесение удобрений может как уменьшать, так и увеличивать метаболический коэффициент. В системах, где отсутствует лимит питательных веществ, при внесении удобрений будет наблюдаться уменьшение микробной продуктивности и увеличение коэффициента $q\text{CO}_2$, в то время как в системах с недостатком питательных веществ, внесение удобрений будет приводить к уменьшению метаболического коэффициента [Wardle, Ghani, 1995].

В почве, удаленной на 120 м от поселения, произошло некоторое увеличение экофизиологических коэффициентов, что связано с увеличением доли активных микроорганизмов. В почве, удаленной на 250 м от поселения, соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ было самым высоким и в верхнем слое достигало 2.4%, однако значение метаболического коэффициента было оптимальным только в слое 10–20 см. В почве, удаленной на 600 м от поселения, соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ было несколько меньше, и здесь наблюдалось увеличение $q\text{CO}_2$ вниз по профилю.

Увеличение метаболического коэффициента с глубиной отмечалось и ранее [Lavahum et al., 1996].

В почве периферийной аграрной зоны соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ в верхнем слое было на уровне 2%, вниз по профилю произошло резкое его сокращение, но на глубине 50–60 см вместе с увеличением доли активной биомассы произошло увеличение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$. Значения метаболического коэффициента в целом соответствовали оптимальным, но в слое 30–40 и 40–50 см $q\text{CO}_2$ увеличился до 6 и 28 мкг С- CO_2 /мг $C_{\text{мик}}$ /ч.

Низкие значения микробной биомассы могут характеризовать либо стрессовые условия, либо антропогенные нарушения, и оба эти фактора могут приводить к повышению значений $q\text{CO}_2$ [Wardle, 1993].

В фоновых почвах водораздела произошло резкое уменьшение соотношения $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$. В почве, удаленной на 2300 м от поселения, экофизиологические коэффициенты равномерно уменьшались вниз по профилю. Метаболический коэффициент и соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ уменьшаются с глубиной вместе с уменьшением доступности углерода и характеризуют ненарушенные экосистемы [Rangger, Insam, 1996]. В почве, удаленной на 2600 м от поселения, были выявлены минимальные значения экофизиологических коэффициентов.

4.2.3. Химические свойства и биологическая активность почв средневековых полей в окрестностях укрепления Подкумское-7

Поселение Подкумское-7 расположено на останце южной экспозиции. Севернее укрепления расположен значительный по площади (до 2–3 га) мыс, отрезанный от склона, с характерным подъемом к югу на 4–5°, в результате чего не происходит поступление эрозионного материала на территорию, прилегающую к поселению. В этой ситуации вся земледельческая зона поселения оказывается в эрозионно-опасной зоне.

В окрестностях поселения Подкумское-7 была заложена серия разрезов от поселения к склону (разрезы Б-357, Б-354, Б-356 и Б-358), удаленных на следующие расстояния от поселения: 60, 150, 500 и 700 м соответственно (см. главу 3). Почвы водораздельного пространства (разрезы Б-352 и Б-351), которые мы рассматривали в качестве фоновых на ключевом участке Подкумское-3, можно рассматривать в качестве таковых и для ключевого участка Подкумское-7.

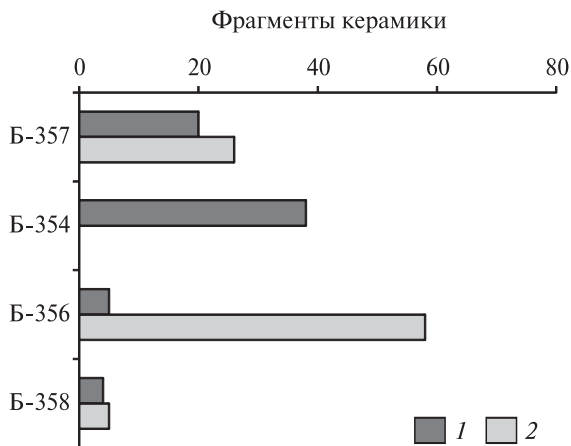


Рис. 4.9. Распределение фрагментов керамики в почвах ключевого участка Подкумское-7

Слой: 1 — 0–20 см; 2 — 20–40 см

Ближайший к поселению разрез Б-357 заложен в выраженном понижении, образовавшемся на месте выборки камня для строительства стен. В разрезе обнаружено большое количество фрагментов керамики аланского времени, которая сосредоточена преимущественно в слое 10–20 см (рис. 4.9).

Разрез Б-354 заложен в зоне активной эрозии. Почвенный профиль сильно эродирован, мощность не превышает 15–20 см. В разрезе обнаружено значительное количество керамики аланского времени.

Разрез Б-356 расположен в выраженном понижении, в зоне аккумуляции эрозионного материала. Основная масса керамики сосредоточена в слое 20–40 см.

Разрез Б-358 расположен на склоне, который предположительно не использовался в качестве пахотного угодья, на что указывает незначительное количество керамики. В профиле хорошо сохранилась погребенная почва на глубине 75–100 см.

По мере удаления от поселения происходили существенные изменения свойств почв (табл. 4.14 и 4.15). На участке транsekты протяженностью 500 м (разрезы Б-357, Б-354, Б-356) влажность различных горизонтов почв регистрировалась на уровне 8–9%, некоторое уменьшение этого показателя, до 6.2 и 6.5% наблюдалось в слое 11–23 см разреза Б-357 и в слое 30–40 см разреза Б-356 соответственно. В почве, удаленной на 700 м от по-

селения, влажность была несколько ниже, причем максимальной она была в слое 10–20 см, и в нижних слоях наблюдалось некоторое увеличение этого показателя относительно вышележащих слоев.

Таблица 4.14. Химические свойства и гранулометрический состав почв ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт (глубина), см	Влажность	C _{орг}	CaCO ₃	pH _{вод}	Содержание частиц, %	
		%				< 0.01 мм	< 0.001 мм
Б-357 (60 м)	0–11	9.4	7.6	50.1	7.6	12	6
	11–23	6.2	2.6	62.1	7.8	24	8
Б-354 (150 м)	2–10	8.5	9.0	16.2	7.7	34	7
	10–15	8.3	8.8	15.9	7.6	31	8
Б-356 (500 м)	0–10	8.9	8.4	10.3	7.5	25	7
	10–20	8.9	7.2	8.1	7.5	25	8
	20–30	8.3	4.2	23.8	7.8	28	11
	30–40	6.5	2.6	40.4	7.9	20	7
Б-358 (700 м)	0–10	6.4	3.4	3.6	5.7	21	6
	10–20	7.5	2.5	2.2	5.8	13	8
	20–30	4.2	2.1	3.1	6.0	17	13
	30–40	4.5	1.3	3.7	6.2	23	13
	40–50	4.8	1.0	2.7	6.5	24	17
	50–60	4.0	1.0	2.7	6.5	28	18
	60–70	5.0	1.3	2.2	6.6	32	17
	70–80	5.9	1.4	3.1	6.8	29	23
Б-352 (1350 м)	0–10	5.2	4.5	2.2	6.2	18	8
	10–20	4.4	4.0	2.2	6.1	21	6
	20–30	4.9	2.1	2.2	6.5	29	12
	30–40	2.9	2.0	2.2	6.3	33	18
	40–50	3.5	1.9	2.2	6.7	29	17
Б-351 (1400 м)	0–10	5.2	3.9	2.2	5.4	15	6
	10–20	5.4	3.6	2.2	5.4	20	6
	20–30	3.9	2.0	2.2	5.3	26	11
	30–40	4.4	1.5	1.8	5.7	26	11
	40–50	4.6	1.0	2.2	5.9	32	14

Таблица 4.15. Содержание минеральных форм азота и фосфатов в почвах ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт (глубина), см	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ _{обм}	P ₂ O ₅	
		мг/100 г почвы		подвижные фосфаты, мг/100 г почвы	валовый фосфор, %
Б-357 (60 м)	0–11	4.59	1.17	7.52	0.50
	11–23	0.84	0.43	2.63	0.43
Б-354 (150 м)	0–10	9.43	0.88	9.61	н.д.
	10–15	8.97	0.72	3.95	н.д.
Б-356 (500 м)	0–10	3.76	1.18	5.34	0.33
	10–20	3.56	1.01	2.61	0.27
	20–30	3.20	0.79	1.72	0.25
	30–40	1.13	0.91	1.54	0.21
Б-358 (700 м)	0–10	0.38	0.93	1.62	н.д.
	10–20	сл.	0.60	1.24	н.д.
	20–30	сл.	0.41	1.21	н.д.
	30–40	сл.	0.30	1.64	н.д.
	40–50	0.08	0.23	1.61	н.д.
	50–60	0.04	0.17	1.30	н.д.
	60–70	сл.	0.18	0.84	н.д.
Б-352 (1350 м)	0–10	0.67	2.30	3.32	0.20
	10–20	0.76	0.81	4.71	0.18
	20–30	0.57	0.71	3.25	0.14
	30–40	сл.	0.52	2.73	0.13
	40–50	сл.	0.50	1.41	0.11
Б-351 (1400 м)	0–10	0.50	2.30	3.32	н.д.
	10–20	0.78	1.92	4.47	н.д.
	20–30	0.21	1.02	3.21	н.д.
	30–40	сл.	0.86	3.32	н.д.
	40–50	сл.	0.64	3.34	н.д.

Содержание C_{орг} также было выше на участке трансекты протяженностью 500 м. Здесь максимальное его содержание было выявлено в почве, удаленной от поселения на 150 м, где оно составляло 9%. В почве, удаленной на 60 м, содержание C_{орг} было на уровне

7% в верхнем горизонте. В разрезе Б-356 содержание $C_{\text{орг}}$ вниз по профилю равномерно уменьшалось с 8 до 3%. В почве, удаленной на 700 м от поселения, на склоновом участке содержание $C_{\text{орг}}$ уменьшилось приблизительно в два раза в верхнем слое, и в нижележащих слоях не превышало 1%.

Содержание CaCO_3 было максимальным в ближайшей к поселению почве, где в слое 11–23 см оно достигало 62%, что может быть связано с поступлением карбонатов со строительным мусором при сооружении стен поселения. Далее по трансекте отмечено уменьшение содержания карбонатов до 16% в разрезе Б-354. В почве на расстоянии 500 м от поселения вновь произошло увеличение содержания CaCO_3 в слоях 20–30 и 30–40 см. В почве, удаленной на 700 м, содержание карбонатов не превышало 4%.

На участке трансекты протяженностью 500 м реакция среды, как правило, была слабощелочной. Далее по трансекте в почве, удаленной на 700 м от поселения, реакция среды вниз по профилю изменялась от близкой к нейтральной до нейтральной.

Наиболее легким гранулометрическим составом характеризовалась ближайшая к поселению почва, здесь по профилю он изменялся от супесчаного до легкосуглинистого. Почва, удаленная на 150 м, характеризовалась среднесуглинистым гранулометрическим составом. Далее по трансекте в разрезе Б-356 гранулометрический состав изменился до легкосуглинистого. В почве, удаленной на 700 м от поселения, гранулометрический состав также был преимущественно легкосуглинистым по всему профилю.

Содержание подвижных минеральных форм азота также было максимальным на участке трансекты, протяженностью 500 м, в предполагаемой пахотной зоне (см. табл. 4.15).

Наибольшее содержание нитратного азота было выявлено в разрезе Б-354, где оно составило 9.43 мг N/100 г почвы. В ближайшей к поселению почве оно составило 4.59 мг N/100 г почвы в верхнем горизонте, а в слое 11–23 см произошло резкое уменьшение содержания N-NO_3^- до 0.84 мг N/100 г почвы.

Несколько меньшее содержание нитратного азота было выявлено в почве, удаленной на 500 м от поселения, где оно составило 3.76 мг N/100 г почвы в верхнем слое, а в нижележащих слоях содержание N-NO_3^- было на том же уровне. Значительное уменьшение содержания нитратной формы азота наблюдалось лишь на глубине 30–40 см.

В почве, удаленной на 700 м от поселения, за пределами предполагаемой пахотной зоны, было выявлено минимальное содер-

жание нитратного азота, не превышающее 0.38 мг N/100 г почвы, причем максимум наблюдался на глубине 40–50 см.

Содержание $N-NH_{4\text{обм}}^+$, как правило, было максимальным в пределах полукилометровой зоны. На этой территории во всех горизонтах почв содержание $N-NH_{4\text{обм}}^+$ было выше, чем содержание $N-NO_3^-$, в то время как в почве, удаленной на 700 м, аммонийная форма азота преобладала над нитратной. Это может свидетельствовать о том, что данная территория испытывала минимальный антропогенный прессинг.

Содержание подвижных фосфатов в почвах в окрестностях поселения было в целом невысоким (см. табл. 4.15). Максимальные значения этого показателя были выявлены в почве, удаленной на 60 и 500 м от поселения, где вниз по профилю происходило уменьшение этого показателя с 7.52 до 2.63 и с 5.34 до 1.54 мг $P_2O_5/100$ г почвы. В почве, удаленной на 500 м от поселения, содержание фосфатов было несколько меньше. Минимальное содержание фосфатов было выявлено в почве, удаленной на 700 м от поселения, здесь в различных горизонтах оно изменялось в пределах от 0.81 до 1.64 мг $P_2O_5/100$ г почвы. Содержание валового фосфора было определено в разрезах Б-357 и Б-356. В ближайшей к поселению почве его содержание было в 1.5 раза выше, чем в почве, удаленной на 500 м от поселения.

В целом на ключевом участке Подкумское-7 наблюдалась ситуация аналогичная таковой на ключевом участке Подкумское-3. Здесь также в ближайших к поселению почвах наблюдались повышенное содержание $C_{\text{орг}}$ и валового фосфора и накопление $N-NO_3^-$.

Биологическая активность почв

Суммарная микробная биомасса. Численность микробных клеток в различных горизонтах изученных почв колебалась в пределах от 2.53 до $6.27 \cdot 10^{11}$ кл./г почвы. На основе этого показателя была рассчитана суммарная микробная биомасса (табл. 4.16).

В распределении суммарной микробной биомассы по трансекте, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, не было выявлено никаких закономерностей, и различия между почвами и горизонтами почв были недостоверными (рис. 4.10; см. табл. 4.16). Но, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, здесь можно отметить некоторую тенденцию к увеличению СМБ по мере удаления от поселения.

Таблица 4.16. Микробиологические параметры почв и культурных слоев ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт (глубина), см	Микробная биомасса, мкг С/г почвы		Численность		
		суммарная	активная	микроорганизмов, кл.·10 ¹¹ /г почвы	сапротрофных бактерий, кл.·10 ⁶ /г почвы	термофильных бактерий, кл.·10 ³ /г почвы
Б-357 (60 м)	0-11	3310±705	1164±27	4.14±1.02	2.40±0.01	6.59±1.54
	11-23	3193±366	231±13	3.99±0.53	0.87±0.02	7.97±1.91
Б-354 (150 м)	0-10	2647±386	1465±86	3.31±0.56	6.49±0.56	1.09±0.76
	10-15	2446±519	1385±102	3.26±0.53	6.15±0.40	–
Б-356 (500 м)	0-10	4405±744	1266±65	5.51±1.08	12.65±0.60	7.08±0.49
	10-20	3823±379	636±16	4.78±0.55	3.21±0.26	2.18±1.52
	20-30	3149±278	214±3	3.94±0.40	0.23±0.02	3.25±0.76
	30-40	2022±260	127±5	2.53±0.38	1.26±0.02	–
Б-358 (700 м)	0-10	4830±939	621±13	6.04±1.36	2.81±0.16	4.68±1.81
	10-20	4412±898	275±5	5.52±1.30	1.56±0.09	–
	20-30	2643±375	169±6	3.30±0.54	1.28±0.11	0.63±0.42
	30-40	2775±1531	143±21	5.20±1.94	0.07±0.04	–
Б-352 (1350 м)	40-50	2627±143	83±9	3.28±0.21	0.05±0.01	–
	50-60	3944±773	36±14	4.93±1.12	0.04±0.01	–
	60-70	3621±446	66±10	2.87±1.50	0.14±0.03	–
	70-80	2956±344	20±1	3.70±0.50	0.04±0.01	–
Б-352 (1350 м)	0-10	2840±524	376±19	3.55±0.76	0.99±0.15	1.10±0.69
	10-20	2114±126	222±4	5.41±2.78	0.73±0.11	1.00±0.70

Таблица 4.16. Окончание

Разрез	Горизонт (глубина), см	Микробная биомасса, мкг С/г почвы		Численность		
		суммарная	активная	микроорганизмов, кл.·10 ¹¹ /г почвы	сапротрофных бактерий, кл.·10 ⁶ /г почвы	термофильных бактерий, кл.·10 ³ /г почвы
Б-352 (1350 м)	20-30	3221±55	100±6	5.25±0.20	–	–
	30-40	3664±565	85±14	4.58±0.82	0.01±0.01	–
	40-50	2528±684	93±7	3.16±0.99	0.01±0.01	–
Б-351 (1400 м)	0-10	1912±171	83±3	2.39±0.30	0.01±0.01	1.10±0.71
	10-20	2257±245	70±2	2.82±0.35	0.04±0.02	–
	20-30	3745±87	50±5	3.63±1.06	0.01±0.01	–
	30-40	4617±89	36±4	4.28±1.34	0.01±0.01	–
	40-50	605±66	35±4	1.15±0.40	–	–

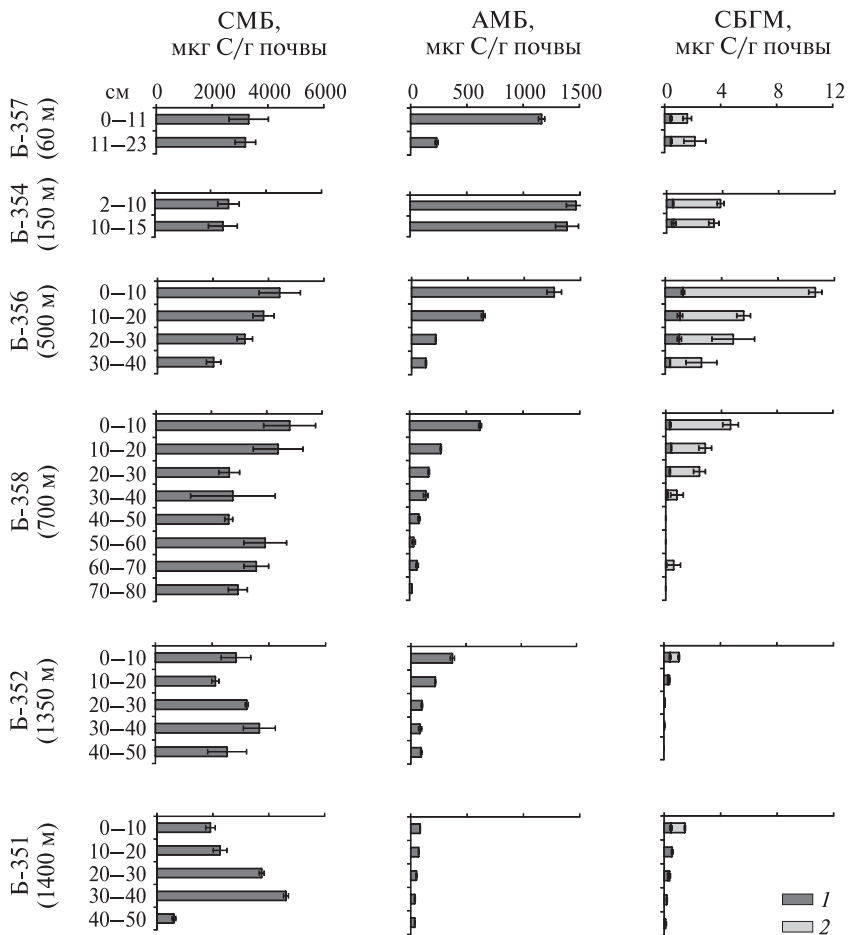


Рис. 4.10. Микробная биомасса в почвах ключевого участка Подкумское-7

СМБ — суммарная микробная биомасса; АМБ — активная микробная биомасса; СБГМ — суммарная биомасса грибного мицелия: 1 — темноокрашенного, 2 — светлоокрашенного

Минимальные значения микробной биомассы были выявлены в ближайших к поселению почвах, удаленных на 60 и 150 м, где вниз по профилю этот показатель незначительно уменьшился с 3310 до 3193 мкг С/г почвы и с 2647 до 2446 мкг С/г почвы соответственно. В почвах, удаленных на 500 и 700 м от поселения, микробная биомасса составляла 3350 и 3480 мкг С/г почвы соот-

ветственно. Причем, если в разрезе Б-356 происходило равномерное уменьшение СМБ с глубиной, то в разрезе Б-358 на глубине 50–60 см наблюдался второй пик ее возрастания.

Активная микробная биомасса. Наиболее высокое содержание микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, было выявлено на участке трансекты протяженностью 500 м (см. рис. 4.10 и табл. 4.16). Здесь максимальные значения АМБ зафиксированы в почве, удаленной на 150 м от поселения, где вниз по профилю эти значения изменялись от 1465 до 1385 мкг С/г почвы.

Несколько меньшей АМБ была в разрезе Б-356, вниз по профилю здесь также наблюдалось постепенное ее уменьшение. В ближайшей к поселению почве биомасса микроорганизмов незначительно отличалась и составляла в верхнем горизонте 1164 мкг С/г почвы, вниз по профилю значения АМБ резко сократились до 231 мкг С/г почвы.

В почве, удаленной на 700 м от поселения, произошло сокращение биомассы микроорганизмов в верхнем слое в 2–3 раза, по сравнению с вышеописанными почвами. Кроме того, здесь не наблюдалось равномерного уменьшения АМБ по профилю, и на глубине 60–70 см зафиксировано ее увеличение относительно вышележащего слоя.

В целом на ключевом участке Подкумское-7 имела место аналогичная ситуация, как и на ключевом участке Подкумское-3. Здесь также отмечено уменьшение АМБ по мере удаления от поселения. Увеличение АМБ, как уже было сказано ранее, обусловлено внесением навоза в почву, так как внесение навоза стимулирует микробиологическую активность [Schnurer et al., 1985; Dick et al., 1992].

Отношение АМБ/СМБ также было максимальным в ближайших к поселению почвах и в целом было аналогичным характеру распределения активной микробной биомассы по трансекте и по горизонтам почв.

Суммарная биомасса грибного мицелия. Длина грибного мицелия в различных горизонтах исследованных почв не превышала 9 м/г почвы (табл. 4.17). На основе этого показателя была рассчитана биомасса грибного мицелия.

Максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почве в разрезе Б-356, где вниз по профилю происходило ее уменьшение с 10.6 до 2.6 мкг С/г почвы (см. рис. 4.10 и табл. 4.17). Возможно, это связано с расположением разреза в микропонижении и с периодическим избыточным увлажнением. На других участках трансекты содержание микроскопических грибов было существенно меньше.

Таблица 4.17. Длина и биомасса грибного мицелия в почвах ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт (глубина), см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса мицелия		Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			темноокрашенного	светлоокрашенного		
мкг С/г почвы						
Б-357 (60 м)	0-11	1.4±0.3	0.45±0.07	1.16±0.31	1.61±0.38	71.7
	11-23	1.9±0.7	0.47±0.06	1.69±0.78	2.16±0.84	78.0
Б-354 (150 м)	0-10	3.4±0.2	0.47±0.04	3.39±0.25	3.85±0.28	87.8
	10-15	2.9±0.6	0.51±0.16	2.87±0.37	3.38±0.53	86.2
Б-356 (500 м)	0-10	9.3±0.5	1.26±0.11	9.38±0.47	10.64±0.58	88.2
	10-20	4.8±0.6	1.05±0.18	4.51±0.48	5.56±0.67	81.2
	20-30	4.2±1.5	1.01±0.15	3.82±1.51	4.83±1.66	79.2
	30-40	2.3±1.0	0.36±0.01	2.21±1.09	2.56±1.10	86.0
Б-358 (700 м)	0-10	4.1±0.6	0.31±0.06	4.33±0.56	4.65±0.62	93.1
	10-20	2.5±0.4	0.39±0.02	2.44±0.46	2.83±0.48	86.0
	20-30	2.2±0.4	0.29±0.04	2.13±0.43	2.42±0.46	87.9
	30-40	0.7±0.5	0.12±0.05	0.68±0.45	0.80±0.50	84.4
	40-50	-	-	-	-	-
50-60	-	-	-	-	-	
60-70	-	0.5±0.4	-	0.57±0.49	0.57±0.49	100.0
70-80	-	-	-	-	-	-

Таблица 4.17. Окончание

Разрез	Горизонт (глубина), см	Суммарная длина грибного мицелия, м/г почвы	Биомасса мицелия		Суммарная биомасса грибного мицелия	Доля светлоокрашенного мицелия, %
			темноокрашенного	светлоокрашенного		
Б-352 (1350 м)	0–10	1.0±0.2	0.44±0.05	0.62±0.05	1.07±0.17	58.3
	10–20	0.4±0.1	0.29±0.03	0.11±0.01	0.41±0.12	26.5
	20–30	–	–	0.08±0.01	0.08±0.04	100.0
	30–40	–	0.04±0.04	–	0.04±0.04	–
	40–50	–	–	–	–	–
Б-351 (1400 м)	0–10	1.4±0.1	0.48±0.07	0.99±0.04	1.47±0.12	67.0
	10–20	0.5±0.0	0.57±0.05	–	0.57±0.05	–
	20–30	0.4±0.1	0.31±0.06	0.08±0.06	0.39±0.12	20.0
	30–40	0.2±0.0	0.19±0.03	–	0.19±0.03	–
	40–50	0.1±0.0	0.11±0.05	–	0.11±0.05	–

В почве, удаленной на 700 м от поселения, их биомасса в верхнем горизонте не превышала 5 мкг С/г почвы, а на глубине 40–60 и 70–80 см микроскопические грибы не были выявлены. В почве, удаленной на 150 м, биомасса грибного мицелия по всему профилю была на уровне 3.9–3.4 мкг С/г почвы. В ближайшей к поселению почве биомасса микроскопических грибов вниз по профилю увеличивалась с 1.6 до 2.2 мкг С/г почвы.

В структуре грибного мицелия во всех изученных почвах преобладал светлоокрашенный. Минимальная его доля была выявлена в почвах вблизи поселения, где этот показатель не превышал 55%.

В почвах, удаленных на 150 и 500 м, доля светлоокрашенного мицелия достигала 80–90%. В почве, находящейся на максимальном удалении от поселения за пределами пахотной зоны, доля светлоокрашенного мицелия в различных горизонтах колебалась в пределах от 84 до 100%, и здесь его доля была наибольшей относительно всех изученных почв.

Численность сапротрофных бактерий. Численность сапротрофов в почвах земледельческой зоны поселения Подкумское-7 была максимальной в почве разреза Б-356 (рис. 4.11; см. табл. 4.16), однако это относится лишь к слою 0–10 см, где содержание сапротрофов составило 12.65 млн кл./г почвы.

Вниз по профилю произошло резкое уменьшение этого показателя сначала до 3.21 млн кл./г почвы в слое 10–20 см, затем до 0.23 в слое 20–30 см, а на глубине 30–40 см численность сапротрофов возросла до 1.26 млн кл./г почвы. Достоверное увеличение численности сапротрофных микроорганизмов зафиксировано в почвах предполагаемой древней пахотной зоны (разрез Б-354, удаленный на 150 м от поселения), где значения достигали 6.49 млн кл./г почвы, причем с глубиной этот показатель мало изменялся. За пределами пахотной зоны в почве, расположенной в 700 м от поселения, численность сапротрофов составила в верхнем слое 2.81 млн кл./г почвы, а в нижележащих слоях произошло постепенное ее уменьшение до 1.56 млн кл./г почвы в слое 10–20 см и 1.28 — в слое 20–30 см.

Таким образом, общая ситуация с обилием сапротрофов в почвах ключевого участка Подкумское-7 соответствует отмеченным ранее закономерностям, выявленным для ключевого участка Подкумское-3, где было показано увеличение численности этой группы микроорганизмов в удобряемых почвах древних полей. Однако в данном случае отмечается несколько большая общая численность сапротрофов и нарушенный характер ее распределения в связи с активными эрозионными процессами.

4.2. Биологическая память почв средневековых полей

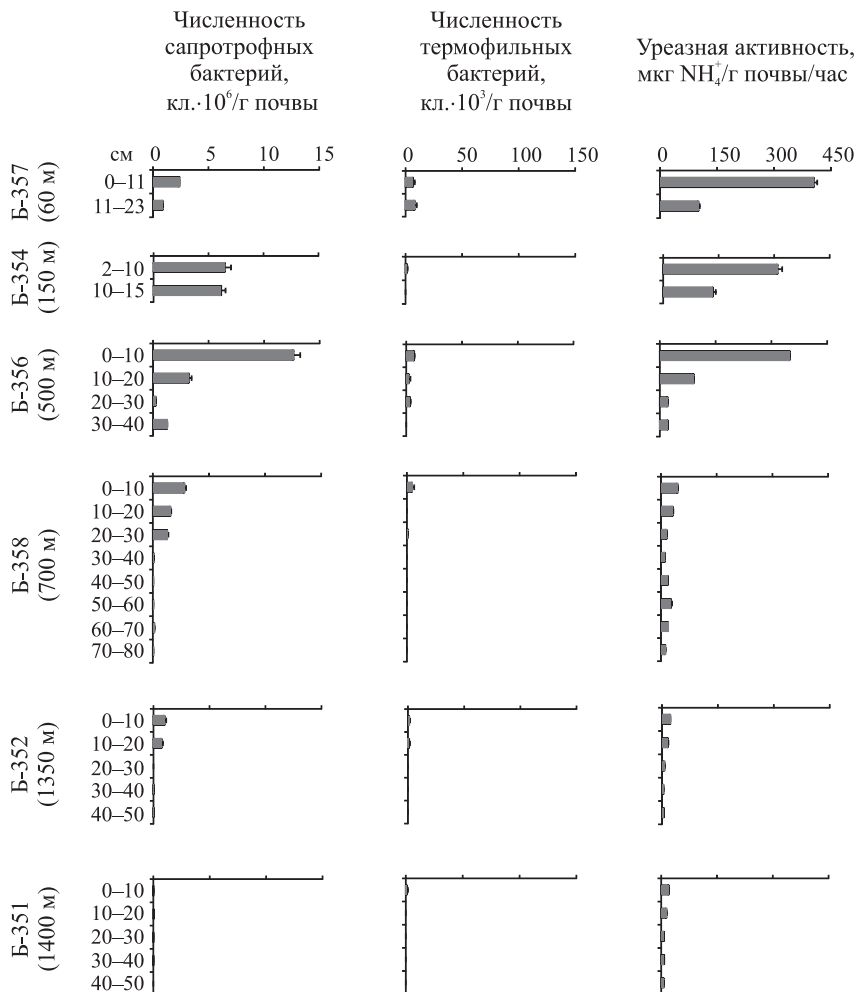


Рис. 4.11. Численность сапротрофных и термофильных микроорганизмов и уреазная активность почв ключевого участка Подкумское-7

Численность термофильных бактерий. Численность термофильных бактерий в почвах ключевого участка Подкумское-7 была на один-два порядка ниже по сравнению с Подкумским-3 (см. рис. 4.11 и табл. 4.16). Это могло быть вызвано двумя причинами. Во-первых, на поля в окрестностях поселения Подкумское-7 могли вносить меньшие нормы удобрений. Вторая, более вероятная причина, связана с меньшим сроком сельскохозяйственного использования

территории. Мысовой участок, на котором расположены пахотные угодья поселения Подкумское-7, отрезан от склона, он полностью лишен подпитки грунтовыми водами, и на него не поступает эрозионный материал, в результате чего резко возрастает эрозионная опасность. Вероятно, распашка этого участка могла резко активизировать эрозионные процессы. В этом случае при исходной незначительной и неодинаковой мощности почвенного покрова уже через непродолжительный период эксплуатации в отдельных местах могли обнажиться выходы известковистого песчаника, что сделало бы весьма затруднительной или даже невозможной дальнейшую обработку почвы. Но сам факт присутствия термофильных бактерий и значительные количества керамики в почвах, тем не менее указывают на обработку почв и внесение удобрений.

Уреазная активность. По трансекте на ключевом участке Подкумское-7, так же, как и на Подкумском-3, наблюдалось уменьшение уреазной активности по мере удаления от поселения (см. рис. 4.11). Максимальная уреазная активность здесь была отмечена в ближайших к поселению почвах, в разрезах Б-357 и Б-354, где она составляла в верхнем горизонте 404.7 и 309.3 мкг NH_4^+ /г почвы/ч.

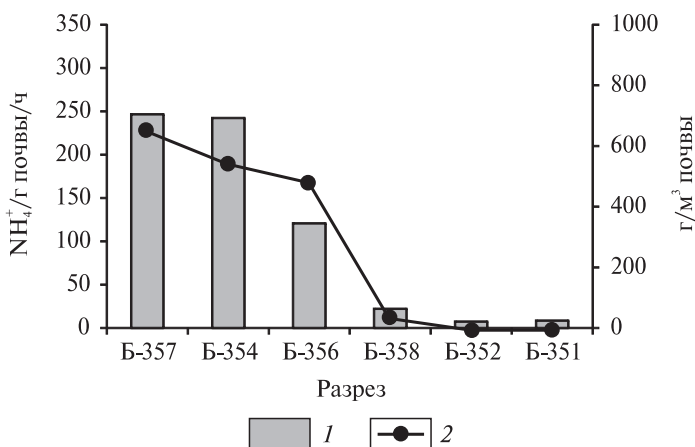


Рис. 4.12. Соотношение уреазной активности (средневзвешенная величина по профилю) и содержания керамики в почвах ключевого участка Подкумское-7

1 — уреазная активность; 2 — содержание керамики

В почве, удаленной на 500 м от поселения, уреазная активность составляла 349.3 мкг NH_4^+ /г почвы/ч в верхнем слое; в подповерх-

4.2. Биологическая память почв средневековых полей

ностных слоях этот показатель уменьшился с глубиной с 91.2 до 21.0 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. Повышенные значения уреазной активности на данном участке обусловлены эрозионными процессами. Также здесь было обнаружено большое количество фрагментов керамики, что также обусловлено аккумуляцией эрозионного материала.

Таблица 4.18. Экофизиологические коэффициенты почв ключевого участка Подкумское-7

Разрез	Горизонт (глубина), см	$q\text{CO}_2$, мкг С- CO_2 /мг С _{мик} /ч	$\text{C}_{\text{мик}}/\text{C}_{\text{орг}}$	АМБ/СМБ
			%	
Б-357 (60 м)	А1 0–11	0.2	1.5	35.2
	АС 11–23	5.9	0.9	7.2
Б-354 (150 м)	2–10	0.2	1.6	55.3
	10–15	0.2	1.6	56.6
Б-356 (500 м)	0–10	0.8	1.5	28.7
	10–20	0.4	0.9	16.6
	20–30	0.4	0.5	6.8
	30–40	2.4	0.5	6.3
Б-358 (700 м)	0–10	2.2	1.8	12.9
	10–20	2.9	1.1	6.2
	20–30	2.3	0.8	6.4
	30–40	2.5	1.1	5.2
	40–50	2.4	0.8	3.2
	50–60	6.1	0.4	0.9
	60–70	3.2	0.5	1.8
Б-352 (1350 м)	0–10	2.4	0.8	13.2
	10–20	1.1	0.5	10.5
	20–30	1.2	0.5	3.1
	30–40	0.7	0.4	2.3
	40–50	0.1	0.5	3.7
Б-351 (1400 м)	0–10	0.6	0.2	4.3
	10–20	0.4	0.2	3.1
	20–30	0.2	0.3	1.3
	30–40	0.2	0.2	0.8
	40–50	0.1	0.4	5.9

В почве, удаленной на 700 м от поселения, была выявлена минимальная уреазная активность, и в верхнем слое она не превышала 45 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. Кроме того, в профиле этой почвы наблюдалось возрастание активности фермента на глубине 50–60 см.

В почвах окрестностей поселения Подкумское-7 также было найдено большое количество фрагментов керамики, и здесь так же, как и на поселении Подкумское-3, наблюдалась тесная взаимосвязь между ее содержанием и уреазной активностью (рис. 4.12).

Экофизиологические коэффициенты. Соотношение $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ в верхнем горизонте почв трансекты изменялось незначительно, в пределах от 1.5 до 1.8%, и в целом вниз по профилю происходило уменьшение этого показателя (табл. 4.18), связанное с уменьшением доступности источников углерода [Lavahum et al., 1996]. Максимальным это соотношение было в почве за пределами пахотной зоны в 700 м от поселения.

Значение метаболического коэффициента в почвах исследуемых разрезов, как правило, увеличивалось вниз по профилю. Увеличение коэффициента $q\text{CO}_2$ обусловлено уменьшением доли активной микробной биомассы от суммарной.

Статистическая обработка данных

Метод главных компонент, выполненный с микробиологическими и химическими данными, показал, что 75.3% общей вариации объяснялось первыми двумя осями, и почвенные образцы четко группировались по степени унавоживания (рис. 4.13). Вдоль оси 1 отделялись древние унавоженные почвы от почв, куда навоз не вносился, и это объяснило 62.9% вариации. Ось 2 объясняла 12.4% вариации, и вдоль нее группировались ненарушенные почвы и пахотные почвы без внесения навоза. Все почвенные характеристики, кроме СМБ, были значимыми ($P = 0.05$). Показатели $C_{\text{орг}}$, активная микробная биомасса (АМБ), N-NO_3^- , уреазная активность (УА), биомасса светлоокрашенного мицелия (СМ), влажность (W), численность сапротрофных бактерии (СБ) и биомасса темноокрашенного мицелия (ТМ) показали тесную положительную взаимосвязь с осью 1 и, следовательно, с древними унавоживаемыми почвами. Изменения вдоль оси 2 были связаны с высоким содержанием N-NH_4^+ . Микробиологические свойства были тесно взаимосвязаны с типом землепользования. Древние унавоживаемые почвы характеризовались высокими значениями АМБ, УА, СМ,

СБ и ТМ. Пахотные не уваживаемые почвы и ненарушенные почвы характеризовались низкими значениями микробиологических параметров и высоким содержанием $N-NH_4^+$.

Корреляционный анализ Подкумское-3. В ближайшей к поселению почве (разрез Б-345) была выявлена тесная корреляционная связь активной микробной биомассы, суммарной биомассы грибного мицелия и уреазной активности с химическими свойствами почв, и только с содержанием $CaCO_3$ и pH она была отрицательной (табл. 4.19).

В почве, удаленной на 120 м от поселения, также отмечена тесная взаимосвязь между вышеупомянутыми показателями и химическими свойствами, за исключением содержания $N-NH_4^+$ обм. Кроме того, здесь выявлялась тесная зависимость численности сапротрофов с химическими свойствами.

В почве, удаленной на 250 м от поселения, выявлена прямая зависимость АМБ, СБГМ и уреазной активности с содержанием $C_{орг}$, $CaCO_3$ и минеральных форм азота и обратная взаимосвязь между СМБ и pH.

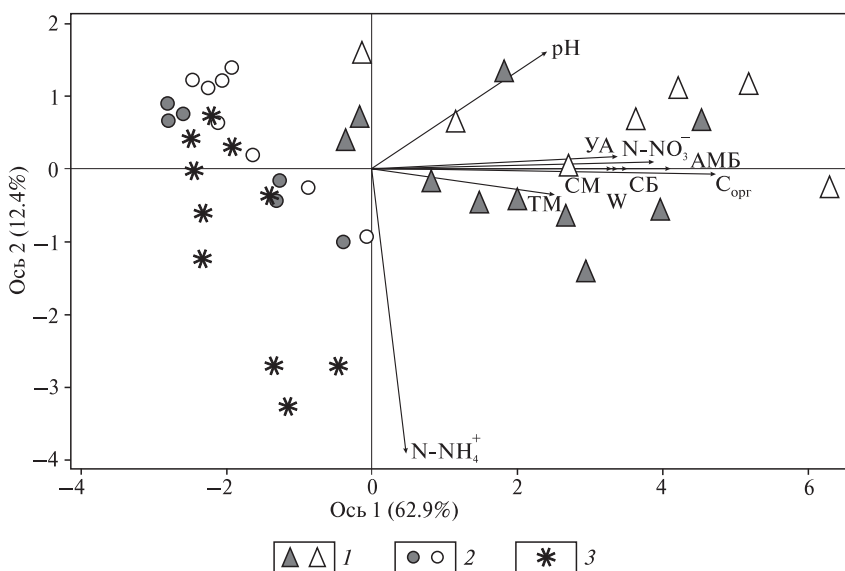


Рис. 4.13. Метод главных компонент для химических и микробиологических параметров

1 — почвы с внесением навоза в древности; 2 — пахотные почвы без внесения навоза; 3 — ненарушенные почвы. Локализация: Подкумское-3 — заливные символы, Подкумское-7 — незаливные

Таблица 4.19. Коэффициенты корреляции между химическими свойствами и параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-3

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреза
<i>Разрез Б-345 (60 м)</i>				
СМБ	-0.22	-0.08	0.48	-0.19
АМБ		0.96	0.32	1.00
СБГМ			0.57	0.97
Сапротрофы				0.36
<i>Разрез Б-344 (120 м)</i>				
СМБ	0.51	0.50	0.71	0.60
АМБ		1.00	0.97	0.99
СБГМ			0.97	0.98
Сапротрофы				0.99
<i>Разрез Б-346 (250 м)</i>				
СМБ	-0.14	0.57	-0.08	0.02
АМБ		0.36	1.00	0.99
СБГМ			0.36	0.49
Сапротрофы				0.99
<i>Разрез Б-350 (600 м)</i>				
СМБ	-0.08	0.33	0.02	0.04
АМБ		0.80	0.92	0.97
СБГМ			0.67	0.81
Сапротрофы				0.97
<i>Разрез Б-353 (1200 м)</i>				
СМБ	0.21	0.32	0.26	0.17
АМБ		0.60	0.97	0.99
СБГМ			0.55	0.61
Сапротрофы				0.93
<i>Разрез Б-352 (2300 м)</i>				
СМБ	-0.23	-0.25	-0.07	-0.11
АМБ		0.99	0.97	0.99
<i>Разрез Б-352 (2300 м)</i>				
СБГМ			0.94	0.96
Сапротрофы				0.99

Таблица 4.19. Окончание

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
<i>Разрез Б-351 (2600 м)</i>				
СМБ	-0.23	-0.25	-0.07	-0.11
АМБ		0.99	0.97	0.99
СБГМ			0.94	0.96
Сапротрофы				0.99

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, значимые при $P = 0.05$.

В почве, удаленной на 600 м, АМБ, СБГМ, численность сапротрофов и уреазная активность прямо коррелировали с содержанием $C_{\text{орг}}$ и минеральных форм азота; между микроскопическими грибами и рН наблюдалась обратная взаимосвязь.

В почве периферийной аграрной зоны (разрез Б-353) АМБ, СБГМ, численность сапротрофов и уреазная активность коррелировали с содержанием $C_{\text{орг}}$ и подвижных минеральных форм азота, также биомасса грибного мицелия коррелировала с влажностью и содержанием карбонатов.

В почве, удаленной на 2300 м от поселения, выявлена тесная взаимосвязь уреазной активности и численности сапротрофов с химическими свойствами, за исключением рН и влажности соответственно. АМБ и СБГМ коррелировали с содержанием $C_{\text{орг}}$ (положительная корреляция), CaCO_3 и рН (отрицательная корреляция).

В почве, максимально удаленной от поселения, АМБ и уреазная активность коррелировали с влажностью, содержанием $C_{\text{орг}}$ и минеральными формами азота, также выявлена тесная взаимосвязь СБГМ с содержанием $C_{\text{орг}}$ и аммонийной формой азота; сапротрофные бактерии коррелировали только с содержанием нитратного азота.

Все химические свойства по степени взаимосвязи с различными параметрами биологической активности можно расположить в следующем ряду: $C_{\text{орг}} > \text{N-NO}_3^- > \text{N-NH}_4^+_{\text{обм}} > \text{CaCO}_3 > \text{влажность} > \text{рН}$. В наибольшей степени химические свойства (в первую очередь содержание органического углерода) влияли на живую составляющую микробного сообщества почвы.

Проведенный корреляционный анализ между различными параметрами биологической активности показал, что во всех почвах ключевого участка имела тесная взаимосвязь между активной микробной биомассой и уреазной активностью (табл. 4.20).

Таблица 4.20. Коэффициенты корреляции между изученными параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-3

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреза
<i>Разрез Б-345 (60 м)</i>				
СМБ	-0.22	-0.08	0.48	-0.19
АМБ		0.96	0.32	1.00
СБГМ			0.57	0.97
Сапротрофы				0.36
<i>Разрез Б-344 (120 м)</i>				
СМБ	0.51	0.50	0.71	0.60
АМБ		1.00	0.97	0.99
СБГМ			0.97	0.98
Сапротрофы				0.99
<i>Разрез Б-346 (250 м)</i>				
СМБ	-0.14	0.57	-0.08	0.02
АМБ		0.36	1.00	0.99
СБГМ			0.36	0.49
Сапротрофы				0.99
<i>Разрез Б-350 (600 м)</i>				
СМБ	-0.08	0.33	0.02	0.04
АМБ		0.80	0.92	0.97
СБГМ			0.67	0.81
Сапротрофы				0.97
<i>Разрез Б-353 (1200 м)</i>				
СМБ	0.21	0.32	0.26	0.17
АМБ		0.60	0.97	0.99
СБГМ			0.55	0.61
Сапротрофы				0.93
<i>Разрез Б-352 (2300 м)</i>				
СМБ	-0.23	-0.25	-0.07	-0.11
АМБ		0.99	0.97	0.99
СБГМ			0.94	0.96
Сапротрофы				0.99
<i>Разрез Б-351 (2600 м)</i>				
СМБ	-0.23	-0.25	-0.07	-0.11

Таблица 4.20. Окончание

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
<i>Разрез Б-351 (2600 м)</i>				
АМБ		0.99	0.97	0.99
СБГМ			0.94	0.96
Сапротрофы				0.99

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, значимые при $P = 0.05$.

Это вполне ожидаемо, так как мы определяли суммарную активность фермента, как иммобилизованного почвой, так и фермента, выделяемого живыми клетками.

В ближайшей к поселению почве СБГМ коррелировала с АМБ и уреазной активностью.

В почве, удаленной на 120 м, отмечена взаимосвязь между АМБ, СБГМ и численностью сапротрофов; уреазная активность здесь коррелировала с сапротрофами и СБГМ.

В почве, удаленной на 250 м, между собой коррелировали только АМБ, численность сапротрофов и уреазная активность; такая же ситуация наблюдалась в почве зоны нерегулярного земледелия (разрез Б-353).

В почве, удаленной на 600 м (разрез Б-350), АМБ коррелировала с СБГМ и численностью сапротрофов. Кроме того, численность сапротрофов коррелировала с уреазной активностью, а уреазная активность, в свою очередь, с СБГМ.

В почвах на максимальном удалении от поселения (разрезы Б-352 и Б-351) отмечено взаимовлияние между всеми изученными параметрами биологической активности, за исключением СМБ. Отсутствие корреляционной связи с этим показателем характерно для всех изученных почв.

Корреляционный анализ Подкумское-7. В почве, удаленной на 60 м от поселения, обнаружена тесная корреляционная связь химических свойств с показателями АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью, и только с CaCO_3 и pH она была обратной (табл. 4.21). Также в этой почве была обнаружена тесная прямая зависимость между pH и СБГМ. В почве, удаленной на 150 м от поселения, все показатели биологической активности коррелировали с содержанием $\text{C}_{\text{орг}}$ и аммонийной формой азота. Влажность почвы здесь не влияла только на численность сапротрофов.

Таблица 4.21. Коэффициенты корреляции между химическими свойствами и параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-7

Показатель	СМБ	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреаза
<i>Разрез Б-357 (60 м)</i>					
Влажность	-0.02	1.00	-0.75	1.00	1.00
C _{орг}	-0.09	1.00	-0.71	1.00	1.00
CaCO ₃	-0.13	-0.97	0.82	-0.98	-0.97
pH	-0.34	-0.91	0.92	-0.93	-0.91
N-NO ₃ ⁻	-0.11	1.00	-0.71	0.99	1.00
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	-0.09	1.00	-0.72	1.00	1.00
<i>Разрез Б-354 (150 м)</i>					
Влажность	0.91	0.89	0.86	0.81	0.89
C _{орг}	0.96	0.92	0.95	1.00	0.90
CaCO ₃	0.83	0.80	0.86	0.94	0.78
pH	0.86	0.84	0.89	0.94	0.81
N-NO ₃ ⁻	0.81	0.73	0.77	0.94	0.70
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	0.97	0.94	0.95	0.99	0.92
<i>Разрез Б-356 (500 м)</i>					
Влажность	0.94	0.71	0.75	0.51	0.57
C _{орг}	0.97	0.93	0.89	0.80	0.83
CaCO ₃	-0.96	0.77	-0.75	-0.57	-0.61
pH	-0.95	-0.91	-0.83	-0.76	-0.78
N-NO ₃ ⁻	0.95	0.70	0.76	0.52	0.57
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	0.74	0.95	0.86	0.96	0.95
<i>Разрез Б-358 (700 м)</i>					
Влажность	0.62	0.54	0.54	0.57	0.54
C _{орг}	0.66	0.94	0.96	0.99	0.75
CaCO ₃	-0.17	0.39	0.28	0.24	-0.04
pH	-0.52	-0.84	-0.92	-0.88	-0.65
N-NO ₃ ⁻	-0.01	0.08	-0.15	-0.04	0.28
N-NH ₄ ⁺ _{обм}	0.72	0.98	0.96	0.98	0.84

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, значимые при P = 0.05.

4.2. Биологическая память почв средневековых полей

Таблица 4.22. Коэффициенты корреляции между изученными параметрами биологической активности на ключевом участке Подкумское-7

Показатель	АМБ	СБГМ	Сапротрофы	Уреза
<i>Разрез Б-357 (60 м)</i>				
СМБ	-0.07	-0.61	-0.04	-0.09
АМБ		-0.72	1.00	1.00
СБГМ			-0.74	-0.72
Сапротрофы				1.00
<i>Разрез Б-354 (150 м)</i>				
СМБ	0.99	0.99	0.95	0.98
АМБ		1.00	0.91	1.00
СБГМ			0.94	0.99
Сапротрофы				0.89
<i>Разрез Б-356 (500 м)</i>				
СМБ	0.89	0.91	0.75	0.80
АМБ		0.97	0.96	0.97
СБГМ			0.94	0.96
Сапротрофы				1.00
<i>Разрез Б-358 (700 м)</i>				
СМБ	0.67	0.62	0.66	0.92
АМБ		0.94	0.95	0.91
СБГМ			0.99	0.74
Сапротрофы				0.80

Примечание. Жирным шрифтом выделены коэффициенты, значимые при $P = 0.05$.

Кроме того, обнаружена тесная положительная взаимосвязь между содержанием CaCO_3 и pH с СБГМ и численностью сапротрофов. Содержание N-NO_3^- коррелировало только с численностью сапротрофных бактерий.

В почве, удаленной на 600 м от поселения, все показатели биологической активности коррелировали с содержанием $\text{C}_{\text{орг}}$. Содержание N-NH_4^+ также коррелировало со всеми показателями, кроме СМБ. Также обнаружена обратная взаимосвязь pH с СМБ, АМБ и СБГМ.

Кроме того, СМБ коррелировала с влажностью и содержанием N-NO_3^- .

В почве, удаленной на 700 м от поселения, также была выявлена тесная корреляция биологических показателей с $C_{\text{орг}}$. Кроме того, выявлена тесная зависимость показателей биологической активности (за исключением СМБ) с рН и содержанием $N-NH_4^+$ обм.

Также проведен корреляционный анализ между различными показателями биологической активности (табл. 4.22).

В целом во всех почвах выявлена тесная корреляция между изученными показателями. Так, в почве, удаленной на 150 м от поселения все показатели биологической активности коррелировали между собой. Наименьшая взаимосвязь между показателями биологической активности была выявлена в ближайшей к поселению почве, удаленной на 60 м. Здесь обнаружена только взаимосвязь между АМБ, численностью сапротрофов и уреазной активностью. В почвах, удаленных на 500 и 700 м, не обнаружена корреляционная связь СМБ с сапротрофами и СМБ с СБГМ соответственно.

Таким образом, корреляционный анализ показал, что на параметры биологической активности в большей степени влияло содержание органического углерода и содержание подвижных минеральных форм азота в почвах. Среди биологических показателей наиболее тесная взаимосвязь отмечалась между активной микробной биомассой, численностью сапротрофных бактерий и уреазной активностью.

4.2.4 Заключение по ключевым участкам Подкумское-3 и Подкумское-7

Таким образом, сельскохозяйственное освоение территории с длительным внесением навоза в V–VIII вв. н.э. привело к существенному изменению биологической активности почв полей в окрестностях памятника. В наибольшей степени антропогенная нагрузка повлияла на показатели уреазной активности, биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, численность сапротрофных и термофильных бактерий. Кроме того, высокая численность термофилов в почвах на участке интенсивного сельскохозяйственного воздействия говорит о том, что за период 1500 лет не произошло восстановления почв до исходного состояния, а также указывает на длитель-

ность применения навоза в сельскохозяйственной практике в аланское время.

После забрасывания пахотных угодий и прекращения распашки почв биомасса грибного мицелия и доля светлоокрашенных гиф в его структуре возросли. В изменении суммарной биомассы по трансекте не было выявлено никаких закономерностей. Можно лишь отметить тенденцию к увеличению СМБ по мере удаления от поселения. Это может говорить либо об инертности этого показателя, либо о его восстановлении после прекращения хозяйственного использования территории.

Кроме того, антропогенная нагрузка, связанная с сельскохозяйственным освоением с применением органических удобрений, привела к существенному изменению химических свойств почв. Так, в ближайших к поселению почвах, в зоне заведомо активного сельскохозяйственного использования, отмечался повышенный уровень содержания органического углерода, валового фосфора и накопление нитратного азота.

Закономерности изменения биологической активности в окрестностях поселения Подкумское-7 в целом были аналогичны таковым на Подкумском-3. Однако на данном ключевом участке в общую картину изменения химических свойств и биологической активности существенный вклад внесли эрозионно-аккумулятивные процессы.

Но в целом выявленные ранее для ключевого участка Подкумское-3 закономерности трансформации почвенных свойств в результате древнего антропогенного воздействия прослеживаются и в почвах бывших пахотных угодий поселения Подкумское-7. В ближайших к поселению Подкумское-7 почвах, в зоне активного сельскохозяйственного освоения с внесением органических удобрений, наблюдались повышенный уровень биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, и повышенный уровень уреазной активности, численности сапротрофных и термофильных бактерий.

В отношении показателей суммарной микробной биомассы и биомассы грибного мицелия, напротив, прослеживалась тенденция к их увеличению в зоне минимального антропогенного воздействия. Кроме того, в ближайших к поселению почвах, так же, как и на ключевом участке Подкумское-3, выявлено повышенное содержание $C_{\text{орг}}$, валового фосфора и нитратного азота.

4.3. Биологическая память почв загонов для скота

4.3.1. Общие сведения о развитии скотоводства на Северном Кавказе

Скотоводство Северного Кавказа наиболее подробно охарактеризовано в работах Б.А. Калоева [1989, 1993], который в деталях рассматривал основные породы скота, разводимые северокавказскими народами (крупный и мелкий рогатый скот, лошадь, осел, свинья); организацию пастьбы и перегона; хозяйственные постройки; получение и утилизацию продуктов животноводства; основные формы скотоводства, связанные с животноводством верования разных народов. Для рассматриваемой темы наиболее интересно мнение Б.А. Калоева о том, что многочисленные каменные ограды и хозяйственные постройки, присутствующие в горной зоне, могут восходить к весьма отдаленной эпохе ее освоения и датироваться, вслед за Т.М. Минаевой, раннесредневековым временем и даже ранее [Калоев, 1993]. Ниже приводится краткий обзор истории скотоводства на Северном Кавказе, почерпнутый из цитируемых выше изданий.

Северный Кавказ считается одним из древнейших мировых очагов земледелия и скотоводства. На это указывают богатейшие остатки флоры и фауны, а также материалы археологических раскопок. Этот регион, отличаясь сравнительно мягким климатом, лесами, обширными альпийскими и субальпийскими лугами, характеризовался в древности и обилием множества диких животных, в частности быка, барана, кабана, отчасти лошади, которые могли быть одомашнены [Калоев, 1989].

Важным фактором развития скотоводства, как и других отраслей хозяйства племен Северного Кавказа, являлось близкое соседство Кавказа и Передней Азии, где эта отрасль хозяйства возникла значительно раньше. Кавказ еще с эпохи неолита являлся своеобразным мостом между Ближним Востоком и Юго-Восточной Европой. Известно, что в результате вековых связей жителей горного Кавказа у них сложилось немало сходных и идентичных форм хозяйства, элементов материальной и духовной культуры, хотя жители этого региона несколько отставали в своем хозяйственном развитии от закавказских.

Зарождение скотоводства на Северном Кавказе относится ко времени неолита. В этот период скотоводство в хозяйстве древних

племен занимало ведущее место и являлось одним из главных источников их существования. Исследование остеологического материала прикубанских поселений (Мешоко, Хаджох, Скола и др.) показало, что в эпоху раннего неолита на Северном Кавказе разводили только три вида домашних животных: крупный и мелкий рогатый скот и свинью, причем в процессе социально-экономического развития населения соотношение их в стаде менялось.

Первыми одомашненными животными на Северном Кавказе, по-видимому, являлся крупный рогатый скот и свинья, поскольку для их содержания наилучшим образом благоприятствовали обширные лесные просторы, особенно Западного и Восточного Кавказа. Причем многочисленные находки костей крупного рогатого скота позволяют полагать приручение волов и коров населением Кавказа несколько раньше, чем свиней.

Время появления мелкого рогатого скота на Северном Кавказе точно не установлено. Однако известно, что кости барана и овцы неоднократно находили в неолитических стоянках Прикубанья и ряда других мест региона. Увеличение поголовья овец в регионе стало возможным только после освобождения полей от лесных зарослей и обеспечения скота пастбищами.

Развитие скотоводства в регионе в эпоху энеолита и ранней бронзы связывают с носителями двух археологических культур: майкопской, памятники которой занимают территорию от Таманского полуострова до Дагестана, и куро-аракской, проникшей сюда во втором этапе своего развития и охватившей лишь Чечено-Ингушетию и часть Северной Осетии. Причем памятники майкопской культуры, находимые в большом количестве, особенно в поселениях Прикубанья, наиболее ярко характеризуют состояние скотоводства на Северном Кавказе в раннем бронзовом веке. В это же время здесь в связи с ростом поголовья овец и коз в стаде, скотоводство приобрело отгонный характер, вызвало освоение даже высокогорных районов. В этот период изменилось соотношение крупного и мелкого рогатого скота в стаде в пользу последнего.

Районы Центрального и Восточного Кавказа, наоборот, согласно многочисленным находкам костей овец на поселениях, всегда отличались богатством овцеводческого хозяйства, что диктовалось природными условиями и наличием кормовой базы. Важным событием в жизни древних племен Кавказа было заселение и освоение горных и высокогорных районов, произошедшее в III тысячелетии до н.э. Хозяйственное освоение всей высокогорной зоны Кавказа, как было упомянуто выше, обуславливалось увеличением количе-

ства скота и особенно поголовья овец, требовавших значительного расширения пастбищных угодий и новых форм содержания стада. Если раньше для разведения крупного рогатого скота и свиней было достаточно присельских участков, то развитие овцеводства вынудило искать новые пастбища и системы содержания скота. В результате скотоводство становится на более высокую ступень развития, превращаясь из простого пастушеского (экстенсивного) в развитое, отгонное или яйлажное, что особенно ярко характеризуется памятниками кобанской культуры Центрального Кавказа.

В скифское время основной состав стада не претерпел значительного изменения. Однако в этот период крупный рогатый скот в хозяйстве племен приобрел иные качественные черты, став главной тяговой силой. С появлением новых видов транспорта волы использовались в упряжи, а с началом плужного земледелия в регионе их впрягали в рало, плуг, производили другие сельскохозяйственные работы. Однако, несмотря на появление новых пород домашнего скота, основой скотоводческого хозяйства населения Кавказа по-прежнему оставался мелкий рогатый скот, разводившийся повсюду в значительном количестве. Что касается формы содержания скота в скифское время, можно только полагать, что они оставались такими же, как и в предыдущие эпохи. При этом наиболее распространенным из них, по всей вероятности, был сезонный отгон скота.

Новый этап развития скотоводства на Северном Кавказе был связан с появлением аланского населения в регионе. Вторжение гуннов в конце IV в. н.э. в Восточную Европу привело к изменению этнической картины южных степей. Большая часть алан, живущих на границе степей и предгорий, перешла в более безопасные места в предгорья и горы Северного Кавказа, что привело к увеличению здесь ираноязычного населения.

Основными сведениями о скотоводстве у алан до недавнего времени служили кости животных, обнаруженные в катакомбных захоронениях. Это позволило Б.А. Калоеву предположить, что аланское население котловины практиковало в эпоху раннего Средневековья преимущественно разведение мелкого рогатого скота, поскольку в катакомбах региона отсутствуют находки костей других животных [Калоев, 1993]. Здесь следует остановиться подробнее на характерных деталях погребального обряда алан, благодаря которым мы имеем сведения о разведении ими некоторых домашних животных.

Проанализировав информацию более чем из 1100 катакомбных захоронений II–IX вв. на Северном Кавказе, из которых 412 об-

наружены в Кисловодской котловине [Коробов, 2003], можно отметить наиболее частое присутствие костей мелкого рогатого скота в качестве заупокойной пищи в камерах катакомб — 62 случая (5.6%). Реже они встречаются в дромосах — 11 усыпальниц (1.0%). Для сравнения, в Кисловодской котловине этот обряд характерен в той же мере, что и в остальных регионах — наблюдается то же процентное распределение находок костей мелкого рогатого скота в камере (5.6%) и дромосе (0.7%) катакомб.

Не встречаются в регионе в качестве заупокойной пищи кости свиньи, птицы и рыбы, а также птичьи яйца, что наблюдается изредка в катакомбных захоронениях других территорий.

Погребения собаки встречены в качестве сопровождающего захоронения в дромосах двух катакомб могильника Клинь-Яр-3.

Наиболее частым является сопровождение покойных захоронением лошади в дромосе — всего нам известно 43 подобных захоронения на Северном Кавказе (3.9% катакомб), из которых около половины обнаружено в Кисловодской котловине (5%). Обычай помещать части лошади в камеру прослежен в четырех случаях на могильнике Клинь-Яр-3, Кугульский-1 и Острый Мыс 2.

Иногда встречаются кости крупного рогатого скота, помещенные в камеру (три случая) или в дромос катакомбы (два случая), что наблюдалось также на могильниках Клинь-Яр-3 и -4.

О разведении мелкого рогатого скота свидетельствует также присутствие некоторых категорий погребального инвентаря — прежде всего особого типа пружинных ножниц для стрижки овец, как правило, находимых в женских погребениях, а иногда и на городищах [Тургиев, 1969; Калоев, 1993]. Известно 15 находок этих предметов в катакомбах Северного Кавказа II–IX вв., из которых половина относится к Кисловодской котловине. Интересно отметить, что количество подобных находок, очевидно, возрастает со временем, поскольку, судя по сообщению С.С. Куссаевой, в катакомбах Змейского могильника, относящегося к более позднему периоду X–XII вв., ножницы встречаются едва ли ни в каждом женском захоронении [Куссаева, 1961].

Данный тип инструмента для стрижки овец доживает практически до настоящих времен и неоднократно фиксируется в кавказской этнографии. Используя пружинные ножницы, аналогичные найденным в аланских катакомбах, хороший работник мог в день остричь около 50–60 овец. Примечательно, что данная работа считалась почти исключительно мужским занятием [Калоев, 1993].

Таким образом, данные погребального обряда алан дают нам представление о занятии скотоводством. Все же очевидно, что если мы будем ориентироваться на реконструкцию состава стада у аланского населения региона, основываясь исключительно на данных погребального обряда, то будет наблюдаться определенная диспропорция, обусловленная погребальной практикой, при которой приоритетным являлось помещение в погребение определенных животных (или его частей) в качестве сопровождающего захоронения или заупокойной пищи. Однако присутствие костей этих животных является неоспоримым свидетельством их разведения, а в некоторых случаях и единственной возможностью проанализировать характерные особенности породы животных и их экстерьера, поскольку в захоронениях встречаются их полные костяки.

В итоге, анализ погребального обряда алан Кисловодской котловины и сопредельных территорий позволяет зафиксировать наличие у них пастушеского скотоводства — разведения мелкого и крупного рогатого скота, при котором в качестве помощников использовались лошади и собаки. Какие же данные дают нам остеологические материалы с аланских поселений?

Следует отметить недостаток статистически достоверных археозоологических материалов с поселений Кисловодской котловины, равно как и с других территорий Северного Кавказа. Опубликованной информации об остеологических коллекциях с раскопанных относительно широкими площадями укрепленных поселений Указатель и Горное Эхо, к сожалению, не имеется.

Поэтому для нас особую ценность имеют опубликованные недавно сведения о занятиях животноводством и охотой аланского населения Пятигорья, оставившего городище Энергетик II–IV вв. н.э. [Березин, Швырева, 2007]. Сразу бросаются в глаза особенности животноводческой специализации населения этого памятника — по абсолютному количеству преобладают кости крупного рогатого скота (54.9%). В меньшей степени присутствует мелкий рогатый скот (19.7%), лошадь (11.2%) и свинья (10.3%). По остеологическим материалам прослеживаются также две породы собак, выполнявших сторожевые и пастушеские функции.

Авторы обращают внимание на крупные размеры пород крупного рогатого скота, который мог служить в качестве рабочей тягловой силы, на присутствие в небольшом количестве коз в отаре мелкого рогатого скота, а также на безусловную оседлость населения рассматриваемого поселения, отразившуюся в присутствии в достаточном количестве костей домашней свиньи и в неболь-

шом — ослы. В результате анализа фаунистических остатков предполагается земледельческо-скотоводческая направленность хозяйствования данной группы алан [Березин, Швырева, 2007]. Население также практиковало охоту на копытных животных и кабана и, возможно, на пушных животных, которая не играла существенной роли в быту жителей данного городища.

Появление подробной информации о животноводческом хозяйстве аланских племен на раннем этапе их истории (II–IV вв.) имеет принципиально важное значение для реконструкции их образа жизни и хозяйствования, которое идет вразрез с бытовавшими ранее концепциями о кочевом характере экономики северокавказских алан в до гуннского время. Следует отметить, что уже в работах Т.Б. Тургиева высказывались аргументы в пользу оседлого образа жизни населения раннеаланских городищ и занятия ими примитивным земледелием [Тургиев, 1969]. Преобладание крупного рогатого скота в составе стада алан на равнинных поселениях, например, Змейском, также отмечалось ранее [Калоев, 1993].

Аланы на Северном Кавказе в Средневековье, очевидно, освоили отгонно-пастбищное (яйлажное) скотоводство, сложившееся в конце бронзового — начале железного века. При горно-отгонном скотоводстве население жило оседло, а в скотоводческих миграциях принимали участие лишь пастухи и вооруженная охрана. Сохраняя экстенсивный характер, отгонное скотоводство давало возможность увеличения поголовья стад, поддерживая тем самым большие масштабы скотоводческого хозяйства.

Отгонное скотоводство не исключало других форм содержания животных: пастушества и стойлового ухода. Стойловое содержание можно предполагать в зимнее время. Основным кормом было сено. Придомное пастушеское скотоводство удовлетворяло главным образом текущие потребности населения в мясе и молочных продуктах.

Аланы, по-видимому, использовали все возможности отгонного скотоводства. Занимая горы и предгорья с прилегающей полосой степи, они могли осуществлять полный скотоводческий цикл (весной перегоняя скот в горы на летние альпийские пастбища, а осенью — в лишенные снега степи Терско-Кумского междуречья) только при кооперации со степными племенами, отдавшими в их пользование богатейшие зимние пастбища Западного Прикаспия, или при военно-политическом преобладании над степным населением в Предкавказье.

Большая роль скотоводческого хозяйства в жизни населения в известной мере коснулась расположения и планировки средневе-

ковых городищ и укрепленных пунктов, известных в предгорной зоне Осетии, Кабардино-Балкарии и Пятигорья, возникновение которых относится к V–VII вв. Размещение укрепленных городищ давало возможность их владельцам контролировать весь годовой оборот пастушеского хозяйства — летние горные пастбища, закрытые городищами на выходе из гор, и зимние степные и долинные, находившиеся в непосредственной близости от городищ-убежищ.

Походы монголов на Северный Кавказ в XIII в. нанесли большой ущерб производительным силам местного населения. Они же нарушили отгонное скотоводство. В горах обосновались аланы, не покоровшиеся монголам, а предгорья и степи стали областью монгольских кочевий и впоследствии были освоены кабардинским населением. Для потомков горных алан были закрыты выходы на равнину, так же, как и население предгорий и степи было лишено возможности пользоваться горными пастбищами. Восстановление отгонной системы скотоводства на Северном Кавказе произошло уже после включения этой территории в состав Российской империи и существенным образом повлияло на хозяйственную специализацию некоторых народов, о чем нам говорят данные кавказской этнографии.

Обобщение этой информации можно найти в работах М.О. Османова [1984, 1990]. Так, рассматривая в деталях развитие взглядов на определение форм и типов скотоводства, автор вырабатывает собственную основу для деления его на несколько типов, характерных для разных высотных зон Кавказа. При выделении разных форм скотоводства (ФС), определяемого как совокупность действий держателей скота по обеспечению его благоприятными условиями кормления и воспроизводства, М.О. Османов во главу угла ставит сезонность в уходе за скотом. Далее привлекаются такие критерии как количество и соотношение угодий, традиции и методы заготовки кормов, обеспечение условий для расплода и содержания молодняка, состав стада и т.д.

В итоге создается достаточно стройная схема деления кавказского скотоводства на три основные формы: стационарную, подвижную и кочевую. Стационарная в свою очередь делится на выгонную, стойловую и хуторскую с тремя подвидами (выгонный хутор вблизи селений, пастбищный хутор вдали от селений, яйлажный хутор дойного скота). Подвижную форму скотоводства характеризуют: яйлажная — отгон скота на летние пастбища разного уровня; кышлажная — отгон на равнинные зимние пастбища; долинный отгон; шалашная форма в пойменных местах. Кочевая форма ско-

товодства делится на таборно-кибитковую и циклически-зимнюю [Османов, 1984, 1990].

Особенно интересно для нас увязывание перечисленных форм скотоводства с разными природными зонами Дагестана. Автор показывает, что на равнине, где имеются обширные пастбищные угодья, помимо кочевой формы наиболее распространена выгонная и стойловая ФС, а также яйлажная и хуторская для мелкого рогатого скота. В предгорной зоне преобладают выгонно-стойловая ФС, менее развиты шалашная и хуторская, есть яйлажная, но нет кышлажной. В горно-долинной подзоне у земледельцев наблюдаются выгонная, стойловая и яйлажная ФС для рабочего скота. В горной зоне наиболее важное значение имеют выгонная, стойловая, хуторская, яйлажная и кышлажная ФС. При этом выгонная и стойловая ФС с хуторской и яйлажной образуют внутриапальпийский тип скотоводства, а сочетание яйлажной и кышлажной форм — неизвестный трансюманс, когда некоторые представители оседлого населения проводят круглый год в отгоне общинных стад с летних пастбищ на зимние, и наоборот. Наконец, для высокогорной зоны характерен трансюманс (яйлажная и кышлажная ФС) в сочетании с весенним отгоном [Османов, 1984, 1990]. Похожие формы скотоводства упоминаются в исследовании В.Якобеита, посвященном овцеводству [Jacobeit, 1987].

Интересным представляется наблюдение М.О. Османова над связью ФС и хозяйственно-культурных типов перечисленных зон Дагестана, а также над временем складывания круглогодичной формы подвижного скотоводства — трансюманса. Вопреки приведенным выше мнениям о древнем разделении кавказского населения на земледельцев равнинной зоны и горных скотоводов, специализирующихся на разведении мелкого рогатого скота, М.О. Османов наглядно демонстрирует, что такая картина возникает достаточно поздно, лишь в XIX в., когда население горной зоны отходит от занятий земледелием в пользу товарного овцеводства, в связи с чем коренным образом меняется состав стада и форма скотоводства, приобретающая наиболее подвижные его черты [Османов, 1977, 1990].

О позднем развитии трансюманса на Кавказе свидетельствуют также материалы Грузии — не ранее XVI в., по мнению Б.В. Гамкрелидзе [Гамкрелидзе, 1980], — а также Карачая и Балкарии [Шаманов, 1985; Ямсков, 1986].

Ярким свидетельством занятия отгонным скотоводством являются скотоводческие постройки — коши на летних пастбищах (яйлагах). Они подтверждают летнее содержание скота в горной и вы-

сокогорной области. Наличие этих кошей неоднократно отмечалось в бассейне верхнего течения р. Кубани [Минаева, 1960б]. Встречаются они в большом количестве на территории между р. Большой Зеленчук и р. Тебердой. Здесь они прослеживаются по р. Марухе, вплоть до перевала через Главный Кавказский Хребет.

Коши представляют собой крепкие загоны для скота в виде невысоких каменных оград, имеющих в плане то округлую, то прямоугольную форму, с одним проемом для прохода животных. Некоторые из этих кошей могли вместить 1500 голов овец и коз. Значительное количество их свидетельствует о широких масштабах яйлажного скотоводства.

Подобные каменные постройки изучались нами в пределах Кисловодской котловины в окрестностях поселений эпохи раннего Средневековья (Зубчихинское-1 и -3, Кич-Малка-1), а также в субальпийской зоне недалеко от перевала Гум-Баши [Коробов, 2016а].

Проводилось компьютерное дешифрирование аэрофотосъемки, по результатам которого на карту было нанесено 1073 каменных загона для скота, условно разделенных на современные и древние.

К современным постройкам были отнесены загоны, имеющие более правильную форму, с резко выделяющимся более темным цветом внутренним пространством, и расположенные вблизи объектов инфраструктуры 50–70-х годов прошлого столетия (молочные и овцетоварные фермы). Было выделено 573 таких объекта.

Еще 500 объектов отнесено к древним за счет неправильности и размытости контуров, прослеживаемых на аэрофотоснимках, и более светлого тона внутреннего пространства [Коробов, 2016а]. Разумеется, древность подобных объектов может быть установлена лишь в процессе специальных исследований. Однако уже сейчас можно говорить о том, что потенциально в таких загонах может быть обнаружен материал эпохи раннего Средневековья по аналогии с имеющимися данными о каменных загонах Гум-Баши-1, -2, -3, -4, Зубчихинский-1, Кич-Малка-1, -2, -3, а также исследованными Ю.Н. Вороновым абхазскими ацангуарами [Воронов, 1973].

Работа по изучению следов отгонного скотоводства у аланского населения продолжается в настоящее время. Ниже излагаются некоторые результаты, полученные при исследовании разрезов внутри каменных загонов в окрестностях перевала Гум-Баши, поселения Зубчихинское-3 и укрепления Зубчихинское-1, а также данные анализов почв из современных мест содержания скота (описание их приводится в главе 3).

4.3.2. Химические свойства и биологическая активность почв загонов для скота

Загоны Гум-Баши-4 и Беловодская-2. В загонах Гум-Баши-4 и Беловодская-2 при шурфовке была обнаружена керамика кобанской культуры и раннего Средневековья, что позволяет датировать эти объекты финалом поздней бронзы — началом раннего железного века и предполагать их дальнейшее использование в I тысячелетии н.э. Характерной особенностью этих участков является отсутствие явных признаков использования загонов в более позднее время. Количество пастбищных сорняков в пределах загонов аналогично фоновым участкам, что может свидетельствовать о длительности периода восстановления растительного сообщества.

В почвах загонов Гум-Баши-4 и Беловодская-2 отмечено накопление фосфатов (рис. 4.14). Так, содержание соединений фосфора возросло почти в 5 раз по сравнению с фоновой почвой. Причем в почве загона Беловодская-2 наблюдалось равномерное увеличение содержания фосфатов вниз по профилю с 0.42 до 0.54 мг/г почвы. В заgone Гум-Баши-4 с глубины 40 см отмечалось возрастание соединений фосфора относительно вышележащих слоев.

Уреазная активность в почвах загонов также существенно превышала таковую фоновой почвы, достигая 987 мкг NH_4^+ /г почвы/ч в заgone Беловодская-2 (см. рис. 4.14). Причем в заgone Гум-Баши-4 на глубине 40–50 см отмечалось некоторое ее увеличение относительно вышележащих слоев, подобное увеличению содержания фосфатов. Столь высокие значения уреазной активности в слое 0–10 см в заgone Беловодская-2, вероятнее всего, обусловлены естественной биогенностью верхнего слоя. Хочется отметить, что в почве загона Гум-Баши-4 отмечалось не столь резкое уменьшение активности фермента по сравнению с почвой загона Беловодская-2, и полученные значения в подповерхностных слоях были значительно выше.

Отмечено возрастание содержания термофильных микроорганизмов с глубиной в почвах загонов для скота (см. рис. 4.14). В почве участка Гум-Баши-4 максимальное содержание термофильных бактерий выявлено на глубине 20–30 см, где оно составляло 240 тыс. кл./г почвы. В почве загона Беловодская-2 вниз по профилю содержание термофильных бактерий увеличилось с 3 до 11 тыс. кл./г почвы, а термофильных актиномицетов с 2 до 18 тыс. кл./г почвы. В фоновой почве этого участка отмечено возрастание термофильных бактерий в

слое погребенной почвы кобанского времени (на глубине 30–40 см); здесь их численность составила 14 тыс. кл./г почвы.

Подобные различия в результатах для этих двух загонов могут указывать на более длительное использование загона Гум-Баши-4 и на факт накопления значительных объемов навоза, что привело к его компостированию и разогреву, в результате чего сложились благоприятные условия для развития термофильных микроорганизмов.



Рис. 4.14. Содержание фосфатов и биологическая активность в почвах загонов Гум-Баши-4 и Беловодская-2

1 — бактерии; 2 — актиномицеты

Что касается загона 2 в балке Беловодская, то результаты химических и микробиологических анализов не дают достаточно оснований для того, чтобы считать этот объект загоном для скота.

Следует отметить, что в разрезе почвы загона Беловодская-2 обнаружено большое количество фрагментов керамики и костей, что может указывать на исходный жилой характер данной постройки. В пользу этого предположения говорит и стабильно высокое содержание фосфатов при заметном увеличении этого показателя с глубиной. На это же могут указывать низкие значения уреазной активности и содержания термофилов в подповерхностных слоях. Использование данного объекта в качестве загона для скота могло иметь место в более позднее время, не исключено, что с этим обстоятельством связаны наиболее высокие значения уреазной активности.

Загон Гум-Баши-4. Жилые постройки. В загоне Гум-Баши-4 проведено исследование почв внутри двух симметричных построек, состоящих из двух комнат, большей и меньшей. В этих постройках были заложены микрошурфы размером 25×25 см, из которых отобраны образцы почв на химические и микробиологические анализы. По содержанию фосфатов (рис. 4.15) большие комнаты обеих построек довольно близки и характеризуются значениями на уровне 0.8–1.0%. Это очень высокие показатели, отражающие наличие явно выраженного культурного слоя. При этом в малой комнате постройки 2 содержание фосфатов значительно меньше, это указывает на иной характер использования данной комнаты (склад, подсобное помещение, спальня), исключающей попадание в почву значительных объемов органики. Таким образом, еще раз подтверждается, что накопление фосфатов происходит не только на поселениях в местах проживания человека, но и в загонах для скота.

Значения уреазной активности были довольно близки и находятся на уровне фоновых значений, отмечено лишь некоторое возрастание значений этого показателя в грунте большой комнаты постройки 1 (см. рис. 4.15). Следует также отметить более высокие значения уреазной активности в подповерхностных слоях грунта из больших комнат обеих построек, по сравнению с таковыми в грунте из малой комнаты постройки 2.

Содержание термофильных микроорганизмов в грунте из малой комнаты постройки 2 вниз по профилю уменьшалось с 30 до 1 тыс. кл./г почвы (см. рис. 4.15). В свою очередь, в грунте из большой комнаты эти значения были на порядок выше.



Рис. 4.15. Содержание фосфатов и биологическая активность в грунте жилых постройке загона Гум-Баши-4

1 — бактерии; 2 — актиномицеты

Причем отмечалось два максимума, на глубине 30–40 и 50–60 см, где содержание термофильных бактерий составило 187 и 250 тыс. кл./г почвы соответственно. Столь высокие значения численности термофильных микроорганизмов позволяют с уверенностью говорить о значительном накоплении навоза или его привносе помещению на копытах животных. Так или иначе, по этому показателю можно дифференцировать постройки различного назначения.

Таким образом, проведенное исследование биологической активности грунтов из построек позволило отделить почвы загонов

от культурного слоя селитебных зон. По-видимому, большие комнаты построек 1 и 2 использовались в качестве загонов для скота, на что указывают высокое содержание фосфатов и обилие термофильных микроорганизмов. Малая комната постройки 2, вероятно, использовалась как жилое помещение.

Загоны Гум-Баши-1 и Гум-Баши-2. Результаты исследований этих загонов дают основания рассматривать несколько этапов их использования. При шурфовке в этих загонах была обнаружена керамика аланского времени. Кроме того, мусор и обилие сорной растительности на участках свидетельствуют о том, что эти загоны использовались сравнительно недавно, в советские годы. Современный нанос внутри загонов имеет различную мощность: так погребенная почва в загоне Гум-Баши-2 залегает с глубины 20 см, в загоне Гум-Баши-1 — с 40 см.

Для исследованных загонов было характерно значительное увеличение содержания фосфатов (рис. 4.16). Так, в загоне Гум-Баши-1 в толще современных отложений содержание фосфатов достигало 1.88 мг/г почвы, тогда как в фоновой почве значения не превышали 0.05 мг/г. В погребенной почве этого загона содержание фосфатов варьировало в пределах от 1.14 до 0.47 мг/г почвы. В почве загона Гум-Баши-2 содержание соединений фосфора в целом было ниже.

Уреазная активность в почве загона Гум-Баши-1 была довольно близка к таковой в фоновой почве (см. рис. 4.16). Можно лишь отметить более высокие ее значения в подповерхностных слоях почвы загона. В почве загона Гум-Баши-2 уреазная активность была значительно выше: здесь она достигала 700 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. Причем высокие значения уреазной активности регистрировались не только в современном слое, но и в погребенной почве аланского загона.

Содержание термофильных микроорганизмов в древних загонах значительно превышало значения, полученные для современной почвы (см. рис. 4.16). В загоне Гум-Баши-1 высокая численность термофилов регистрировалась только в толще современной почвы, причем отмечалось некоторое преобладание численности термофильных актиномицетов. В погребенной почве этого загона наблюдался второй максимум возрастания численности термофильных бактерий на глубине 70–80 см, а численность термофильных актиномицетов здесь не превышала 10 тыс. кл./г почвы. В загоне Гум-Баши-2, напротив, высокое содержание термофилов отмечалось в погребенной почве загона. Если в современной толще их численность не превышала 90 тыс. кл./г почвы, то в погребенной почве содержание термофилов достигало 570 тыс. кл./г почвы. Кроме того, для этого загона характерно отсутствие термофильных актиномицетов.

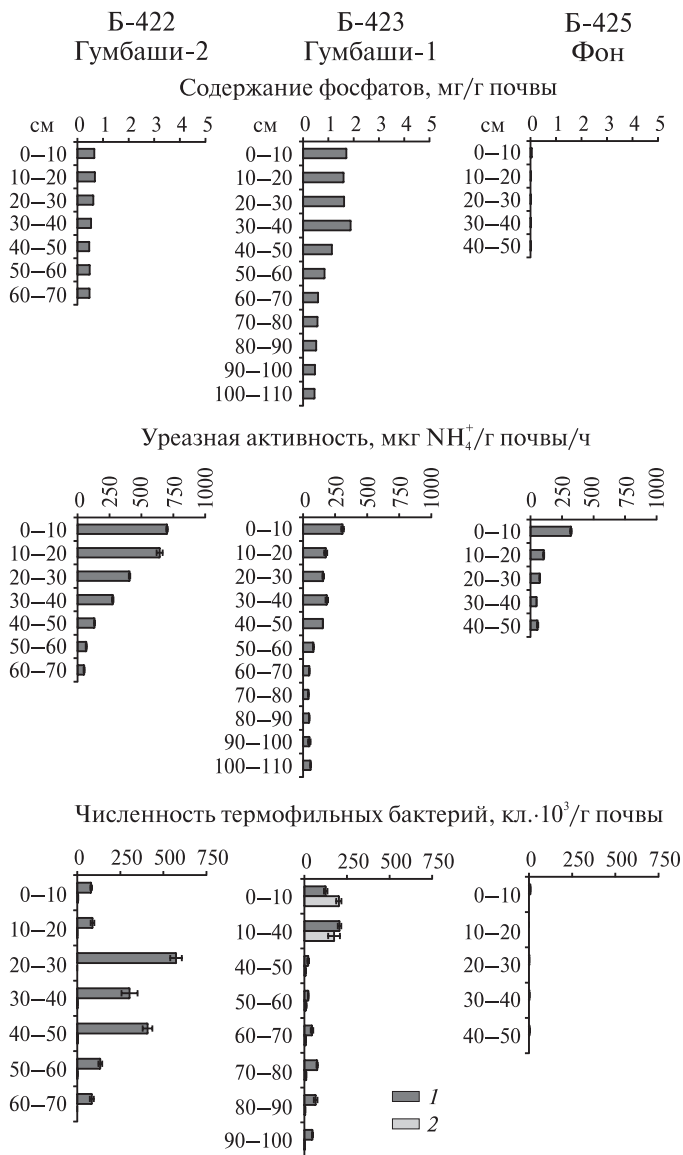


Рис. 4.16. Содержание фосфатов и биологическая активность в почвах загонов Гум-Баши-1 и Гум-Баши-2

1 — бактерии; 2 — актиномицеты

По совокупности полученных данных предварительно можно сделать вывод о характере использования участка Гум-Баши-1. Невысокие значения уреазной активности и численности термофильных микроорганизмов в погребенной почве на фоне высокого содержания фосфатов могут указывать на вероятность иного характера использования данного участка.

Можно предполагать, что погребенная почва с керамикой аланского времени более соответствует культурному слою поселенческого памятника, или иного объекта, на котором содержание скота, безусловно, имело место, но не являлось определяющим фактором использования территории. Собственно загон для скота на этом участке был сделан уже в советское время, и именно к нему относятся небольшие постройки по периферии центральной площадки.

Загон Зубчихинские коши-1. Объект расположен у подножия обрывистого скального мыса, занятого аланским укреплением Зубчихинское-1 (V–VIII вв. н.э.) и представляет собой комплекс построек из нескольких небольших загонов для скота, при этом к отдельным загонам были сделаны маленькие пристройки площадью до 5–7 м². Вероятно, эти пристройки использовались в качестве временных жилищ пастухов, мест дойки или содержания молодняка. Зондаж 1 был заложен в одной из таких пристроек предположительно жилого назначения; зондаж 2 — в центре крупного загона округлой формы

В почве жилой зоны (зондаж 1) значения ее активной микробной биомассы были почти в 2 раза ниже, чем в почве загона, но все равно превышали аналогичные показатели современного загона. Уреазная активность была высокой только в верхнем слое, что связано с современной биологической активностью, и резко снижалась с глубиной. Численность термофильных микроорганизмов была невысокой и примерно соответствовала фоновым значениям.

В почвах внутреннего пространства кошей была выявлена очень высокая уреазная активность (рис. 4.17), причем эти значения в 4–5 раз превышали уреазную активность почвы современного загона для скота, заброшенного около 30 лет назад. Можно предполагать, что скот в загоне Зубчихинские коши-1 содержался очень длительный период времени, так как даже на глубине 45–60 см уреазная активность превышала показатели верхнего горизонта современной почвы.

В почве зондажа 2 в центральной части загона зафиксированы максимальные значения активной микробной биомассы, где ее значения достигали 1000 мкг С/г почвы.

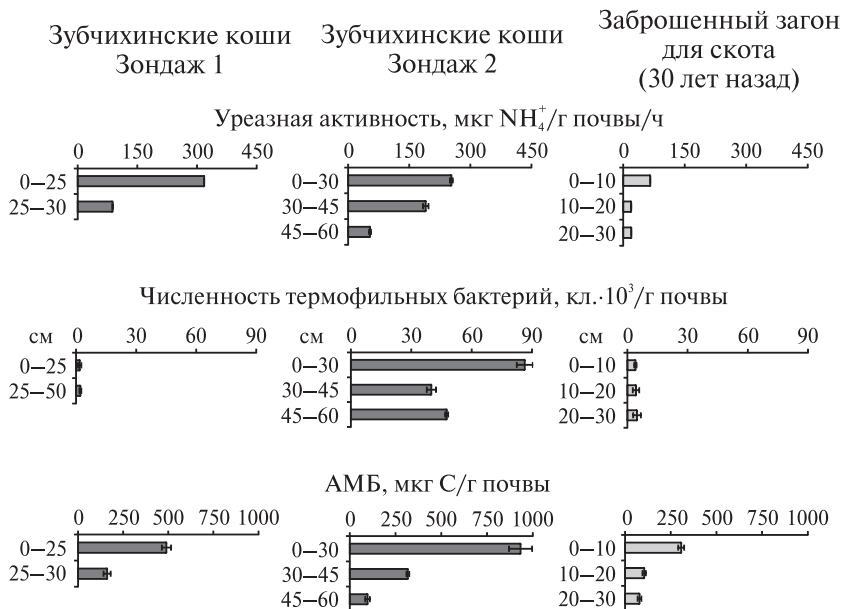


Рис. 4.17. Биологическая активность кош аланского времени и современного загона

Здесь же выявлена высокая численность термофильных бактерий, что связано с длительной аккумуляцией навоза в загоне и его разогревом при компостировании. При этом в зондаже 1 внутри маленькой пристройки, несмотря на близкое расположение к загонам, численность термофильных микроорганизмов была низкой, что позволяет исключить возможность накопления навоза и косвенно подтверждает иной характер использования помещения.

Зубчихинские коши 2015. Исследования загонных укреплений у Зубчихинское-3 было продолжено в 2015 г. Был заложен разрез (Б-431) в центральной части крупного загона. Результаты подсчета обилия термофильных микроорганизмов выявили следующую закономерность. Максимальная численность термофилов была выявлена в слое погребенной почвы на глубине 60–70 см (рис. 4.18).

Это горизонт А, однородный, серый, с характерным зеленоватым оттенком. В отличие от вышележащей толщи практически не содержит камней. Характеризуется более темной окраской почвенной массы, бесструктурный. По цвету и сложению этот горизонт близок к почвам современного функционирующего загона в балке Беловодская.

Выше него залегает делювиальный нанос, в котором отмечается резкое падение численности термофильных микроорганизмов. Некоторое возрастание этого показателя отмечено в слое 40–50 см, после чего происходило снижение численности термофилов вплоть до уровня современной поверхности. Это указывает на то, что после аланского времени загон не использовался. Еще одним аргументу в пользу этого предположения является практически полное отсутствие термофильных актиномицетов, что также является признаком значительного возраста отложений.

В более глубоких слоях содержание термофильных микроорганизмов на уровне фоновых значений. Это весьма важный факт, который подтверждает отсутствие перемещения по профилю почвы термофильных микроорганизмов с гравитационной влагой.

Загон Митькин кутан. Результаты определения содержания термофильных микроорганизмов в отложениях навоза под скальным навесом в урочище Митькин кутан также показали достоверное увеличение их численности (см. рис. 3.9). Благодаря тому, что скальный навес исключал попадание осадков, в урочище долгое время загоняли скот на ночь. Это привело к образованию толщи зоогенных отложений (до 1 м), которые полностью минерализованы и в настоящее время представляют собой белесовато-серую, бесструктурную, легкую, золистую, пылеватую массу, в которой хорошо видна слоистость, связанная с периодичностью использования загона.

В зоогенных отложениях численность термофильных микроорганизмов составляла около 50 тыс. кл./г почвы. Это невысокие значения, но весьма показательные, учитывая практически полное отсутствие увлажнения и связанное с этим угнетение всего микроб-

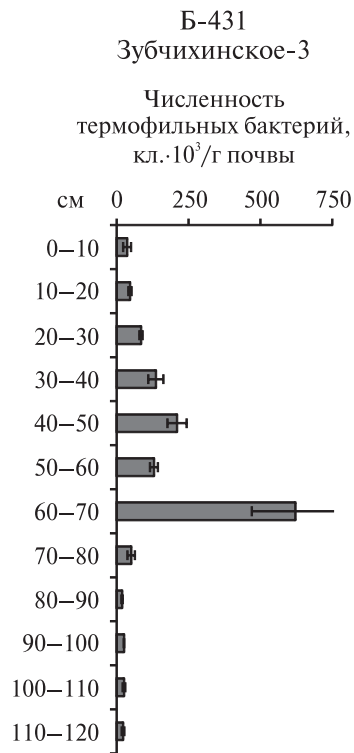
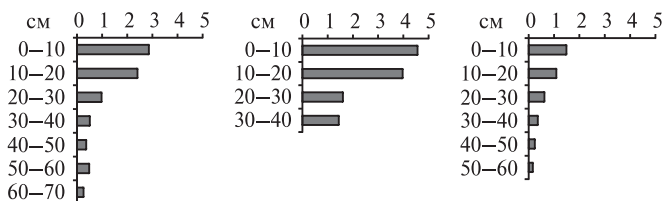


Рис. 4.18. Изменение численности термофильных микроорганизмов в профиле почвы разреза Б-431

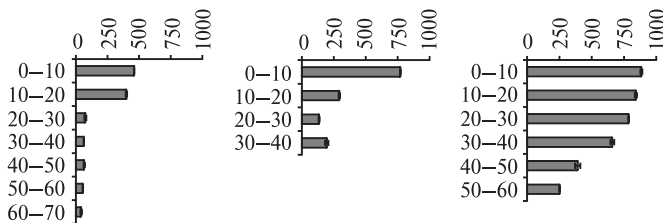
ного сообщества. Вероятно, в открытых условиях значения этого показателя были бы значительно выше. Тем не менее, сам факт наличия термофильных микроорганизмов в золистых отложениях без признаков пирогенного воздействия может быть показателем их биогенной природы.

Ферма Беловодская (функционирует) Ферма Кичи-Балык (15 лет назад) Ферма Медовая балка (30 лет назад)

Содержание фосфатов, мг/г почвы



Уреазная активность, мкг NH_4^+ /г почвы/ч



Численность термофильных бактерий, кл. $\cdot 10^3$ /г почвы

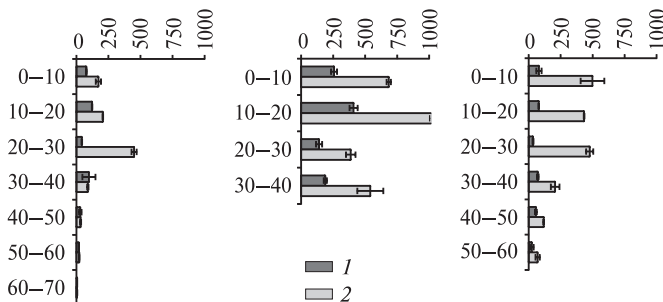


Рис. 4.19. Содержание фосфатов и биологическая активность в почвах современных загонов

1 — бактерии; 2 — актиномицеты

Современные загоны. В результате исследования выявлено значительное накопление в почвах загонов фосфатов (рис. 4.19).

Так, в частности, в почвах загона Кичи-Балык содержание фосфатов достигает 3–5 мг/г. Эти высокие значения связаны, по всей видимости, с объемами поступления и длительным периодом минерализации органического навоза.

Значения уреазной активности в современных загонах достигают 1000 мкг NH_4^+ /г почвы/ч (см. рис. 4.19). Максимальные значения уреазной активности были отмечены в почвах на ферме Медовая балка.

Характерно, что в почвах функционирующего в настоящий момент загона фермы Беловодская, уреазная активность была невелика и не превышала обычные показатели для древних загонов. Относительно невысокие значения уреазной активности в почве загона Беловодская обусловлены ее легким гранулометрическим составом. Во всех древних загонах максимальные значения уреазной активности составляли 400–600 мкг NH_4^+ /г почвы/ч. Для фоновых почв всех ключевых участков уреазная активность не превышала 300 мкг NH_4^+ /г почвы/ч.

Численность термофильных микроорганизмов в современных загонах в целом была выше, чем в почвах древних загонов (см. рис. 4.19). При этом была выявлена весьма характерная закономерность — в почвах современных загонов всегда наблюдалось значительное доминирование термофильных актиномицетов над бактериями.

Проведенный нами анализ содержания термофильных микроорганизмов в перепревшем навозе также показал значительное превышение содержания актиномицетов: здесь численность бактерий составила 62 тыс. кл./г, а актиномицетов — 180 тыс. кл./г почвы. Максимальная численность термофильных микроорганизмов зафиксирована в почве на ферме Кичи-Балык в слое 10–20 см, где она составляла около 1.5 млн кл./г почвы. Увеличение содержания термофилов в почве фермы Беловодская на глубине 20–30 см может быть связано с особенностями почвенно-литологического строения участка.

Показаны различия в численности термофильных бактерий и актиномицетов в почвах загонов разного времени. Так, в почвах современных функционирующих загонов, а также в почвах загонов, заброшенных 20–30 лет назад, всегда регистрируется высокая численность термофильных актиномицетов. Причем их численность превышает численность термофильных бактерий. В то же

время, в древних и средневековых загонах для скота, термофильные актиномицеты либо не выявляются вовсе, либо они присутствуют в незначительных количествах и их численность не превышает нескольких тысяч.

Таким образом, исследование микробиологических свойств почв современных и древних загонов для скота позволило выявить ряд диагностических признаков, которые позволяют различать места проживания человека и зоны содержания скота на археологических памятниках. Так, в частности, для почв древних загонов установлен факт значительного накопления фосфатов по сравнению с фоновыми почвами. Иными словами, и в случае проживания человека, и в случае содержания скота в почве идет накопление фосфатов. Но в почвах загонов всегда наблюдаются более высокие значения уреазной активности, особенно в нижних слоях почвы, в то время как в почвах жилой зоны уреазная активность в целом ниже. Но наиболее надежным индикатором содержания скота и накопления навоза является обилие термофильных микроорганизмов, которые не развиваются в почвах культурных слоев поселений.

В целом же комплексный подход с использованием показателей уреазной активности, содержания фосфатов и обилия термофильных микроорганизмов позволяет достаточно надежно выделять места содержания скота.

Заключение

Таким образом, рассмотренные выше различные составляющие биологической памяти почв и культурных слоев археологических памятников неодинаково изменялись в результате разных типов антропогенной деятельности в прошлом. По всей видимости, отдельные носители биологической почвенной памяти по-разному изменяются в результате поступления в почву органических субстратов антропогенной природы. Очевидна неодинаковая сенсорность микробиологических показателей и их различная способность восстанавливаться после антропогенного стресса. Рассмотрим подробно информационную емкость каждого слагаемого биологической памяти почв.

Активная микробная биомасса (АМБ). В почвах средневековых полей на ключевом участке Подкумское-3 биомасса микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, была существенно выше в зоне наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения в аланское время, а максимальных значений она достигала в почвах, удаленных на 250 и 600 м от поселения. В ближайших к поселению почвах отмечено некоторое снижение значений АМБ, что, возможно, обусловлено особенно мощным антропогенным прессингом и эрозийными процессами в древности. На удалении 1200 м от поселения, на периферии зоны потенциального сельскохозяйственного воздействия, произошло резкое сокращение активной микробной биомассы. Минимальные значения АМБ отмечены в фоновых почвах на удалении свыше 2000 м от поселения. Во всех изученных почвах вниз по профилю происходило уменьшение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы.

На ключевом участке Подкумское-7 АМБ также была максимальной в зоне активного освоения в пределах 500 м от поселе-

ния, а максимальные значения этого показателя были отмечены в почве, удаленной на 150 м от памятника. В почве, удаленной на расстоянии 700 м от поселения, в зоне меньшего антропогенного воздействия, произошло существенное сокращение микробной биомассы.

На ключевом участке Подкумское-2 в культурном слое поселения активная микробная биомасса (АМБ) была в целом ниже, чем за пределами памятника. Иными словами, можно утверждать, что селитебная нагрузка приводит к уменьшению биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы. Это характерно в первую очередь для жилой зоны поселения. Однако в некоторых культурных слоях в местах предполагаемого содержания скота значения АМБ были выше, чем в фоновой почве. В верхних горизонтах культурного слоя в жилой и производственной зонах значения АМБ были в целом довольно близки, что связано с нивелирующим эффектом современного почвообразования. При этом в культурном слое жилой зоны наблюдалось существенное уменьшение активной микробной биомассы с глубиной. Так, в слое 10–20 см ее значение уменьшилось почти в 6 раз. Некоторое возрастание биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на внесение глюкозы, наблюдалось здесь только на глубине 40–50 см.

Таким образом, распашка с внесением удобрений в раннем Средневековье и содержание скота на поселениях вызвали значительное увеличение активной микробной биомассы и, как следствие, — биологической активности в целом.

Суммарная микробная биомасса (СМБ). В отличие от активной микробной биомассы, значения СМБ, по-видимому, нельзя рассматривать в качестве надежного индикатора древнего антропогенного воздействия на почвы. Так, в почвах средневековых полей окрестностей поселения Подкумское-3 никаких закономерностей в изменении СМБ по мере удаления от поселения выявлено не было. В ближайшей к поселению почве, на удалении 60 м, значения СМБ были близки к таковым в фоновых почвах на расстоянии около 2500 м от памятника. Некоторое увеличение значений СМБ отмечено в почве, расположенной в 1200 м от поселения в предполагаемой периферийной аграрной зоне. В то же время в почве, удаленной на 120 м от поселения, в зоне заведомо интенсивного антропогенного воздействия, СМБ была минимальной. Можно отметить некоторое увеличение значений СМБ в нижней части профиля в фоновых почвах с минимальным антропогенным воздействием.

На ключевом участке Подкумское-7 в целом зафиксирована отмеченная выше тенденция некоторого увеличения СМБ по мере уменьшения интенсивности антропогенного воздействия. Здесь максимальные значения СМБ отмечены в почвах, удаленных на 500 и 700 м от поселения. В почвах на территории, прилегающей к поселению, отмечается снижение величин СМБ. Что касается профильного изменения этого показателя в почвах ключевого участка Подкумское-7, то здесь трудно выявить какие-либо закономерности. В разрезе Б-356 отмечалось уменьшение величин СМБ с глубиной, в то время как в разрезе Б-358 наблюдался более сложный характер ее распределения, по-видимому, связанный с особенностями эрозионно-аккумулятивных процессов.

В культурном слое на территории поселения Подкумское-2 отмечено достоверное уменьшение СМБ в почвах в зоне содержания скота. В жилой зоне различия величин СМБ были недостоверными, и здесь можно говорить лишь о тенденции к уменьшению этого показателя. Наибольшие значения СМБ характерны для почв фонового участка, где этот показатель достигает 4000–5000 мкг С/г почвы, при этом в горизонте АС этот показатель был выше, чем в горизонте А1.

За пределами поселения современный выпас и распашка (время пребывания в залежном состоянии около 30 лет) привели к существенному уменьшению этого показателя.

Таким образом, суммарная микробная биомасса почв является достаточно инертным показателем, который либо незначительно изменялся при древнем антропогенном воздействии, либо эти изменения не сохранились до настоящего времени. Отмечается лишь некоторая тенденция к сокращению СМБ по мере возрастания антропогенного воздействия.

Суммарная биомасса грибного мицелия (СБГМ). Несколько более информативным носителем почвенной памяти об антропогенном воздействии в прошлом является показатель биомассы грибного мицелия. Так, в почвах на ключевом участке Подкумское-3 максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почвах сельскохозяйственной зоны с внесением удобрений. Причем, на данном участке в почвах на различном удалении от поселения она варьировала незначительно. В ближайших к поселению почвах, удаленных на 60 и 120 м от памятника вниз по профилю, биомасса микроскопических грибов уменьшалась незначительно. В почвах, удаленных на 250 и 600 м от поселения наблюдались вторые максимумы биомассы грибного мицелия в слое 30–40 и 20–30 см соответственно.

Данные максимумы соответствуют предполагаемой глубине залегания аланского пахотного слоя, что подтверждается распределением керамики того времени в этих почвах. Далее по трансекте, на участках, где антропогенная нагрузка была минимальной, отмечено существенное сокращение этого показателя.

В целом, в изученных почвах в структуре грибного мицелия преобладали светлоокрашенные гифы. Некоторое возрастание доли темноокрашенных гиф наблюдалось только в почве, удаленной на 120 м от поселения. В отличие от почв бывших земледельческих угодий, в фоновой почве водораздела, удаленной на 2600 м от поселения, преобладание светлоокрашенного мицелия наблюдалось только в верхнем слое, тогда как в более глубоких слоях весь грибной мицелий был представлен темноокрашенными гифами.

На ключевом участке Подкумское-7 не было выявлено каких-либо строгих закономерностей в распределении биомассы грибного мицелия. Здесь минимальное содержание микроскопических грибов было выявлено в ближайших к поселению почвах. Это обусловлено значительной интенсивностью эрозионных процессов. На расстоянии 500 м от поселения, в зоне аккумуляции эрозионного материала, произошло существенное возрастание биомассы микроскопических грибов. В почве, удаленной на 700 м от поселения содержание грибного мицелия вновь уменьшилось, причем с глубины 40 см гифы грибов не выявлены, за исключением слоя 60–70 см. В целом, во всех изученных почвах наблюдалось равномерное уменьшение содержания микроскопических грибов вниз по профилю. В структуре грибного мицелия в почвах окрестностей поселения преобладали светлоокрашенные гифы.

В культурных слоях поселения Подкумское-2 биомасса грибного мицелия была на уровне фоновых почв, при этом в культурном слое жилой зоны отсутствовали какие-либо закономерности в распределении микроскопических грибов по профилю, и на различных глубинах здесь наблюдалось несколько максимумов возрастания их содержания, а на глубине 30–40 см биомасса грибного мицелия была больше, чем в слое 0–10 см.

Современная распашка привела к заметному снижению биомассы микроскопических грибов. Можно говорить о том, что пребывание в залежном состоянии на протяжении 30 лет не привело к восстановлению этого показателя до фоновых значений. Максимальная биомасса грибного мицелия была выявлена в почве выпаса, где отмечено увеличение СБГМ вниз по профилю. В фо-

новых почвах содержание микроскопических грибов было несколько ниже.

Таким образом, внесение органических удобрений в Средневековье привело к увеличению биомассы микроскопических грибов, тогда как собственно распашка вызывает резкое уменьшение этого показателя. Данные закономерности имеют место в тех случаях, когда интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов незначительна.

Численность сапротрофных бактерий. Весьма информативным и надежным носителем почвенной памяти является численность сапротрофных бактерий. Так, в полях в окрестностях поселения Подкумское-3 максимальная численность сапротрофных бактерий наблюдалась в почвах наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения. Здесь на участке трансекты протяженностью 600 м в почвах наблюдалось постепенное возрастание численности этой группы микроорганизмов по мере удаления от памятника. На периферии аграрной зоны также отмечалось высокое обилие сапротрофов, однако вниз по профилю здесь происходило более резкое их уменьшение. В фоновой почве, расположенной на максимальном удалении от поселения, численность сапротрофов была ниже в 20–40 раз.

На полях в окрестностях поселения Подкумское-7 наиболее высокая численность сапротрофов также зафиксирована в ближайших к поселению почвах. При этом в почве, удаленной на 700 м от поселения, была выявлена минимальная численность этой группы микроорганизмов.

В культурном слое поселения Подкумское-2 и в антропогенно-преобразованных современных почвах его окрестностей наблюдалось увеличение численности сапротрофов относительно фоновой почвы. В культурном слое производственной зоны, в местах предполагаемого содержания скота, количество сапротрофов было максимальным в средней части профиля. В жилой зоне по всему профилю культурного слоя численность сапротрофных бактерий превышала аналогичные показатели фоновой почвы.

Таким образом, во всех почвах древних удобряемых полей и культурных слоях поселений наблюдалось возрастание численности сапротрофных бактерий в результате антропогенного воздействия. Причем за период 1500–1800 лет не произошло снижения этого показателя до исходных значений.

Численность термофильных бактерий. Еще одним важным носителем биологической памяти почв является показатель числен-

ности термофильных микроорганизмов. Важно отметить высокую селективность этого показателя: если все рассмотренные выше носители биологической почвенной памяти реагируют на разные формы антропогенного воздействия, то численность термофильных микроорганизмов изменяется преимущественно в результате сельскохозяйственной деятельности. Наиболее вероятные источники поступления этих микроорганизмов в почву так или иначе связаны с навозом. Термофилы могут развиваться в местах накопления навоза и после этого попадать на поля вместе с удобрениями. Есть еще возможный механизм переноса на копытах животных, но в этом случае количество переносимых клеток и расстояние переноса весьма незначительны.

Изменения численности термофильных микроорганизмов в результате антропогенной деятельности имеют гораздо большие масштабы, по сравнению с рассмотренным выше показателем обилия сапротрофных бактерий.

В определенной мере этот показатель отражает изменения микробного сообщества, уже на качественном уровне, так как в фоновых почвах количество термофильных микроорганизмов составляет сотни, в редких случаях — тысячи клеток в верхнем слое; в нижних горизонтах, как правило, термофильные микроорганизмы не выявляются при посеве на агаризованные среды, в то время как в почвах полей их численность измеряется сотнями тысяч, а в почвах загонов — миллионами клеток в грамме почвы.

Так, на полях в окрестностях поселения Подкумское-3 наибольшее содержание термофилов было выявлено в почвах, удаленных на 60 и 120 м, и если в ближайшей к поселению почве обилие термофилов незначительно уменьшилось с глубиной, то в почве, удаленной на 120 м, наоборот, наблюдалось их возрастание вниз по профилю. Далее по мере удаления от поселения отмечается сокращение численности термофилов в почвах более чем в 3 раза. В почве, удаленной на 600 м от поселения, количество термофилов было незначительно ниже, причем на глубине 20–40 см, в предполагаемом аланском пахотном слое, они также регистрировались, хотя в слое 10–20 см термофилы выявлены не были. В фоновых почвах численность термофилов была невысокой и соответствовала таковой для незагрязненных почв.

На ключевом участке Подкумское-7 численность термофильных бактерий была максимальной в ближайшей к поселению почве, а также в зоне аккумуляции эрозионного материала (разрез Б-356). Несколько меньшие значения наблюдались в почве, удаленной на

700 м от поселения, кроме того, здесь термофильные микроорганизмы были выявлены не только в верхнем слое, но и на глубине 20–30 см. Минимальной численность термофилов была в почвах, удаленных на 150 и 180 м от поселения. В целом различия между почвами и горизонтами почв на данном ключевом участке были недостоверными.

В культурных слоях поселения Подкумское-2 термофильные микроорганизмы не были выявлены ни в жилой, ни в производственной зонах.

Современное антропогенное воздействие привело к увеличению численности термофильных микроорганизмов лишь в почвах выпасного и залежного участков. В почве залежного участка их обилие было максимальным, причем в слое 10–23 см численность термофилов была в 2 раза выше, чем в верхнем горизонте. Эта же картина распределения микроорганизмов наблюдалась и в отношении сапротрофных бактерий. На основании этого можно сделать вывод, что слой 10–23 см представляет собой пахотный горизонт, а вышележащий слой представлен современным делювиальным наносом верхних участков склона.

Таким образом, антропогенная нагрузка в виде сельскохозяйственного освоения с систематическим внесением навоза и компостов приводит к значительному увеличению численности термофильных микроорганизмов. За период 1500 лет не произошло полного самоочищения почв, так как выявленный нами уровень их численности соответствует таковому для загрязненных почв [Мишустин и др., 1979], что указывает на значительные масштабы и длительность применения навоза в аграрной практике в аланское время. Данный вывод частично подтверждается не только литературными данными, но и полученными нами результатами для почвы бывшего пахотного участка, находящегося в залежном состоянии более 30 лет.

Обилие термофильных микроорганизмов является весьма надежным индикатором навоза, который накапливался в местах содержания скота. По этому признаку можно отделять древние и средневековые загоны от почв поселений. Содержание термофильных микроорганизмов в древних загонах значительно превышало значения, полученные для современных фоновых почв. Максимальная численность термофильных микроорганизмов зафиксирована в почве на ферме Кичи-Балык в слое 10–20 см, где она составляла около 1.5 млн кл./г почвы. В загоне предположительно аланского времени Гум-Баши-2 содержание термофилов в погребенной поч-

ве достигало 570 тыс. кл./г почвы, в то время как в фоновой почве их численность не превышала 90 тыс. кл./г почвы. Кроме того, для почв древних загонов характерно практически отсутствие термофильных актиномицетов. Так, в почвах современной фермы Кичи-Балык численность бактерий составила 62 тыс. кл./г почвы, а актиномицетов — 180 тыс. кл./г. В почвах загонов кобанского времени термофильные актиномицеты не выявлялись.

Целлюлазная активность. Целлюлазная активность в культурном слое поселения Подкумское-2 и в прилегающих к нему современных почвах в целом различалась несущественно. Отмечено лишь заметное возрастание активности фермента в слое 10–30 см культурного слоя в загонах для скота. В культурном слое жилой зоны значения целлюлазной активности в верхнем горизонте были на уровне фоновой почвы, однако с глубины 60–70 см здесь вновь наблюдалось возрастание целлюлазной активности, и в слое 70–80 см она превышала таковую верхнего слоя. Возрастание целлюлазной активности на значительной глубине культурного слоя связано со значительным попаданием целлюлозосодержащих материалов во время его формирования.

Уреазная активность. В почвах полей, прилегающих к укреплению Подкумское-3, по мере удаления от памятника происходило существенное уменьшение уреазной активности. Максимальная уреазная активность была выявлена в ближайшей к поселению почве. Далее по трансекте произошло ее уменьшение более чем в 2 раза. Минимальная ферментативная активность была выявлена в почвах на удалении около 2500 м от поселения. Сопоставляя данные по уреазной активности, содержанию керамики в почвах, численности сапротрофов и термофилов, мы можем говорить о предполагаемых границах пахотных удобряемых угодий. Граница зоны активного сельскохозяйственного освоения с внесением навоза располагалась примерно в 600 м от поселения. На расстоянии около 1000 м располагалась зона нерегулярной распашки без внесения навоза, а на расстоянии 2000 м — территория, которая не испытывала значительного антропогенного воздействия.

На полях в окрестностях укрепления Подкумское-7 также наблюдалось уменьшение уреазной активности. Однако здесь ситуация была существенно усложнена более интенсивно протекающими эрозионно-аккумулятивными процессами. Максимальная уреазная активность была выявлена в почвах, удаленных на 60, 150 и 500 м от поселения. Далее по трансекте произошло резкое уменьшение значений уреазной активности почв, причем этот по-

казатель был на уровне фоновых значений почв водораздельных целинных участков.

В культурном слое поселения Подкумское-2 уреазная активность в целом была выше, чем в современных почвах, прилегающих к поселению. Уровень уреазной активности и характер ее распределения существенно различались в культурных слоях жилой зоны и в зоне содержания скота. Наиболее высоких значений активность уреазы достигала в культурном слое в загонах для скота, что говорит о поступлении в почву значительных объемов мочевины с навозом. Кроме того, в этой зоне по всей толще культурного слоя, в том числе и в подповерхностных слоях, она была довольно высокой. Следует отметить, что в этих же слоях выявлена высокая целлюлазная активность, что позволяет рассматривать сочетание этих двух показателей как индикатор мест содержания скота на древних поселениях. В жилой зоне поселения Подкумское-2 высокий уровень уреазной активности был отмечен только в верхнем горизонте, а вниз по профилю произошло ее резкое уменьшение.

Во всех исследованных нами загонах для скота как в окрестностях памятников аланской культуры раннего Средневековья, так и в зоне субальпийских лугов, установлена высокая активность фермента уреазы. Этот показатель был особенно высок в почвах современных загонных, где он достигает 1000 мкг NH_4^+ /г почвы/ч, но и в загонах эпохи Средневековья уреазная активность достоверно выше фоновых значений и сопоставима, в целом, с показателями современных объектов. При этом на величину уреазной активности в первую очередь влияет продолжительность функционирования загона и меньшей степени — время, прошедшее после того, как загон перестали использовать.

Таким образом, антропогенная нагрузка, связанная с проживанием населения и содержанием скота, а также сельскохозяйственным освоением, приводит к увеличению уреазной активности.

* * *

Подводя итог, мы можем говорить о том, что селитебная и сельскохозяйственная нагрузки в большей степени влияют на показатели уреазной активности, численности термофилов и сапротрофов, что выражается в увеличении этих показателей. Также в результате антропогенной деятельности происходит увеличение биомассы микроорганизмов, дающих респираторный отклик на

Заключение

внесение глюкозы, но это увеличение наблюдалось, в отдельных случаях, только в местах содержания скота, а также на сельскохозяйственных полях с длительным внесением органических удобрений. Увеличение живой составляющей микробного сообщества, скорее всего, обусловлено улучшением почвенных свойств, и в первую очередь, увеличением содержания органического углерода, которое было вызвано длительным, регулярным внесением навоза. Также в древних антропогенно-преобразованных почвах наблюдалась тенденция к увеличению суммарной биомассы грибного мицелия, что было характерно для ключевых участков Подкумское-2 и Подкумское-3. Наименьшим изменениям подверглась суммарная микробная биомасса. Существенное уменьшение этого показателя в антропогенно-преобразованных почвах наблюдалось только на ключевом участке Подкумское-2, в почвах, находящихся в залежном состоянии более 30 лет.

Выводы

1. Биологическая память почв и культурных слоев археологических памятников — это способность микробного сообщества изменять свою структуру и биологическую активность в результате поступления в почву дополнительных органических субстратов антропогенной природы и сохранять эти изменения неопределенно долгое время. Информация о поступлении органических субстратов хранится в биологической почвенной памяти в виде увеличения численности микроорганизмов, специализирующихся на разложении данного органического субстрата, а также в возрастании активности соответствующих ферментов. Длительность сохранения этой информации в биологической почвенной памяти может достигать нескольких тысяч лет. Раскрытие информационного потенциала биологической памяти почв основано на использовании количественных и качественных методов почвенной микробиологии и энзимологии.

2. Носители биологической памяти почв и культурных слоев археологических объектов могут быть весьма разнообразными и включают различные количественные и качественные показатели микробного сообщества почвы. В данной работе рассмотрены такие носители биологической памяти, как активность ферментов уреазы и целлюлазы, численность термофильных и сапротрофных микроорганизмов, активная микробная биомасса, биомасса грибного мицелия и суммарная микробная биомасса. Информационная емкость этих показателей и их способность сохранять информацию о поступлении в почву органических материалов антропогенной природы различны.

Наименее информативным индикатором антропогенного влияния на почву является суммарная микробная биомасса; несколько более информативным представляется биомасса грибного мицелия.

Еще более сенсорным показателем является активная микробная биомасса. Наиболее перспективными показателями антропогенного преобразования почв археологических памятников являются уреазная активность и численность термофильных микроорганизмов.

3. Распашка и внесение навоза в раннем Средневековье привели к увеличению активной микробной биомассы, численности сапротрофных и термофильных бактерий, а также уреазной активности почв. Наибольшие значения этих показателей отмечены в 500-метровой зоне возле поселений в местах систематического внесения удобрений. Присутствие термофильных микроорганизмов можно рассматривать как индикатор внесения удобрений на поля.

4. Содержание скота на территории археологических объектов вызывает достоверное возрастание уреазной и целлюлазной активности почв: в местах содержания скота этот показатель соответствует уровню фоновой почвы. Наряду с этим, в местах содержания скота отмечается увеличение численности сапротрофных бактерий. Возможным индикатором содержания скота и накопления навоза на археологических объектах является обилие термофилов. Этот показатель можно рассматривать как наиболее надежный индикатор стойлового содержания скота. Так, в частности на древних и средневековых поселениях, где нет каменных стен в жилых и подсобных помещениях, высокая численность термофильных микроорганизмов является едва ли ни единственным инструментом для выявления мест содержания скота, так как в жилых помещениях этот показатель соответствует фоновым значениям.

5. Селитебное воздействие на почвы приводит к увеличению содержания фосфатов, целлюлазной и уреазной активностей на фоне угнетения микробного сообщества и сокращения активной микробной биомассы. Индикатором селитебного воздействия на почву и антропогенного загрязнения почв в целом является высокая численность сапротрофных микроорганизмов. При этом, в отличие от мест содержания скота, в почвах поселений термофильные микроорганизмы нами не выявлены. В более общем плане можно заключить, что, если селитебная нагрузка вызывает резкие изменения морфологических параметров, химических свойств и биологической активности, то сельскохозяйственное освоение в первую очередь отражается на микробиологических показателях; в меньшей мере — на уровне химических свойств, и практически не отражается на морфологических свойствах антропогенно-преобразованных почв.

Summary

Introduction

Applied to archaeological sites (settlements and ancient agriculture plots), the essence of biological memory consists of the following. Human activity is accompanied by the input of specific organic materials into the soil. These organic materials are subsequently lost due to their complete mineralization by soil microorganisms. It is worth noting that despite the organic substances had been mineralized, the information about their income is stored in the changes of soil microbial communities and enzymatic activity; and these changes can be preserved up to now.

All types of human activity leads to entry of organic materials into the soil. High input of various organic materials usually stimulates microbial activity, which leads to improvement of soil properties and increase in microbial biomass and enzymatic activity [Klose, Tabatabai, 1999; Dodor, Tabatabai, 2003; Marschner et al., 2003]. Unique objects, allowing study the dynamics of microbial communities in soils through hundreds and thousands of years after the cessation of anthropogenic activity, are the soils of ancient agricultural lands. At that, if after cessation of ancient farming practices, the area was not involved into current economic activity, the conditions for most complete recovery of original soil properties occur. Soils and cultural layers of ancient settlements, in this case, represent a natural experiment with well-known place, time, and nature of anthropogenic impact. Their study allows to evaluate the peculiarities of transformation of microbial community of the soil and the extent of their recovery after the removal of anthropogenic stress.

It should be noted that information potential of microbial communities of soils and cultural layers of archaeological sites has not yet been fully implemented up to present. Only some works provide paleoecological reconstructions for the second half of Holocene based on the studies of various parameters of microbial communities from paleosols buried beneath ground mounds (kurgans) in the southern Russia steppes [Демкина и др., 2000, 2004, 2010; Каширская и др., 2009; Khomutova et al., 2007, 2014]. Another direction is the study of soil fungi in cultural layers of archaeological sites. The works revealed significant differences in mycobiota of anthropogenically transformed soils of ancient settlements from the background analogues [Иванова и др., 2006; Марфенина и др., 2001, 2008; Marfenina et al., 2008].

In general the changes of soils on settlements are much better studied than effects of agricultural land use. A bit of publications is devoted to the peculiarities of changes of properties of microbial communities in soils after cessation of agricultural use. It is shown that with time after cessation of cultivation a change in microbial community occurs [Duchicela et al., 2013], in particular an increase in number of saprotrophic fungi [van der Wal et al., 2006; Fierer et al., 2009]. De Vries with colleagues [2007] showed an increase in fungal biomass with grassland age. The change in functional diversity and abundance of microbial groups is marked along a soil chronosequence ranging between 50 and 2,000 years of paddy soil management [Bannert et al., 2011]. During 500 years of soil development under agricultural use the relative abundance of bacterial phyla such as *Proteobacteria* and *Actinobacteria* reliably changed, and these changes primarily were due to the development of soil physicochemical properties [Cui et al., 2012].

At the same time, some works marked almost complete restoration of structure of microbial community. The high stability of microbial communities was shown, since their structure in restored perennial grassland was more similar to that of annual grassland than in tilled soil [Potthoff et al., 2006]. Another work noted that 50 years after cessation of agricultural practice, despite an increase in the content of organic matter and the ratio of total carbon to nitrogen no significant changes in the structure of the microbial community was marked [Spohn et al., 2016]. In the study of peculiarities of the changes in fungal biomass along a chronosequence of land abandonment the increase of this index was observed only during first two years after the abandonment, without any further changes [van der Wal et al., 2006].

The impact of human activities in ancient times on the enzymatic activity of soil in archaeological sites is still underexplored. It is known

that changes in enzymatic pool in soil are preserved for an indefinitely long period of time due to association of enzymes with clay minerals and soil organic matter [Burns et al., 2013]. Enzymes bound to soil colloids are more sustainable to denaturation and proteolysis and may be active even under conditions that limit microbial activity, and are not regulated by repressive growth factors [Nannipieri et al., 2002]. Urease and phosphatase activity was registered in several 9,000 year-old permafrost soils, phosphatase activity was observed in all layers of 13,000 year-old lacustrine deposits [Skujins, 1976]. Phosphatase activity was also observed in soils buried beneath kurgans in steppe zone over 4,500 years ago [Хомутова и др., 2012].

Elevated levels of enzymes involved in the decomposition of certain organic materials can testify previous input of those materials into the soil. This approach seems very promising for studying cultural layers and ancient fields. To date only some initial steps in applying soil microbiological assay to the study of soils and cultural layers in archaeological sites have been taken. There are some studies on fungal microbiota of ancient cultural layers in medieval settlements [Иванова и др., 2006; Марфенина и др., 2001, 2008; Marfenina et al., 2008]. The microfungus communities in the cultural layers of medieval settlements were shown to differ in their composition and structure from undisturbed soils.

The work is known, that showed high levels of phosphatase and amidase activity exceeding the levels in modern cultivated and virgin soils, preserved in the soil of ancient agricultural terraces (used about 1,500 years ago [Dick et al., 1994]). Also known are the works on the study of microbiological properties of cultivated soils of monasteries of XVI–XVII centuries [Новиков, Степанов, 2000; Лысак и др., 2004].

It was recently shown that urease activity could be used to reveal the infrastructure of ancient settlements [Борисов и др., 2013]. This approach was based on the hypothesis that urea is one of the key organic substances entering soils of archaeological sites in large amounts. This concerns soils within settlements especially those associated with animals keeping, inner habitation areas, and arable plots amended by organic fertilizers and plant residues.

In this regard, the aim of this work was to study the effect of residential agricultural practice in the early Middle Ages on soil properties and evaluate the peculiarities of changes of microbiological and biochemical soil properties on archaeological sites during secondary succession after abandonment.

Objects of study

The objective of this work is a comparative studying of the microbial communities, enzyme activity, and their profile changes in the territory of an early middle age settlements and in the present day soils used for different purposes.

The study area is located within the Kislovodsk basin in the central part of the northern slope of the Great Caucasus Mountain Ridge. The territory of the basin is bordered by the Borgustansky Ridge (height up to 2000 m) to the north and the Dzhinalsky Ridge (1541 m) to the east. It is composed of chalky limestones of the Late Cretaceous period. To the south and south-east the territory of the basin is bordered by the cuestas of the Skalisty (Rocky) Ridge — the Kabardinsky Ridge (1526 m) and the Bermamyt Plateau — composed of calcareous sandstones of the Early Cretaceous [Милановский, 1968].

Objects of studies were: (1) cultural layers in different parts of early Alanic settlement Podkumskoe-2 (AD 200–400) and soils on vicinal territory presently abandoned or used as pasture; (2) soils of arable plots around late Alanic settlements Podkumskoe-3 and Podkumskoe-7 (AD 500–800) (about 2 km); (3) soils of prehistoric and medieval corrals in subalpine zone and near Alanic sites in Kislovodsk basin.

Alanic settlement Podkumskoe-2. The settlement of Early Alanic culture (AD 200–400) is located to the north of Kislovodsk town at the foot of the Borgustansky Ridge on the first terrace of the left bank of the Podkumok River, and occupies a cape area of general size 140×165 m. The settlement area is uneven and covered by ruins, which can be traced on the surface by a number of dishes and separate grassy hills from the ruined walls remains of buildings. About one third of the settlement to the south-west has no visible surface traces of constructions.

The soil cover around the settlement is composed by thin and medium deep-leached and typical soddy-calcareous soils (Rendzina) developed from the eluvium of limestone. At the settlement the cultural layer is up to 90 cm in depth and is loamy, structureless, and ash grey, enriched by pottery and bones.

Alanic settlement Podkumskoe-3. Alanic settlement Podkumskoe-3 is located at the north-eastern part of the cape. The site occupy rocky sites on the left bank of the Podkumok River. On the upper site of settlements the ruins of stone towers, several houses, and walls are preserved. To the south-west of the settlement there is a large area potentially suitable for agriculture with a slope of about 3–5°. About 1000 m from the

settlement the slope increases to 10° and peaks at 2000–2500 m on the watershed. At the southern cape the fields of another Alanic settlement Podkumskoe-7 were located. Both

To study the changes of soil properties with distance from the sites Podkumskoe-3 several soil sections were analyzed. In the soil cover mountain chernozems prevail. These are dark-coloured soils under meadow vegetation, very fertile and rich in soil organic matter. In all sections considerable amounts of Alanic pottery were found.

Prehistoric and medieval corrals. To investigate soil in corrals we carried out the field survey in two places — in subalpine zone near Gum-Bashi pass and in Zoubtchikha gully in the Kislovodsk basin near Alanic culture site. In subalpine zone we have investigated four stone corrals near Gum-Bashi pass (Gum-Bash-1, -2, -3, and -4 sites). Practically everywhere pottery fragments were found, that could be dated to the 1st Millenium AD, and in Gum-Bash-4 pottery of 1st Millenium BC was found. Moreover, in Gumbashi-4 corral, the soil in two rooms, large and small were investigated. The purpose of these rooms is not clear. We tried to solve this guestion with the help of soil microbiology methods.

In Kislovodsk basin we studied corral near the early medieval fortified settlement Zoubtchikhinskoe-3. In the test trenches we have found a number of pottery fragments and metal finds that could be dated from 4th to 8th Centuries AD.

For comparison, in addition to soil of medieval corrals modern functioning corrals were also investigated (Medovaya and Belovodskaya sites).

Methods of study

Soil physical and chemical analyses. The soil water content was measured gravimetrically by weighing the soil sample, drying it in an oven at 105°C for 24 h. Soil pH was determined using a pH-meter at a soil-distilled water ratio of 1:2.5 (weight/volume). Soil organic carbon (SOC) was measured by using dichromate oxidation method. Ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) and nitrate ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) were extracted with a 0.5N K_2SO_4 at a soil-liquid ratio of 1:4 and colorimetrically determined by phenol-hypochlorite method. Phosphorus available for plant uptake was extracted with a 1% $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (pH = 9.0) at a soil-liquid ratio of 1:20 and colorimetrically determined by reaction with ammonium malybdate. The bulk content of phosphorus was determined with an X-ray fluorescent spectrophotometer.

Summary

Soil microbial analyses. *Microbial biomass carbon* (C_{mic}) was determined by the substrate-induced-respiration (SIR) method of J.P.E. Anderson and K.H. Domsch [1978].

For determining the *number of microbial cells*, the method of direct luminescence microscopy with DAPI stain was used. DAPI is a coloring agent for both live and dead cells. Using the number of cells and the recalculation value of $2 \cdot 10^{-14}$ g of the dry weight per microbial cell with a volume of $0.1 \mu m^3$ [Кожевин и др., 1979; Полянская, Звягинцев, 2005], the total microbial biomass (TMB) was calculated.

For estimating *hyphal lengths* a direct microscopy technique was used [Методы..., 1991].

The determination of *saprotrophic and thermophilic microorganisms* was performed by plate count method. Briefly, soil samples (1 g) were stirred with 10 ml of 0.5% tetrasodium pyrophosphate then suspension was serially diluted: 1 ml of each dilution was added to 9 ml water and then poured into sterile Petri dishes with nutrient agar containing (w/v): 1.0% peptone, 0.3% beef extract, 0.5% NaCl, and 2.0% agar. Soil samples plated on nutrient agar were incubated at 24 °C for 5 days for saprotrophic bacteria and at 60 °C for 21 h for thermophilic bacteria.

For determination of urease activity, 1 g soil was incubated with 1.5 ml 80 mM urea solution for 2 h at 37 °C. Released ammonium was extracted with 13.5 ml 1M KCl solution, and determined colorimetrically by a modified Berthelot reaction [Kandeler, Gerber, 1988].

The statistical processing of the data was accomplished using the MS Excel 2010, Graphpad Prism 6 and PC-ORD.

Results

Soils of medieval agricultural plots

Our investigations were part of a larger research project on ancient agricultural practices in the Kislovodsk basin [Коробов, Борисов, 2012; Борисов, Коробов, 2013]. Soils from agricultural fields around Podkumskoe-3 Alanic settlement (AD 500–800) were investigated. It is worth noting that the settlement studied had the one period of occupation. Neither before nor after those periods was there any anthropogenic activity that influenced soil properties, which facilitated exceptional preservation of archaeological sites and therefore all anthropogenic transformations of soil properties are connected to the influence of activities of medieval

population. In the soil cover mountain Chernozems prevail. These are dark-colored soils under meadow vegetation, very fertile and rich in soil organic matter.

To study the changes in soil properties under medieval agricultural use several soil sections located on the following distance from the settlement were analyzed: 60, 120, 250, 600, 1200, 2300, and 2600 m (sections B-345, B-344, B-346, B-350, B-353, B-352, and B-351, respectively).

The area where agriculture was practiced in Medieval times, is well characterised by the distribution of pottery on the soil surface. The pottery was assumed to have entered the soil along with manure and other waste materials, allowing the marking out of fertilised areas of arable land [Wilkinson, 1982]. Analysis of the pottery distribution on the soil surface established the area of permanent animal manuring, areas without manuring, and the undisturbed land that had not been subjected to ploughing and manuring at a distance of more than 2000 m from the settlements.

Chemical properties. The content of organic carbon was the highest in the 500 m zone near the settlement Podkumskoe-3, that was the zone of intensive agricultural practice in the early Middle Ages. Here its content decreased from 9 to 4% with distance from the settlement, and in all studied soils down the profiles a gradual decrease of SOC was observed. The increase of SOC content in former agricultural lands was due to long-term application of organic fertilizers. This fact was noted in a number of papers [Haynes, Naidu, 1998; Edmeades, 2003; Lehmann et al, 2003; McLauchlan, 2006; Homburg, Sandor, 2011; Giacometti et al 2013]. It has been shown that elevated levels of organic carbon can be stored in the soil for a long time (500–1000 years) after the cessation of fertilization [Sandor, Eash, 1995; Springob, Kirchmann, 2002].

The contents of ammonium and nitrate nitrogen changed in different directions. With distance from the settlement, the content of N-NO_3^- decreased from 47.8 mg N/kg soil in the soil located at 60 m from the settlement, to 6.7–5.0 mg N/kg soil in the soils on the watershed. Minimal values were in the soil located at 1200 m from the settlement, minimal values of SOC and moisture content were observed here as well.

The content of exchangeable N-NH_4^+ , on the contrary, increased with distance from the settlement from 9.7 to 23.0 mg N/kg soil. Thus, while in the soils nearest to the settlement (sections B-345, B-344, B-346 B-350), the nitrate form of nitrogen prevailed over ammonia, in the soils most distanced from it (sections B-353, B-352 B-351) an opposite trend was observed. It is known that in natural ecosystems, especially in those on last stages of succession, the ammonium form of

nitrogen predominates over the nitrate one, while in soils of agroecosystems nitrate form dominates [Умаров и др., 2007]. Also, the nitrate form of nitrogen is mainly accumulated in cultivated soils [Кудеяров, 1989]. It should be emphasized also that in this work we consider the definition of the content of mineral forms of nitrogen (exchangeable ammonium and nitrate) in samples, not only from the standpoint of one of the most important indicators of chemical soil properties, but also as an additional (chemical) method for determination of biological activity of soils [Практикум по биологии почв, 2002]. Mineral forms of nitrogen are formed in soils, mainly as a result of microbiological transformation of nitrogen-containing organic compounds including the processes of ammonification (formation and accumulation of ammonium) and nitrification (formation and accumulation of nitrate nitrogen) [Кудеяров, 1989; Звягинцев и др., 2005; Умаров и др., 2007]. When a more preferable soil conditions exist for one or another of these processes, the accumulation of either ammonium or nitrate form of nitrogen will dominate.

The content of total phosphorus was determined in soils, located at 120, 250 and 2300 m from the settlement (sections B-344, B-346 and B-352, respectively). The content of total phosphorus in the area of obvious anthropogenic influence during the Alanic time was almost 2.5 times higher than in the background soil on the watershed. The enrichment in phosphorus of the soils close to archaeological sites has been shown in the first half of 20th century in the works of O. Arrhenius and V. Lorch [Arrhenius, 1931; Lorch, 1940]. Phosphorus entering the soil along with remnants of food residues and ash, quickly binds to soil components and remain stable for a very long period, that allows us to judge the character of economic use of the territory in the past [Wells et al., 2000]. Increasing the phosphate content is closely associated with entering of cattle dung into the soils [Sjöberg, 1976; Widgren, 1983; Guttman et al., 2005; Eidt, 1977, 1984; Holliday, Gartner 2007; Barba, 1994; Nielsen, Kristiansen, 2014].

The content of mobile phosphates changed to a lesser degree with the distance from settlements. So, in the upper horizon/layer, the content of mobile phosphates decreased from 53.1–58.9 mg N/kg soil in the nearest to the settlement soils to 20.0 mg N/kg soil in the soil located at 600 m from the settlement (section B-350), then again it increased to 33.4 mg N/kg soil, and in soils of the watershed maximal content was observed in the layer of 10–20 cm, where it reached up to 47.1 mg N/kg soil. The decrease in the content of mobile phosphates in soil section B-350 was due to erosion-accumulative processes in the area.

Microbiological properties

Total microbial biomass. The number of microorganisms in various horizons of the studied soils ranged from 1.15 to $7.01 \cdot 10^{11}$ cells/g. Based on this indicator the total microbial biomass (TMB) was calculated (Fig. 1). No significant differences in the TMB was found between soils used in agricultural practice around 1,500 years ago and background soils of the watershed. The tendency of increase of this parameter was observed in the soil located at 1200 m from settlement, where it accounted to $4358 \mu\text{g C/g}$ soil (weighed average value in the profile). The decrease in TMB, relatively to other soils of former agricultural lands, was observed in soils at 120 and 600 m from the settlement. In soils located at 60 and 250 m the TMB was 3290 and 3415 $\mu\text{g C/g}$ soil, respectively, and down their profiles it slightly increased. In background soils on the watershed TMB was 2630–2870 $\mu\text{g C/g}$ soil, and here we also observed a tendency of its increase in the middle and lower parts of the profile. The relative inertness of this indicator and its low sensitivity to various impacts was previously noted [Звягинцев, 1987].

Microbial biomass carbon (SIR method). Carbon of microbial biomass was significantly affected by past manuring practice (Fig. 1). In the manured during the Alanian time agricultural area (sections B-345, B-344, B-346, and B-350) maximal values of C_{mic} were identified in the upper layer of the soils located at 250 and 600 m from the settlement, where its content amounted to 1444 and 1370 $\mu\text{g C/g}$ soil, respectively; in subsurface layers of these soils the content of C_{mic} decreased from 757–634 to 306–159 $\mu\text{g C/g}$ soil. In most vicinal to the settlement soils (sections B-345 and B-344) microbial biomass was much smaller, that could be due to too strong anthropogenic influence and intensification of erosion due to ploughing.

A significant decrease in microbial biomass at cultivation was observed in a number of other studies [Rasmussen et al., 1994; Schnurer et al., 1985; Mikanova et al., 2009]. In the proposed peripheral agrarian area, where, as expected, the manure application was not practiced or was sporadic, the contents of C_{mic} were twice less than in soils located at 250 and 600 m from the settlement. In background soils on the watershed minimal the content of C_{mic} was identified, here its values reduced to 83–35 $\mu\text{g C/g}$ soil (section B-351). The increase of C_{mic} in the ancient manured soils was due to stimulation of microbiological activity [Schnurer et al., 1985; Dick, 1992; Kandeler, Eder, 1993; Plaza et al., 2004; Guerrero et al., 2007; Melero et al., 2007; Liu et al., 2010; Giacometti et al., 2013]. Applying of

Summary

manure during 200–300 years in the early Middle Ages preserved high values of C_{mic} .

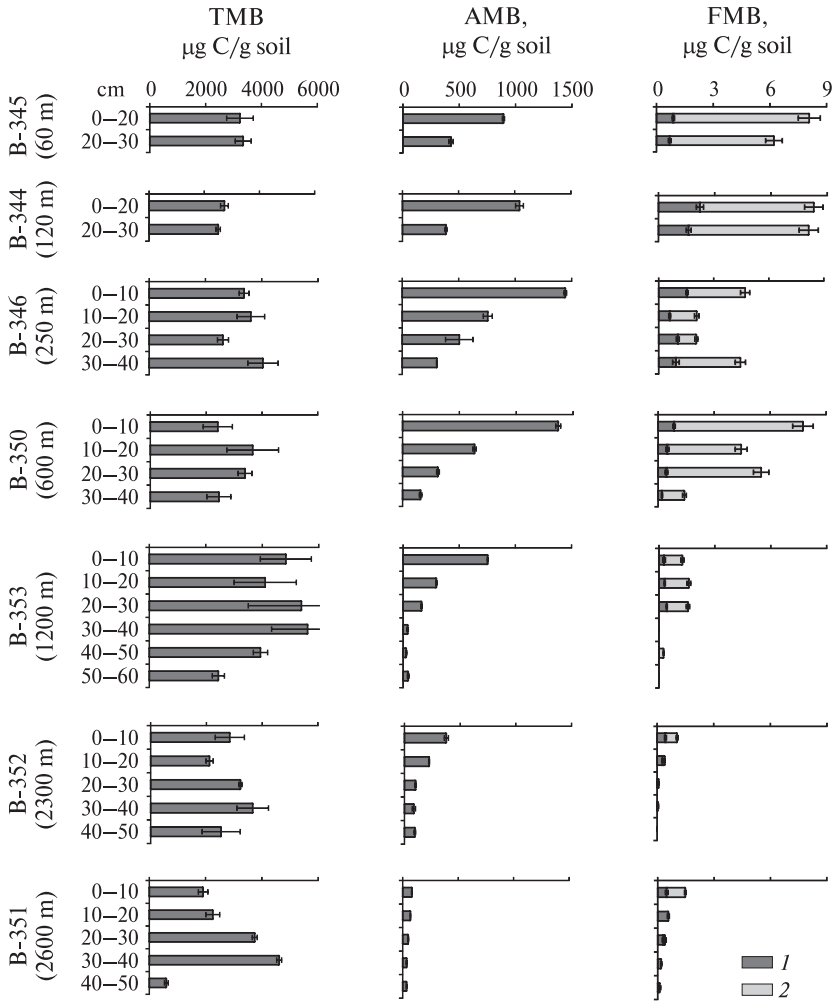


Fig. 1. Microbial biomass in soils of medieval agricultural plots
 1 — dark-coloured; 2 — light-coloured

Fungal mycelium biomass. Ancient agriculture caused a more complex and ambiguous effect on the biomass of fungal mycelium (Fig. 1). The length of fungal mycelium in different horizons of the studied soils varied from 0.1 to 7.9 m/g soil. From this indicator the total biomass of fungal

mycelium (FMB) was calculated. With a distance from the settlement a significant change in the content of mycelium of microscopic fungi in soils was identified. In the area of regular manure application a reliable increase of FMB was found. Maximal FMB was typical to the nearest to the settlement soils (sections B-345 and B-344), where their average weighed values amounted to 8.19 and 7.02 $\mu\text{g C/g soil}$. Down the profile of these soils the content of microscopic fungi decreased slightly.

Further along the transect, in the soil located at 250 m from the settlement FMB reduced 2.5 times, and the profile had two maxima in the layers of 0–10 and 30–40 cm, where the biomass was at 4 $\mu\text{g C/g soil}$. In the soil located at 600 m from the settlement, an increase in the content of microscopic fungi to 5.03 $\mu\text{g C/g soil}$ was observed again with a marked increase in the layer of 20–30 cm. In the area of irregular cultivation (section B-353) the FMB decreased to 0.78 $\mu\text{g C/g soil}$. Moreover, on the depth of 10–30 cm, the biomass of fungal hyphae was higher than in upper layer; in the depth of 30–40 and 50–60 cm microscopic fungi were not detected at all. In background soils on the watershed minimal FMB was identified; its average weighed values were 0.32 and 0.55 $\mu\text{g C/g}$ in soils located at 2300 and 2600 m from the settlement respectively.

In different horizons of soils of former agricultural lands in the structure of fungal mycelium the light-coloured hyphae predominated, as a rule (Fig. 1). The works of various authors [Bardgett et al., 1996; Полянская и др., 1997; Frey et al., 1999; Лысак и др., 2004; Bittman et al., 2005] show a significant decline in the biomass of microscopic fungi at agricultural development of territory, caused primarily by physical destruction of fungal hyphae system. Subsequent abandonment of agricultural fields leads to an increase in biomass of fungal mycelium [Allison et al., 2005; van der Wal et al., 2006; de Vries et al., 2007; Zornoza et al., 2009]. Apparently, high values of total biomass of fungal mycelium in the nearest to the settlement soils of former arable lands is associated with restoration of the hyphal network after the cessation of ploughing.

The abundance of saprotrophic bacteria. In the soil sanitary microbiology, the number saprotrophic bacteria is one of main indicators of the degree of anthropogenic pollution of the environment [Мишустин и др., 1979; Лысак и др., 2000]. On the territory of medieval fields of the Подкумское-3 settlement maximal number of saprotrophic bacteria in soils was observed in the area of most intensive agricultural use (Fig. 2). Generally, with distance from the settlement the peculiarities of changes in number of saprotrophs in soils were similar to those for carbon of microbial biomass, and the pattern was significantly affected by cattle manuring. On a plot of transect with a length of 600 m in the upper horizons, the number of this group of microor-

Summary

ganisms increased from 2.04 to 4.40 million cells/g soil. In the soils nearest to the settlement (sections B-345 and B-344) down the profile a significant reduction in the number of saprotrophs was observed to 1.49–1.68 million cells/g soil in the layer of 20–30 cm.

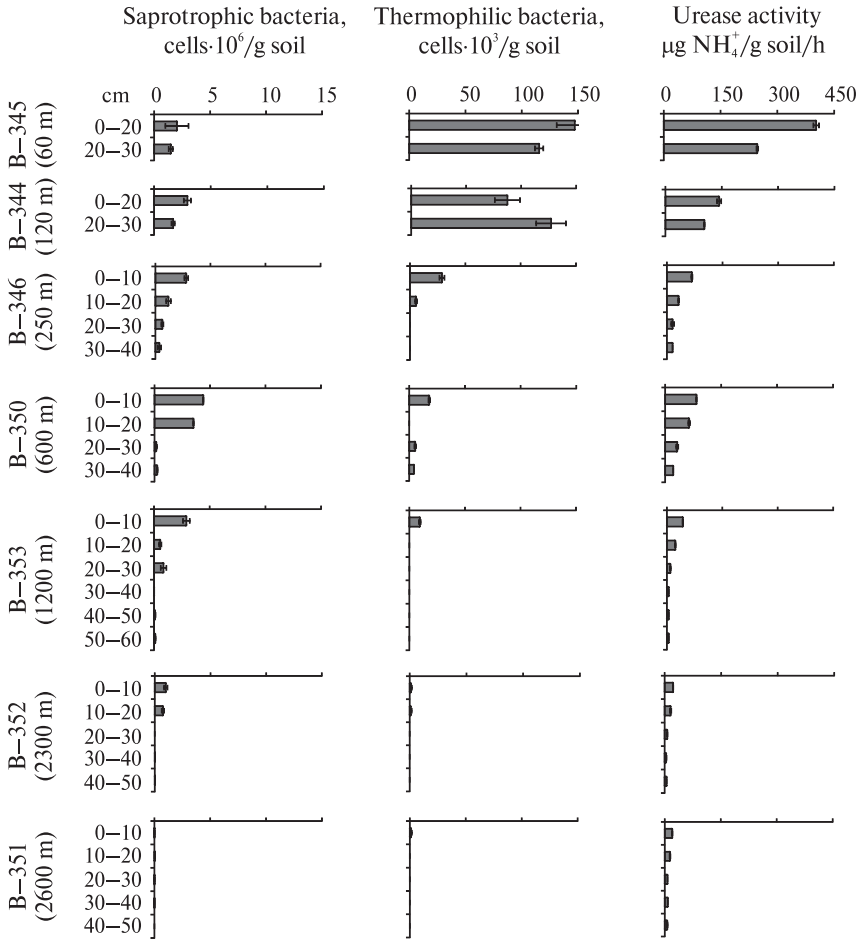


Fig. 2. Urease activity, abundance of saprotrophic and thermophilic bacteria in soils of medieval agricultural plots

In the soil located at 250 m from the settlement, a more pronounced reduction in the number of saprotrophic bacteria was in subsurface layers, where it progressively decreased from 2.8 to 0.36 million cells/g soil. In the soil located at 600 m from the settlement maximal number

of saprotrophs was identified, and in the layer of 10–20 cm, it was only slightly lower than in the overlying layer. In lower layers the number saprotrophic bacteria reduced to 0.16–0.24 million cells/g of soil, and slight increase was observed at a depth of 30–38 cm.

In different horizons of soil in the peripheral zone of agriculture (section B-353), the number of saprotrophic bacteria varied from 0.01 to 2.91 million cells/g soil, maximal values were found in the layer of 0–10 cm, minimal — on the depth of 30–40 cm. Within the profile several peaks of saprotrophs were observed at the depths of 20–30 and 50–60 cm, that is connected with peculiarities of erosion-accumulative processes.

In background soils on the watershed the abundance of saprotrophic bacteria was much lower. In section B-352 their numbers changed down the profile from 0.99 to 0.01 million cells/g soil, and at depth of 20–30 cm they were not identified. In section B-351 the number of saprotrophs did not exceed 0.04 million cells/g soil, and the highest value was identified at a depth of 10–20 cm.

The abundance of thermophilic bacteria. Another indicator of agricultural development of the territory may be the presence in the soil of thermophilic bacteria (Fig. 2). Thermophilic bacteria are specific type of microorganisms that develop in manure during composting process, when temperatures can reach 60–70 °C. Small amount of thermophilic microorganisms can be observed in soils of any natural zones, including the Arctic and Antarctic [Allen, 1953; McBee R.H., McBee V., 1956; Epstein, Grossowicz, 1969; Portillo et al., 2012]. However, the abundance of thermophilic bacteria in soils depends greatly on the intensity of farming practice [Мишустин и др., 1979]. These microorganisms enter the soil mostly from manure and wastes. In soils thermophilic microorganisms can be inactive and exist in resting form (such as endospores). Under favorable conditions there is the possibility of the resumption of the vegetative cycle [Nyström, 2001; Roszak, Colwell, 1987].

In the vicinity of the settlement Podkumskoe-3 the number of thermophilic bacteria in soils significantly decreased with distance from the settlement. In the area of regular manuring significant increase in the number of this group of microorganisms was revealed. Down the profile of the soil located at 60 m from the settlement, the content decreased from 147 to 112 thousands cells/g soil. In the next soil the content of thermophiles was also high, but here maximal numbers were detected in the lower horizon at a depth of 20–27 cm.

It should be noted that while the content of carbon of microbial biomass and the number of saprotrophs were under significant influence of ancient plowing which caused a decrease of these parameters, on the num-

Summary

ber of thermophiles this agricultural technique did not have pronounced effect. Further along the transect, there was a significant reduction in the number of thermophilic bacteria to 29 and 18 thousands cells/g soil in the upper horizon of soils located at 250 and 600 m from the settlement. In the soil at the site of irregular agriculture thermophilic microorganisms were detected only in the layer of 0–10 cm, and their abundance did not exceed 9 thousands cells/g soil. In background soils on the watershed the level of thermophilic microorganisms was similar to that of current values for uncontaminated soils, and their numbers did not exceed 1000 cells/g.

Thus, farming practices with applying of self-heating materials in arable plots surrounding medieval settlements resulted in significant increase of the abundance of thermophilic microorganisms. Basing on this data, we can conclude that for 1500 years viable spores of thermophilic bacteria has been preserved. It should be noted that microorganisms are able to be in a viable state for indefinitely long time. This is particularly well proved for microorganisms from permafrost sediments varying in age from seven thousand to two million years. These microorganisms have survived under conditions of low temperatures and low nutrient concentration [Звягинцев и др., 1985; Zvyagintsev et al., 1990; Gilichinsky et al., 1992; Rivkina et al., 1998; Vishnivetskaya et al., 2006; Selbmann et al., 2010; Antibus et al., 2012; Kochkina et al., 2012]. Visible colonies of microorganisms in permafrost samples appeared after 12–48 h of plating, suggest that these microorganisms are in a metabolically active state [Shi et al., 1997]. For soil of steppe and forest-steppe zone, the ubiquitous presence of cultivable microorganisms was established in the soils of archaeological monuments. In the palaeosols buried beneath kurgans created at Bronze age (6000–4000 years ago), cultivable microorganism are present in significant amounts [Демкина и др., 2013; Khomutova et al., 2014]. The possibility of germination of bacterial spores from soils buried beneath kurgan mound of 3th millennium BC was shown [Kryazhevskikh et al., 2012].

Urease activity. Urease activity in soils was decreased with distance from the settlement (Fig. 2). The highest urease activity was observed in the most vicinal soil at 60 m from the settlement: in the upper horizon it was 403 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$ and decreased almost twice in the lower horizon. With distance from settlement a sharp decrease in soil urease activity in the upper horizon was observed: down to 143 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$ at 120 m, and to 67 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$ at 250 m. In the zone of irregular manuring during Alanic time (section B-353), urease activity down the soil profile decreased from 43 to 5 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$. Minimal activity was determined in the soil at the top of the watershed at 2000 m distance from settlement; in the upper horizon it did not exceed 20 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$.

We carried out the correlation analysis of pottery scattering and urease activity, proposing that the pottery fragments had been introduced into the soil together with manure. To confirm this, the total number of pottery fragments per square meter was calculated and compared to the mean values of urease activity in the soil profile. A strong positive correlation ($r = 0.90$, $P = 0.05$) was revealed. Comparison of the data on urease activity, pottery fragment content, and, partly, phosphorus content allowed us to make reliable conclusions on the proposed boundaries of agricultural lands during Alanic time. The boundary of manuring zone was located at 500 m from the settlement, and the boundary of zone with irregular manuring at 1000 m. The plot most probably untouched by anthropogenic activity was located at about 2000 m.

Soils of inhabited areas

So, agricultural land use with long-term manuring in the 500–800 AD had led to significant changes in chemical and microbiological properties of soils. Application of manure and plowing resulted to increase in active microbial biomass, enzymatic activity, content of carbon, and the number of saprotrophic and thermophilic bacteria.

For studying microbiological properties of cultural layers, Early Alanic culture (AD 200–400) was chosen. The settlement area is uneven and covered by ruins, which can be traced on the surface by a number of dishes and separate grassy hills from the ruined walls remains of buildings. The ruins are seem to be traces of corrals. About one third of the settlement to the south-west has no visible surface traces of constructions. The zone without wall remains is probably habitable area that is supported by thick cultural layer, abundance of pottery and bones, and presence of deep household pits. At that part of the site the cultural layer is up to 90 cm in depth and is loamy, structureless, and ash grey, enriched by pottery and bones.

At the settlement Podkumskoe-2, soil properties were investigated in sections B-338 (cattle keeping zone with ruined walls remains) and B-341 (inhabited area). In addition, a series of soil sections in the inner parts of buildings were examined. Background soil samples were taken in the area bounded by deep gully with steep slopes that excludes anthropogenic impact.

The total microbial biomass (TMB). In the cultural layers of Podkumskoe2, the maximal TMB was found in the soil of the inhabited area (section B-341) (Fig. 3). Here, no regularities in the profile distribution of the microbial cells along the profile were found. In the 0–10 cm thick layer, the TMB was twice lower than that in the upper horizon of the

Summary

reference soil, but, in the 10 to 20 cm layer, it increased to 3845 $\mu\text{g C/g}$ soil. In the lower layers, the microbial biomass varied from 1813 to 2852 $\mu\text{g C/g}$ soil. In the cultural layer of the first development zone, the TBM increased down the profile from 1492 in the 0–10 cm horizon to 3219 $\mu\text{g C/g}$ soil in the 30 to 40 cm layer.

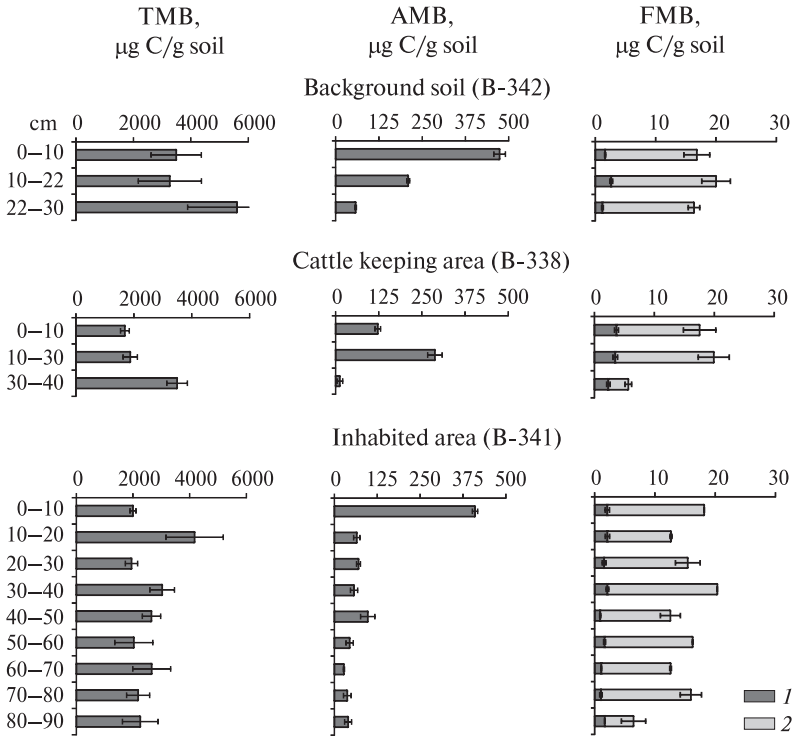


Fig. 3. Microbial biomass in soils at settlement Podkumskoe-2
1 — dark-coloured; 2 — light-coloured

The number of microbial cells in the different horizons varied from $1.62 \cdot 10^{11}$ to $9.81 \cdot 10^{11}$ cells/g soil. The total microbial biomass was calculated on the basis of this index. In the present soddy-calcareous soils, the highest total microbial biomass (TMB) was found in the reference soil (the weighted average along the soil profile is 3720 $\mu\text{g C/g}$). In this soil, the microbial biomass increased in the lower part of the profile. In the A1 and AB horizons, the differences in the biomass along the profiles were insignificant; in the AC horizon, it increased up to 5495 $\mu\text{g C/g}$. Previously, some authors noted a considerable increase in the number of bacteria

inoculated on plain and starch–ammonium agars in the middle and lower parts of the profile of the soddy-calcareous soils [Казеев и др., 2004].

The active microbial biomass. The maximal active microbial biomass (AMB) was found in the soil of the uncultivated background area distant from the settlement (section B-342) (Fig. 3). In the A1 horizon, it was 430 $\mu\text{g C/g}$. Down the profile, the AMB drastically decreased to 193 and 55 $\mu\text{g C/g}$ in the AB and AC horizons, respectively. A similar pattern of the biomass produced as the respiratory response of microorganisms to the application of glucose was observed in the pasture soil (section B-340). In this case, the AMB was lower: in the A1, AB, and AC horizons, it was 318, 124, and 71 $\mu\text{g C/g soil}$ respectively.

In the cultural layers, another pattern of the microbial biomass distribution along the soil profiles was observed. Thus, in the 0–10 cm of the cultural layer in corrals (section B-338), the biomass of active microbial biomass was much smaller in the vicinity of the settlement (108 $\mu\text{g C/g}$), but, at the depth of 10–30 cm, the AMB reached 238 $\mu\text{g C/g}$. At the depth of 30–40 cm, it sharply decreased to 11 $\mu\text{g C/g soil}$. In the habitable zone, in the upper part of the cultural layer (section B-341), on the contrary, the microbial biomass was the same as in the reference soil; with depth, it decreased to 54–66 $\mu\text{g C/g}$. In the whole cultural layer, the values of the active microbial biomass were low, and only at the depth of 40–50 cm was it 92 $\mu\text{g C/g soil}$. In the cultural layers in cattle keeping zone sampled in the pits, the active microbial biomass exceeded that in the reference soil or was equal to it. The maximal biomass (480 $\mu\text{g C/g soil}$) of microorganisms producing a respiratory response to the application of glucose was found in the cultural layers in pits 9 and 12.

Fungal mycelium biomass. In the cultural layer of corrals (section B-338), the maximal biomass of the fungal mycelium was observed in the upper layers (16–17 $\mu\text{g C/g soil}$) (Fig. 3). The number of microscopic fungi was only a bit less than in the reference soil. In the inhabited zone (section B-341), the biomass of microscopic fungi changed within the profile from 6 to 20 $\mu\text{g C/g}$. The minimal values were found in the 80–90 cm layer and the maximal ones, in the 30–40 cm soil layer. In addition, in this soil, the distribution of microscopic fungi had a rather complicated pattern: there were several maximums in the 0–10, 30–40, 50–60, and 70–80 cm layers. The light colored hyphae predominated in the fungal mycelium. Their share in the different horizons of the soils and cultural layers studied was 60–95%. The maximum portion of the dark-colored mycelium was revealed in the cultural layer of the cattle keeping zone. This mycelium contained pigments of the melanin type, which determined its stability against lysis and drying [Демкина и др., 2013]. Therefore, we can suggest

Summary

that, in the cultural layer of this zone, the most unfavorable conditions for microscopic fungi have been formed due to anthropogenic pressure. The length of the fungal mycelium in the different horizons of the soils studied varied from 5 to 25 m/g soil. Based on this parameter, the total biomass of the fungal mycelium (TFMB) was calculated.

The urease activity. In general, urease activity in cultural layer of the settlement was higher than in background soddy-calcareous soil in the area adjacent to the settlement (Fig. 4). In the upper horizon of the latter it varied from 119 to 389 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$.

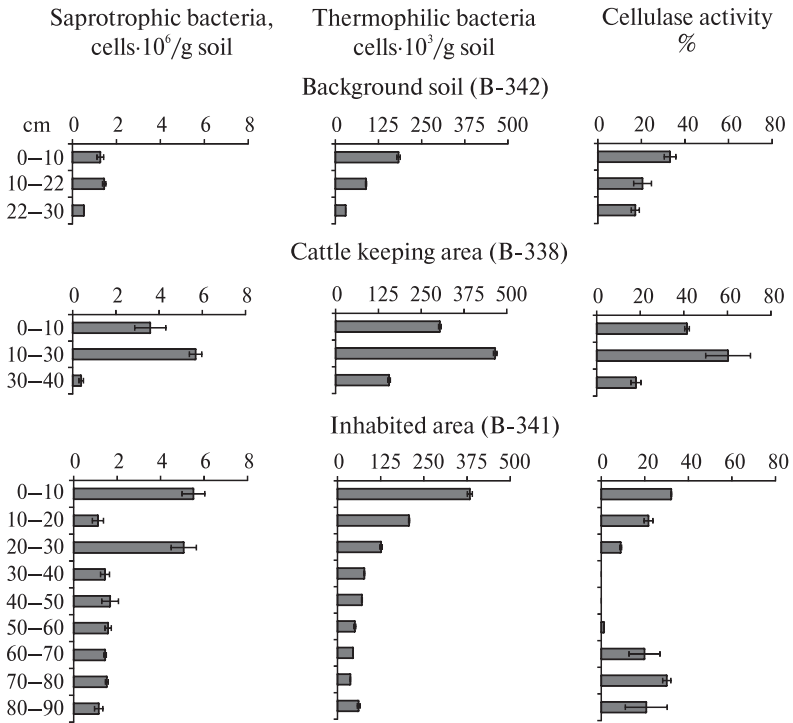


Fig. 4. Abundance of saprotrophic bacteria, urease and cellulase activity in soils at Podkumskoe-2

In the cultural layer within the ruined walls (section B-338), in 0–10 cm layer urease activity did not exceed 305 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$; however, in deeper layers the level of urease activity was 466 $\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$. Similar pattern of urease activity was observed in the cultural layer other buildings. In the upper cultural layer in habitable zone without ruined walls

remains (section B-341), higher values of urease activity were observed, but further down the soil profile they significantly decreased from 207 to $37 \mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$. It is notable that in all soil sections at the settlement, urease activity in layers 10–20 (20–40) cm exceeded that of the upper horizon of the background soil. The high level of urease activity in soils within ruined walls confirms the use of buildings for cattle keeping.

The cellulase activity. The cellulase activity in the surface horizon of all the studied soils was about 30–40% (Fig. 4). In the present soils nearby the settlement, the cellulase activity insignificantly decreased down the profile. An exception was only the reference soil, where the cellulase activity decreased from 30% in the A1 horizon to 17% in the AC. In the AC horizon of the pasture soil, the cellulase activity significantly decreased. Another pattern of the cellulase activity in the cultural layers of the settlement was observed. In the soil of the cattle keeping zone (section B-338), its values in the 10 to 30 cm layer were maximal (50%). In the soil of the habitable zone (section B-341), probably, of the residential zone, the level of the cellulase activity in the top horizon was compared to that in the present soils near the settlement. At the depth of 30–60 cm, it was not recorded or was very low. From the depth of 60 cm, the cellulase activity increased, and, in the 70–80 cm layer, its values were equal to those characteristic of the upper horizon, thus testifying to the considerable input of cellulose during the formation of this cultural layer.

We can conclude that the anthropogenic impact about 1500 years ago has led to a reduction in the total biomass of microorganisms in the soils. The active microbial biomass in the cultural layers of the settlement decreased and varied in accordance with the land use. The cellulase activity increased and their maximum was determined in the cultural layers within corrals. Anthropogenic impact on the soils of archaeological sites associated with human habitation, cattle keeping, and agricultural activity resulted in changes soil urease activity that have been preserved to present day. In all the soils, a close correlation between the content of organic carbon, the active microbial biomass, and the urease activity was noted.

Soils of prehistoric and medieval corrals

The next objects of our investigation are soils of corrals in the subalpine zone and in the vicinity of Alanic culture settlements in the Kislovodsk Basin. The traces of such corrals are numerously found in the mountain regions and very good visible on the aerial and space images. Some of such objects have obvious traces of their recent exploitation — the stones have white color without any lichens that could be seen as a marker of the

abundance of stone structures. In some few cases there is visible layer of manure that was used as a natural mortar for wall construction, and even small wooden shepard's huts. But the most number of stone corrals could not be easily dated and look as stone constructions typical for prehistoric, medieval and modern times. Because of their good preservation they could be also easily recognized on aerial and space images and could be mapped by means of remote sensing data. For today approximately 1000 have been recognized in the area under investigation. They could be preliminary divided to the "recent" corrals that have rectangular shape and "ancient" corrals with irregular shape and grey color of vegetation on aerial photo. So such corrals rather widespread and could be found in the upper part of the Kislovodsk basin near the archaeological sites, for example early medieval fortified settlements, on the absolute height of 1500 m, and also in the subalpine zone on the height about 2500 m above sea level.

To investigate soil in corrals we carried out the field survey in two places — in subalpine zone near Gum-Bashi pass and in Zoubtchikha gully in the Kislovodsk basin near Alanic culture site. We have investigated four stone corrals near Gum-Bashi pass (Gum-Bash-1, -2, -3, and -4 sites), making topographical survey, orthophotoplans, small-scale excavations and sampling. Practically everywhere pottery fragments were found, that could be dated to the 1st Millenium AD, and in one place — even to the first half of the 1st Millenium BC. In the test trenches we observed two main layers of occupation — the upper with the recent materials (iron and glass objects, glazed pottery) and the lower with pottery of the 1st millennium AD. These corrals are situated rather far from the settlements of the Early Middle Ages that are known now and that is why they could mark the zone of seasonal sub-Alpine animal husbandry, perhaps in springs and summers.

For comparison, in addition to soil of medieval soil corrals modern functioning corrals were also investigated (Medovaya and Belovodskaya sites).

Moreover, the soil in two rooms, large and small in Gumbashi-4 corral were investigated. The purpose of these rooms is not clear. We tried to solve this question with the help of soil microbiology methods.

Another example — the stone corral Zoubtchikha is situated near the early medieval fortified settlement. It has the same dimensions and the traces of habitation in two small stone "sheppard's huts", but without much evidences of its recent exploitation. In the test trenches we have found a number of pottery fragments and metal finds that could be dated to the from 4th to 8th Centuries AD. In such corrals near settlement the cattle was kept probably in the autumn and winter period.

One of the main goals of this project was investigation of chemical and microbiological properties of soils in stone corrals to develop system

of soil indicators of animal husbandry at archaeological sites. At all cattle pens mentioned above remained stone walls, so these pens are now clearly visible. But cattle pens could have wooden walls that completely destroyed after abandonment. In this case we may establish the fact of animal husbandry only by on the base of soil properties. In our research, we relied on the following assumption. The cattle keeping results in an increase in phosphate content due to dung input into the soil. Hence, in cattle pens should observe high level of phosphates content. However, income into the soil another material also causes an increase in the levels of phosphates. So, in addition we use methods of soil microbiology to reveal the cattle pens.

Accumulation of animal dung in corrals in all cases caused significant increase in phosphates content compared with undisturbed control soil, especially in the modern cattle pens, where phosphorus was in two times higher (Fig. 5). Urease activity in soils of corrals was also significantly higher than that in undisturbed soil, especially in subsurface layers. Only in soil of Gum-Bashi-1 corral the level of urease activity was quite similar to the level of control soil (Fig. 6). In soil in corral Gum-Bashi-1, there are two peaks of urease activity: one peak in the upper horizon corresponds to the Soviet period of the corral usage; the second one at a depth of 40–60 cm corresponds to the early Middle Ages. Corral Gum-Bashi-2, probably was used almost without interruption for a long time, it confirms the high values of urease activity in the layer 0–40 cm. The highest values of urease activity were revealed in the soil of modern corrals, while the value of urease activity in soils dependent on the intensity of usage of the corral.

The most interesting and reliable results received when we determined the abundance of thermophilic microorganisms. In soils of corrals we always observed an increase of abundance of this group of microorganisms because of accumulation of cattle dung during long time. Under this term, composting and heating processes begin, making favourable conditions for growth of thermophilic microorganisms. But in soil of corral Belovodskaya thermophilic microorganisms was at the level of control soil (Fig. 7). It is possible that corral Belovodskaya not coral in fact. In soil of Belovodskaya site a large amount of pottery fragments and bones was found that may indicate residential land use. Usage of this object as corrals could take place in more recent time. In soil of Gum-Bashi-1 corral high abundance of thermophilic microorganisms was observed only in modern top layers with dominance of thermophilic actinomyces while in soil of corral Gum-Bashi-2 high abundance of microorganisms was noted in buried soil of medieval time. In modern cattle pens number of thermophilic microorganisms was always higher than in prehistoric and medieval ones and here we can see significant dominance of thermophilic actinomyces.

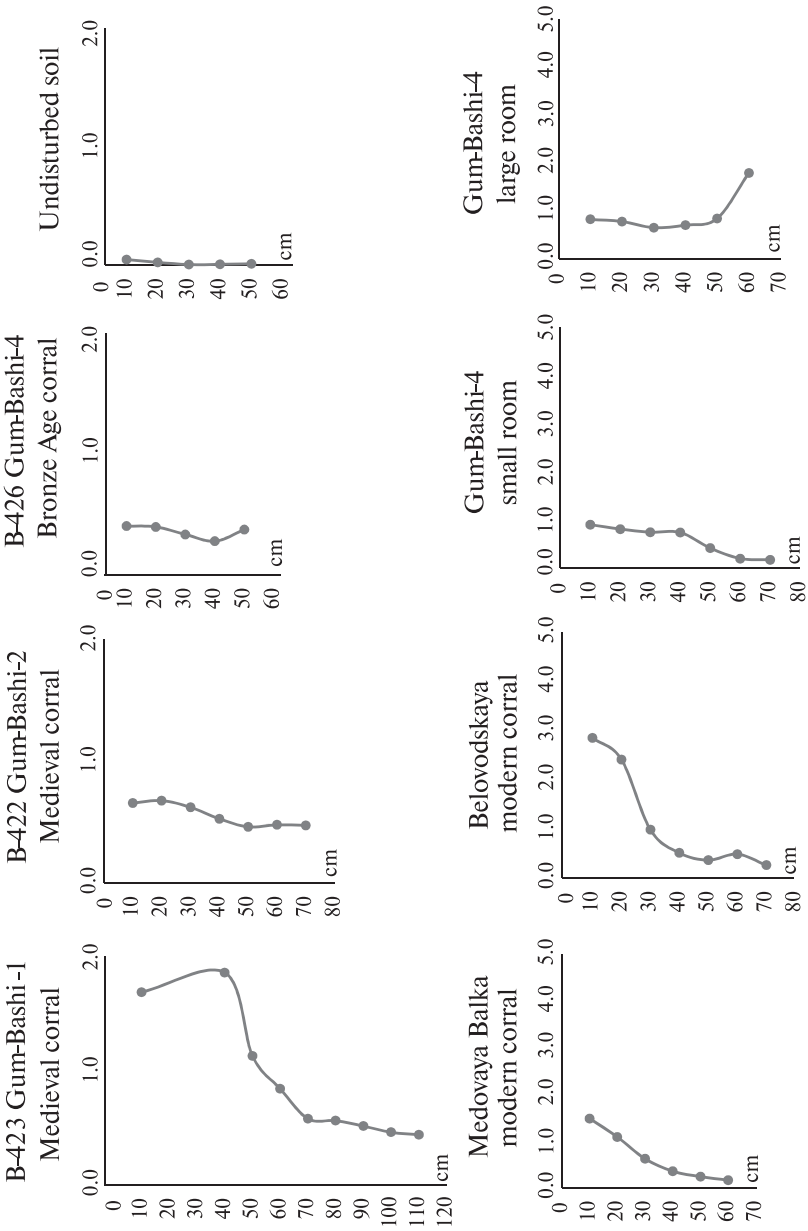


Fig.5. Phosphates content (mg P₂O₅/g soil) in soils in corrals

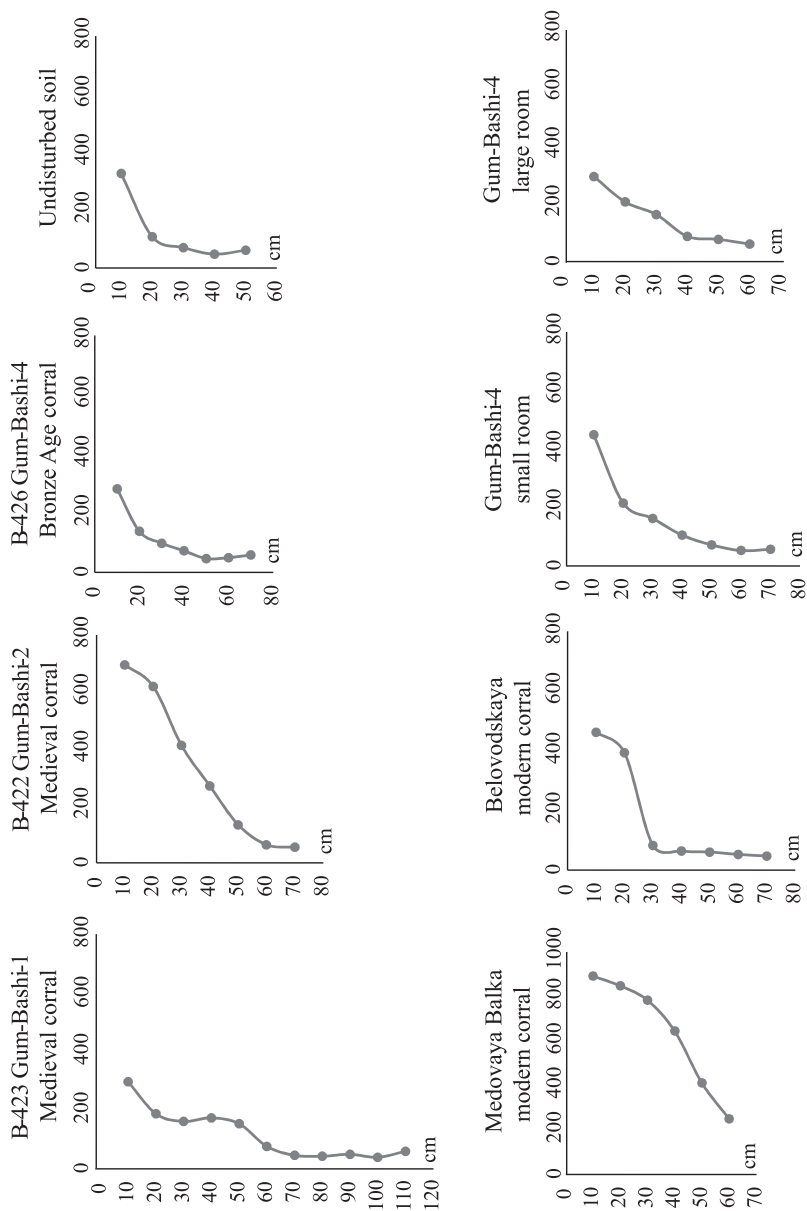


Fig. 6. Urease activity in soils in corrals ($\mu\text{g NH}_4^+/\text{g soil/h}$)

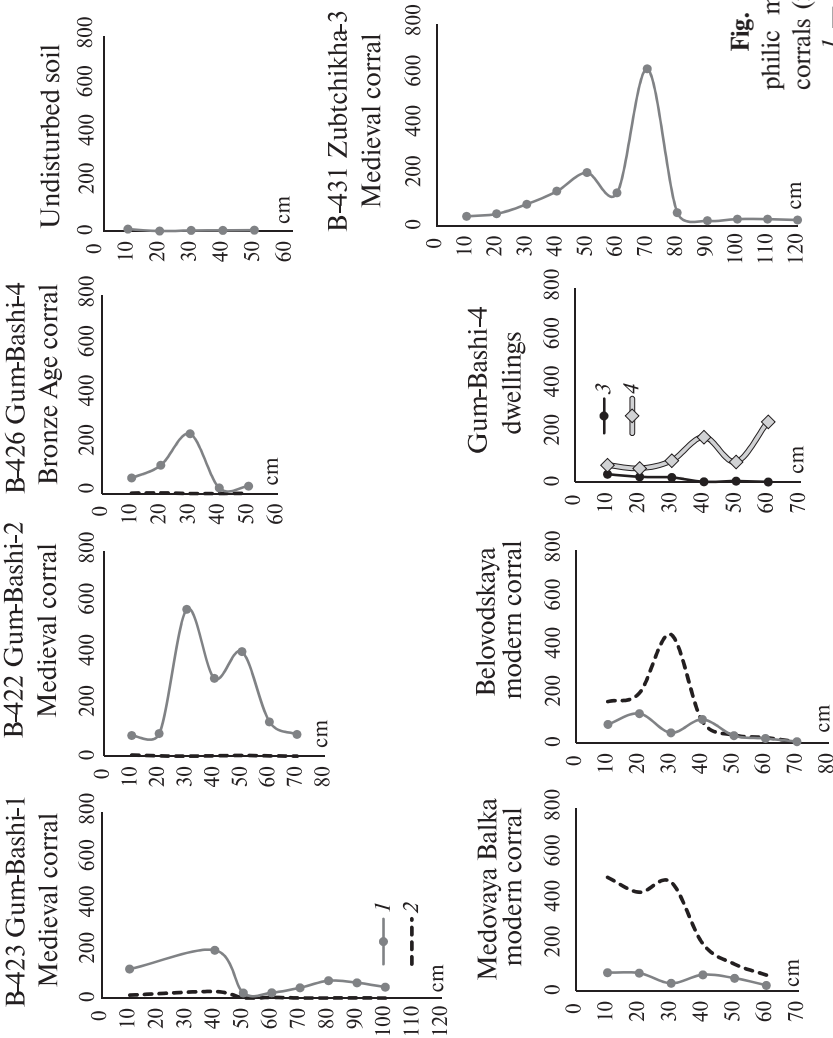


Fig. 7. Abundance of thermophilic microorganisms in soils in corral (x1000 CFU/g soil)
 1 — bacteria; 2 — actinomycetes;
 3 — small room; 4 — large room

For modern corrals a rather high number of thermophilic actinomyces was detected, while in soils of prehistoric and medieval corrals thermophilic bacteria predominate over actinomyces. So, the using of thermophilic microorganisms can be helpful not only to establish places of cattle keeping. We can also separate modern and past stages of usage of corrals. High level of thermophilic actinomyces in the soils will indicate recent usage while dominance of thermophilic bacteria will indicate more ancient.

Moreover, in Gum-Bashi-4 corrals were investigated soils inside of symmetrical dwelling, consisting of two rooms, large and small ones. Soil properties of these rooms significantly differed. In small room phosphates content was significantly lower than in the large one (Fig. 5) Urease activity of both rooms was quite similar, but in subsurface layers of soils from big room urease was higher (Fig. 6). The abundance of thermophilic microorganisms was found only in soil of large room, while in small room thermophilic bacteria were not found (Fig. 7). Relying on such soil properties we can conclude that the large room was used for cattle keeping (perhaps the large room was used for young cattle keeping or milking) while the small room could be used as inhabited space. Thus, investigation of soils from dwelling allowed separating places of cattle keeping from occupation layer of residential area. Both soils of corrals and occupation layers are characterized by accumulation of phosphates. However, soils of occupation layers will always observe lower urease activity and abundance of thermophilic microorganisms compared with soils of corrals.

So finally the first results of our studying have allowed establish the number of soil indicators of cattle keeping at archaeological sites.

Conclusion

The work makes a significant contribution to the understanding of the biological memory of soils. It was convincingly demonstrated that the soil microbiological community and the level of enzymatic activity can be stored information about the incoming of various organic substrates in the soil of archaeological monuments. Our work shows that the information about entering the soil organic substrate can be stored in soil biological memory for about 2000 years. However, the time of keeping the information about human activity is seem to be much longer. In this book we study soil memory about residential and agriculture land

Summary

use which was recorded on urease activity, the number of thermophilic microorganisms and saprotrophic, and active microbial biomass.

Farming practice with long-term manuring in the V–VIII centuries had led to significant changes microbiological properties of soils. Manuring in the early Middle Ages caused a secondary succession of the microbial communities. Application of manure and ploughing had led to a change in biomass of microbial communities and enzymatic activity of soil in the first place it refers to the enzymes of the phosphate and nitrogen cycles. In the fertilized area the content of carbon of microbial biomass and the number saprotrophic bacteria increased. For the first time it was shown that in the soils of former agricultural lands for 1500–1800 years viable spores of thermophilic bacteria preserved, and their high number points to the long-term application of manure in agricultural practice in the Alanian time.

In cultural layer of medieval site, a reduction in the total biomass of microorganisms in the soils and changes in the profile distribution of this index were found. The content of active microbial biomass in the cultural layers of the settlement decreased and varied in accordance with the land use. High level of urease activity was revealed as in soil of habitable area, as in soils of cattle keeping zone. The maximal urease activity was determined in soils of corrals. In the same soils maximal cellulase activity was revealed. In all the soils, a close correlation between the content of organic carbon, the active microbial biomass, and the urease activity was noted.

In both cases anthropogenic impact on the soils of archaeological sites associated with human habitation, cattle keeping, and agricultural activity resulted in changes soil urease activity, abundance saprotrophic thermophilic bacteria that have been preserved to present day.

It is worth notice that there are many capabilities of application of soil microbiology methods, and set of microbiological indicators for the reconstruction of the ancient anthropogenic activity is very large. For example, we can use the following parameters: lignin-decomposing fungi for searching former wood in soils of settlements; pathogenic fungi for searching places for seed storage; lipolytic bacteria for reconstruction of the presence of fat-containing products; anaerobic fungi, living in the stomach of ruminant animals (search paddocks) etc. The development of these methods in the future may significantly expand our understanding different branches of activities of the ancient population.

Литература

- Агларов М.А.* Террасная система земледелия в зоне доместикации растений // Хозяйство народов Дагестана в XIX–XX вв.: Этнографические исследования. Махачкала: ИИЯЛ им. Г.Цадасы ДФ АН СССР, 1979. С. 7–19.
- Агларов М.А.* Террасное земледелие Дагестана: Вопросы генезиса, культурной типологии и социальной роли системы // *Studia Praehistorica*. Вып. 8. София: Sofia Press, 1986. С. 50–63.
- Агроклиматические ресурсы Ставропольского края. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
- Александровский А.Л.* Почвы и культурный слой Москвы: строение, история развития // Тез. докл. Междунар. конф. «Проблемы антропогенного почвообразования»: В 4 т. Москва, 16–21 июля 1997 г. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. Т. 2. С. 96–99.
- Александровский А.Л., Бойцов Н.А., Кренке Н.А.* Почвы и культурный слой Москвы: строение, история развития, география // Изв. РАН. Сер. геогр. 1997. № 3. С. 82–95.
- Алябина И.О., Андроханов В.А., Вершинин В.В., Волков С.Н., Ганжара Н.Ф., Добровольский Г.В., Иванов А.В., Иванов А.Л., Иванова Е.А., Ильин Л.И., Карпачевский М.Л., Каштанов А.Н., Кирюшин В.И., Колесникова В.М., Колесникова Л.Г., Лойко П.Ф., Маньлов И.Е., Маречек М.С., Махинова А.Ф., Молчанов Э.Н., Прохоров А.Н., Пягай Э.Т., Рожков В.А., Рыбальский Н.Н., Савин И.Ю., Самойлова Н.С., Сапожников П.М., Сизов В.В., Столбовой В.С., Суханов П.А., Урусевская И.С., Чочаев А.Х., Шеремет Б.В., Шоба С.А., Яковлев А.С.* Единый государственный реестр почвенных ресурсов России: Версия 1.0 / Отв. ред. В.С. Столбовой. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.

- Амирханов Х.А.* Начало земледелия в Дагестане // *Природа*. 1983. № 2. С. 52–57.
- Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякина Т.Н.* Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // *Почвоведение*. 1993. № 11. С. 72–77.
- Андреев Ю.В.* Раннегреческий полис (гомеровский период). Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. С. 19–22.
- Андреанова Н.С.* Экология насекомых. М.: Изд-во МГУ, 1970. 158 с.
- Антыков А.Я., Стоморев А.Я.* Почвы Ставрополя и их плодородие. Ставрополь: Ставроп. кн. изд-во, 1970. 416 с.
- Анфимов Н.В.* Земледелие у меото-сарматских племен Прикубанья // *Материалы и исследования по археологии Северного Кавказа*. Вып. 23 / Под ред. Е.И. Крупнова. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 144–154.
- Аржанцева И.А.* Каменные крепости алан // *Российская археология*. 2007. № 2. С. 75–88.
- Ариунушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
- Афанасьев Г.Е.* Этнические аспекты генезиса катакомбного обряда погребений в салтово-маяцкой культуре // *Alanica*. Вып. 2: Аланы и Кавказ. Владикавказ; Цхинвал: СОИГИ, 1992. С. 83–97.
- Афанасьев Г.Е., Савенко С.Н., Коробов Д.С.* Древности Кисловодской котловины. М.: Научный мир, 2004. 240 с.
- Белинский А.Б., Коробов Д.С., Райнхольд С.* Ландшафтная археология на Северном Кавказе: Первые результаты исследования предгорного ландшафта Кисловодска эпохи позднего бронзового — раннего железного века // *Материалы по изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа*. Вып. 9: Археология, краеведение. Ставрополь: Наследие, 2009. С. 175–218.
- Березин Я.Б.* О «темных веках» в истории Кисловодской котловины // *исследований Кисловодской котловины в начале XXI века* // *Материалы VI заседания Круглого стола в музее «Крепость»* / Отв. ред. Я.Б. Березин. Кисловодск, 8 октября 2010 г. Кисловодск: Северокавказ. изд-во «МИЛ», 2011. С. 18–33.
- Березин Я.Б., Швырева А.К.* Фауна поселения Энергетик II–IV вв. на Пятигорье (по данным раскопок 2001 года) // *Материалы по*

- изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа. Вып. 7. М.: Памятники исторической мысли, 2007. С. 208–217.
- Бойко С.М.* Экономические проблемы развития сельского хозяйства Адыгеи (90-е годы). Майкоп: ООО «Качество», 1999. 327 с.
- Борисов А.В., Коробов Д.С.* Изучение следов террасного земледелия в Кисловодской котловине // *Российская археология*. 2009. № 3. С. 23–34.
- Борисов А.В., Коробов Д.С.* Древнее и средневековое земледелие в Кисловодской котловине: Итоги почвенно-археологических исследований. М.: Таус, 2013. 272 с.
- Борисов А.В., Коробов Д.С., Симакова А.Н., Занина О.Г., Бухонов А.В., Демидов В.В.* Древние земледельческие террасы Кисловодской котловины: история развития почв и современное состояние // *Почвоведение*. 2012. № 6. С. 630–647.
- Борисов А.В., Петерс С., Чернышева Е.В., Коробов Д.С., Рейнхольд С.* Химические и микробиологические свойства культурных слоев поселений кобанской культуры (XIII–IX вв. до н.э.) в окрестностях г. Кисловодска // *Вестн. археологии, антропологии и этнографии*. 2013. № 4 (23). С. 142–154.
- Бочкарев А.Н., Кудяров В.Н.* Определение нитратов в почве, воде и растениях // *Химия в сел. хоз-ве*. 1982. № 4. С. 49–52.
- Броневский С.М.* Новейшие известия о Кавказе, собранные и пополненные Семеном Броневским. СПб.: Петербургское Востоковедение, 2004. 491 с. (Сер. «Архив российского востоковедения».)
- Бухарин О.В., Гинцбург А.Л., Романова Ю.М., Эль-Регистан Г.И.* Механизмы выживания бактерий. М.: Медицина, 2005. 367 с.
- Вавилов Н.И.* Мировой опыт земледельческого освоения высокогорий: Докл. на Конф. АН СССР по сельскохоз. освоению Памира. 23 января 1936 г. // *Природа*. 1936. № 2. С. 74–84.
- Вайнштейн М.Б., Кудряшова Е.Б.* Онанобактериях // *Микробиология*. 2000. Т. 69, № 2. С. 163–174.
- Вальтер Г.В., Алехин В.В.* Основы ботанической географии. М.;Л.: Биомедгиз, 1936. 718 с.
- Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
- Воронов Ю.Н.* О датировке абхазских ацангуаров // *Сов. этнография*. 1973. № 6. С. 30–40.
- Габуев Т.А., Малашев В.Ю.* Памятники ранних алан центральных районов Северного Кавказа. М.: Таус, 2009. 468 с. (Сер. Материалы и исследования по археологии России; № 11.)

- Гаглоева З.Д.* Земледельческие орудия южных осетин // Изв. Юго-Осетин. науч.-исслед. ин-та. Сталинир: Изд-во АН ГССР, 1957. Вып. 8. С. 205–232.
- Гаджиев М.С.* К изучению земледелия в Кавказской Албании // Проблемы истории, филологии, культуры. Вып. 8. М.; Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. ун-та, 2000. С. 332–343.
- Гак Е.И., Чернышева Е.В., Ходжаева А.К., Борисов А.В.* Опыт выявления и систематизации инфраструктурных признаков поселения катакомбной культуры Рыкань-3 в лесостепном Подонье // Российская археология. 2014. № 4. С. 19–28.
- Галстян А.Ш.* Ферментативная активность почв Армении / Ред. Г.П. Петросян. Ереван: Айастан, 1974. 274 с. (Тр. НИИ почвоведения и агрохимии; Вып. 8.)
- Галушко А.И.* Анализ флоры западной части Центрального Кавказа // Флора Северного Кавказа и вопросы ее истории. Вып. 1. Ставрополь: Изд-во СГУ, 1976. С. 5–130.
- Гамкрелидзе Б.В.* Система скотоводства в горной Осетии // Кавказский этнографический сборник. Т. 5, вып. 3. Тбилиси: Мецниереба, 1980. С. 7–91.
- Гарданов В.К.* Земледелие у адыгов в XVIII — первой половине XIX века // Сов. этнография. 1965. № 4. С. 66–83.
- Гаркуша И.Ф.* Окультуривание почв как современный этап почвообразования. Горки: Белорус. СХА, 1956. 201 с.
- Геология СССР. Т. 9: Северный Кавказ. Ч. 1: Геологическое описание / Гл. ред. А.В. Сидоренко; ред. В.Л. Андрушук; соредакторы: А.Я. Дубинский, В.Е. Хаин. М.: Недра, 1968. 760 с.
- Герасимов И.П.* Научные основы систематики и классификации почв // Почвоведение. 1954. № 8. С. 51–55.
- Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В.* Антропогенные почвы: Генезис, география, рекультивация / Под ред. В.Г. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
- Гольева А.А.* Фитолиты и их информационная роль при исследовании природных и археологических объектов. М.; Сыктывкар; Элиста: Полтекс, 2001. 240 с.
- Гольева А.А.* Микробиоморфная память почв // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 499–529.
- Гольева А.А., Зазовская Э.П.* Особенности интерпретации антропогенной памяти почв // Память почв: Почва как память био-

- сферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 617–637.
- Гольева А.А., Свирида Н.М.* Определение древних пахотных земель Московской области // Материалы Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению, посвященной памяти проф. В.А. Демкина. Пушино, 14–16 апреля 2014 г. Пушино: Фотон-Век, 2014. С. 203–206.
- Григорьев Г.И., Фридланд В.М.* О разработке классификации почв по окультуренности // Изменение почв при окультуривании, их классификация и диагностика: Материалы Междунар. науч.-метод. совещ. науч. учреждений соц. стран. Москва, 20–26 мая 1964 г. М.: Колос, 1965. С. 171–192.
- Громов Г.Г., Новиков Ю.Ф.* Некоторые вопросы агроэтнографических исследований // Сов. археология. 1967. № 1. С. 82–93.
- Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А.* Микробные сообщества палеопочв археологических памятников пустынно-степной зоны // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1117–1126.
- Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А.* Микробиологические исследования подкурганых палеопочв пустынно-степной зоны Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2004. № 7. С. 853–859.
- Демкина Т.С., Борисов А.В., Ельцов М.В., Демкин В.А.* Сравнительная характеристика микробных сообществ курганных насыпей, подкурганых и современных почв степной зоны Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2007. № 6. С. 738–748.
- Демкина Т.С., Попова И.В., Демкин В.А.* Характеристика микробных сообществ современных и подкурганых почв солонцовых комплексов сухих степей Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2013. № 7. С. 840–849.
- Демкина Т.С., Хомутова Т.Э., Каширская Н.Н., Стретович И.В., Демкин В.А.* Микробиологические исследования палеопочв археологических памятников степной зоны // Почвоведение. 2010. № 2. С. 213–220.
- Дергачева М.И.* Археологическое почвоведение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 228 с.
- Джавадов Г.Д.* Традиционное азербайджанское пахотное орудие гар-ра котан // Сов. археология. 1981. № 6. С. 119–128.
- Добровольская Т.Г., Чернов И.Ю., Лукин С.М.* Бактериальное разнообразие целинных и пахотных почв Владимирской области // Почвоведение. 2001. № 9. С. 1092–1096.

- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.* Экология почв: Учение об экологических функциях почв: Учеб. 2-е изд., уточн. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2012. 412 с.
- Долгих А.В.* Формирование педолитоседиментов и почвенно-геохимической среды древних городов Европейской России: Дис. ... канд. геогр. наук. М., 2010. 153 с.
- Долотов В.А.* Старопахотная почва двухтысячелетнего использования // Почвоведение. 1984. № 1. С. 103–106.
- Дударев С.Л.* Белореченский 2-й могильник — памятник эпохи раннего железа Кавказских Минеральных Вод / Отв. ред. В.Б. Виноградов. Армавир: РИЦ АГПУ, 2004. С. 15–100. (Материалы и исследования по археологии Северного Кавказа; Вып. 3.)
- Думитрашко Н.В.* Геоморфологическое районирование // Кавказ. М.: Наука, 1966. С. 80–85.
- Естественнаучные методы исследования культурных слоев древних поселений. М.: НИИ-Природа, 2004. 162 с.
- Жук А.В.* Василий Алексеевич Городцов в рязанский период его жизни, службы и научной деятельности. Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. 536 с.
- Звягинцев Д.Г.* Почва и микроорганизмы. М: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
- Звягинцев Д.Г., Гиличинский Д.А., Благодатский С.А., Воробьева Е.А., Хлебникова Г.М., Архангелов А.А., Кудрявцева Н.Н.* Длительность сохранения микроорганизмов в постоянно мерзлых осадочных породах и погребенных почвах // Микробиология. 1985. Т. 54, вып. 1. С. 44–49.
- Иванов А.Л.* Флора Предкавказья и ее генезис. Ставрополь: Изд-во СГУ, 1998. 204 с.
- Иванова А.Е., Марфенина О.Е., Кислова Е.Е., Зазовская Э.П.* Микробиологические характеристики культурного слоя средневекового поселения на дерново-карбонатных почвах // Почвоведение. 2006. № 1. С. 62–71.
- Иванова Т.И., Кузьмина Н.П., Чевычелов А.П.* Численность микроорганизмов и уровни микробиологической активности мерзлотных антропогенно-трансформированных палевых почв Якутии // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1371–1380.
- История народов Северного Кавказа: В 2 т. Т. 1: История народов Северного Кавказа с древнейших времен до конца XVIII в. / Отв. ред. Б.Б. Пиотровский. М.: Наука, 1988. 544 с

- Каздым А.А. Археологическая минералогия. М.: Изд-во ЧП «Скорородов»», 2010. 44 с.
- Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов н/Д.: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
- Казеев К.Ш., Кутровский М.А., Даденко Е.В., Везденеева Л.С., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 2012. № 3. С. 327–335.
- Калоев Б.А. Земледелие у горских народов Северного Кавказа // Сов. этнография. 1973. № 3. С. 43–53.
- Калоев Б.А. Земледелие народов Северного Кавказа. М.: Наука, 1981. 225 с.
- Калоев Б.А. К истории скотоводства на Северном Кавказе // Проблемы этнографии Осетии. Орджоникидзе: Сев.-Осетин. науч.-исслед. ин-т, 1989. С. 184–199.
- Калоев Б.А. Скотоводство народов Северного Кавказа с древнейших времен до начала XX века. М.: Наука, 1993. 231 с.
- Кантария М.В. Некоторые вопросы земледельческого быта в горной Осетии // Кавказский этнографический сборник. Вып. 3. Тбилиси: Мецниереба, 1980. С. 92–174.
- Кантария М.В. Экологические аспекты традиционной хозяйственной культуры народов Северного Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1989. 274 с.
- Караваева Н.А. Агрогенная память почв // Память почв: Почва как память биосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 578–616.
- Каширская Н.Н. Микробная биомасса подкурганых палеопочв степной зоны Нижнего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2006. 24 с.
- Каширская Н.Н., Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Демкин В.А. Микробная биомасса подкурганых и современных почв степной зоны Нижнего Поволжья // Почвоведение. 2009. № 5. С. 581–587.
- Круглов А.П., Подгаецкий Г.В. Родовое общество степей Восточной Европы // ИГАИМК. 1935. Вып. 119. С. 75–76.
- Ковалева Г.В., Добровольская Т.Г., Головченко А.В. Структура бактериальных сообществ в естественных и антропогенно-нарушенных бурых лесных почвах ботанического сада (п-ов Муравьева-Амурского) // Почвоведение. 2007. № 5. С. 610–615.
- Ковалевская В.Б. Кавказ — скифы, сарматы, аланы. I тыс. до н.э. — I тыс. н.э. М.: ИА РАН, 2005. 401 с.

- Кожевин П.А., Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г.* Динамика развития различных микроорганизмов в почве // Микробиология. 1979. Т. 48, № 4. С. 490–494.
- Козенкова В.И.* Кобанская культура. Западный вариант. М.: Наука, 1989. 89 с.
- Корневский С.Н.* Памятники населения бронзового века Центрального Предкавказья (Нежинские курганы эпохи бронзы района Кавказских Минеральных Вод). М.: ИА АН СССР, 1990. 204 с.
- Корневский С.Н.* Древнейшие земледельцы и скотоводы Предкавказья. М.: Наука, 2004. 243 с.
- Коробов Д.С.* Социальная организация алан Северного Кавказа IV–IX вв. СПб.: Алетей, 2003. 380 с.
- Коробов Д.С.* К вопросу о скальных захоронениях Кисловодской котловины // Проблемы древней истории и культуры Северного Кавказа. М.: ИА РАН, 2004. С. 83–99.
- Коробов Д.С.* Укрепления эпохи раннего Средневековья на Боргустанском хребте близ Кисловодска // Пробл. истории, филологии, культуры. 2010. № 1. С. 560–593.
- Коробов Д.С.* Этапы заселения Кисловодской котловины по данным археологии // Краткие сообщения Института археологии РАН. Вып. 228. М.: Языки славянской культуры, 2013. С. 19–31.
- Коробов Д.С.* Итоги работ 2012–2013 гг. в Кисловодской котловине: Доклад на заседании отдела охранных раскопок ИА РАН, Москва, 19 мая 2014 г.
- Коробов Д.С.* О скотоводстве у алан Кисловодской котловины в эпоху раннего Средневековья // Археологическая наука: Практика, теория, история: Сб. научных трудов памяти И.С. Каменецкого / Отв. ред. А.Н. Гей, И.А. Сорокина. М.: ИА РАН, 2016а. С. 137–153.
- Коробов Д.С.* Система расселения алан Центрального Предкавказья в I тыс. н.э. (ландшафтная археология Кисловодской котловины): Т. 1; Т. 2. М.: Нестор-История, 2016б. (В печати.)
- Коробов Д.С., Бабенко А.Н., Борисов А.В.* Новые результаты по изучению следов древнего скотоводства в Кисловодской котловине и Приэльбрусье // Изучение и сохранение археологического наследия народов Кавказа. XXIX «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа: Материалы Междунар. науч. конф. Грозный, 18–21 апреля 2016 г. Грозный: Изд-во Чечен. ун-та, 2016. С. 284–286.

- Коробов Д.С., Борисов А.В. О земледелии алан Кисловодской котловины в I тыс. н.э. // Российская археология. 2012. № 2. С. 39–51.
- Костюченко И.П., Лисицина Г.Н. Генетические особенности древнеорошаемых почв // Почвоведение. 1976. № 2. С. 3–13.
- Котович В.Г. О хозяйстве населения горного Дагестана в древности // Сов. археология. 1965. № 3. С. 5–13.
- Котович В.М. Верхнегунибское поселение — памятник эпохи бронзы горного Дагестана: К истории дагестанских племен в конце III — II тысячелетия до н.э. Махачкала: ИИЯЛ им. Г.Цадасы ДФ АН СССР, 1965. 256 с.
- Круглов А.П., Подгаецкий Г.В. Родовое общество степей Восточной Европы // Изв. ГАИМК. Вып. 119. Л.: ОГИЗ, 1935. 150–175 с.
- Крупнов Е.И. Древняя история Северного Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 520 с.
- Кудеяров В.Н. Колориметрическое определение аммонийного азота в почвах и растениях феноловым методом // Агрохимия. 1965. № 6. С. 146–150.
- Кудеяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. М.: Наука, 1989. 216 с.
- Кузнецов В.А. Аланские племена Северного Кавказа. М.: Наука, 1962. 304 с.
- Кузнецов В.А. Очерки истории алан: 2-е изд. Владикавказ: Ир, 1992. 287 с.
- Кузнецов В.А., Рудницкий Р.Р. Поселение «Козьи скалы» у горы Бештау // Материалы по изучению историко-культурного наследия Северного Кавказа. Ставрополь: ГУП «Наследие», 1998. С. 297–332. (Вып. 1: Археология.)
- Культурные слои археологических памятников: Теория, методы и практика исследований: Материалы науч. конф. / Отв. ред. А.А. Узянов. М.: ИГ РАН: ИА РАН: НИА-Природа, 2006. 306 с.
- Кусаева С.С. Аланский катакомбный могильник XI–XII вв. у станции Змейской (по раскопкам 1953 г.) // Археологические раскопки в районе Змейской Северной Осетии. Орджоникидзе: Сев.-Осетин. кн. изд-во, 1961. С. 51–61.
- Лисецкий Ф.Н. Агрогенная трансформация почв сухостепной зоны под влиянием античного и современного этапов землепользования // Почвоведение. 2008. № 8. С. 913–927.
- Лисицина Г.Н., Костюченко И.П. Почва как источник информации при изучении древнего земледелия // Сов. археология. 1976. № 1. С. 23–41.

Литература

- Лысак Л.В., Семенова Н.А., Буланкина М.А., Урусевская И.С., Матинян Н.Н.* Бактерии в окультуренных почвах монастырей таежно-лесной зоны // Почвоведение. 2004. № 8. С. 976–985.
- Лысак Л.В., Сидоренко Н.Н., Марфенина О.Е., Звягинцев Д.Г.* Микробные комплексы городских почв // Почвоведение. 2000. № 1. С. 80–85.
- Любин В.П., Беляева Е.В.* Первые находки среднего и нижнего палеолита на Ставрополье // XXII «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа: Тез. докл. Ессентуки; Кисловодск, 2002. С. 79–81.
- Марков М.В.* Агрофитоценоз и процесс его становления // Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. М.: Наука, 1970. С. 108–116.
- Марковин В.И.* Культура племен Северного Кавказа в эпоху бронзы (II тысячелетие) до н.э. // МИА. 1960. № 93. 152 с.
- Марфенина О.Е.* Антропогенная экология почвенных грибов. М.: Медицина для всех, 2005. 196 с.
- Марфенина О.Е.* Свойства почвенной микробиоты как одна из форм биотической памяти почв // Память почв: Почва как память биосферно-антропосферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 561–577.
- Марфенина О.Е., Горбатовская Е.В., Горленко М.В.* Микологические характеристики культурных слоев почв древнерусских поселений // Микробиология. 2001. Т. 70, № 6. С. 855–859.
- Марфенина О.Е., Иванова А.Е., Кислова Е.Е., Зазовская Э.П., Чернов И.Ю.* Грибные сообщества почв раннесредневековых поселений таежно-лесной зоны // Почвоведение. 2008. № 7. С. 850–860.
- Масютенко Н.П., Нагорная О.В., Лукьянчикова О.В.* Влияние удобрений, типа севооборота, экспозиции склона и вида угодий на динамику содержания микробной биомассы в черноземе типичном // Агрохимия. 2008. № 5. С. 49–54.
- Материалы международной научной конференции по археологическому почвоведению, посвященной памяти В.А. Демкина. Пушкино: Фотон-век, 2014. 259 с.
- Материалы по истории земледелия СССР: Сб. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 630 с.
- Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы. М.: Мин-во здравоохранения СССР, 1977. 48 с.

- Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособ. / Под. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 484 с.
- Милюков Ф.Н. Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М.: Мысль, 1973. 224 с.
- Минаева Т.М. Городище Адиух в Черкесии // КСИИМК. 1955. № 60. С. 110–119.
- Минаева Т.М. К истории земледелия на территории Ставрополя // Материалы по изучению Ставропольского края. Вып. 10. Ставрополь: Ставропольск, 1960а. С. 267–282.
- Минаева Т.М. Поселение в устье р. Узун-Кол // Сов. археология. 1960б. № 2. С. 193–207.
- Мишустин Е.Н., Перцовская М.И. Микроорганизмы и самоочищение почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 652 с.
- Мишустин Е.Н., Перцовская М.И., Горбов В.А. Санитарная микробиология почвы. М.: Наука, 1979. 304 с.
- Мукатанов А.Х. Географо-экологический условия и ферментативная активность почв // Экологические условия и ферментативная активность почв. Уфа: Изд-во Башк. фил. АН СССР, 1979. С. 32–40.
- Новиков В.В., Степанов А.Л. Биологическая активность древнекультурного агрогема с погребенными горизонтами (Иверский монастырь, XVII в.) // Микробиология. 2000. № 3. С. 441–446.
- Османов М.О. Формы скотоводства даргинцев в XIX–XX вв. (в связи с регионами видового содержания скота и хозяйственно-культурными типами) // Хозяйство, материальная культура и быт народов Дагестана в XIX–XX вв. Махачкала: ИИЯЛ им. Г.Цадасы ДФ АН СССР, 1977. С. 39–55.
- Османов М.О. О формах и типах скотоводства (по материалам Дагестана. XIX в.) // Сов. этнография. 1984. № 6. С. 77–88.
- Османов М.О. Формы традиционного скотоводства народов Дагестана в XIX — начале XX в. М.: Наука, 1990. 297 с.
- Османов М.О. О системе земледелия (понятие, сущность, компонентное содержание) // Вестн. Ин-та истории, археологии, и этнографии ДВНЦ РАН. 2005. № 4. С. 79–101.
- Очерки истории Кубани с древнейших времен до 1920 г. / Под ред. В.Н. Ратушняка. Краснодар: Советская Кубань, 1996. 656 с.
- Покровский М.В. Городища и могильники Среднего Прикубанья // Труды Краснодар. гос. пед. ин-та. 1937. Т. 6, вып. 1. С. 3–37.

- Полянская Л.М., Звягинцев Д.Г.* Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв // Почвоведение. 2005. № 6. С. 706–714.
- Полянская Л.М., Лукин С.М., Звягинцев Д.Г.* Изменение состава, микробной биомассы в почве при окультуривании // Почвоведение. 1997. № 2. С. 206–212.
- Практикум по биологии почв: Учеб. пособ. М.: Изд-во МГУ, 2002. 120 с.
- Практикум по почвоведению / Под ред. И.С. Кауричева. М.: Колос, 1973. 279 с.
- Прокофьева Т.В., Седов С.Н., Строганова М.Н., Каздым А.* Опыт микроморфологической диагностики городских почв // Почвоведение. 2001. № 7. С. 879–890.
- Русин Н.П.* Климат сельскохозяйственных полей. Л.: Гидрометеиздат, 1955. 76 с.
- Самойлова Е.М.* Почвообразующие породы. М.: Изд-во МГУ, 1983. 173 с.
- Семенов С.А.* Происхождение земледелия. Л.: Наука, 1974. 150 с.
- Синская Е.Н.* Историческая география культурной флоры (На заре земледелия). М.: Колос, 1969. 479 с.
- Скрипникова М.И.* Изучение древнего земледелия в горах Кавказа // Древний Кавказ: Ретроспекция культур // XXIV «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа: Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Е.И. Крупнова. Москва, 2004 год. М., 2004. С. 181–183.
- Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула: ГрифиК, 2005. 336 с.
- Сравнительно-историческая лексика дагестанских языков / Отв. ред. Г.Б. Муркелинский. М.: Наука, 1971. С. 279–280.
- Сычева С.А.* Культурные слои древних поселений как объект междисциплинарных исследований // Культурные слои археологических памятников. Теория, методы и практика исследований. Материалы науч. конф. М.: ИГ РАН: ИА РАН: НИА-Природа, 2006. С. 45–54.
- Таргульян В.О.* Некоторые теоретические проблемы почвоведения как науки о Земле // Почвоведение. 1986. № 12. С. 107–116.
- Таргульян В.О.* Концепция памяти почв: развитие фундаментальной базы генетического почвоведения // Многоликая география: Развитие идей И.П. Герасимова (к 100-летию со дня рождения). М.: Товарищество КМК, 2005. С. 114–131.

- Таргульян В.О.* Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-антропоферных взаимодействий / Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 23–57.
- Таргульян В.О., Соколов И.А.* Структурный и функциональный подход к почве: почва-память и почва-момент // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1978. С. 17–33.
- Таргульян В.О., Соколова Т.А.* Почва как биокосная природная система: реактор, память и регулятор биосферных взаимодействий // Почвоведение. 1996. № 1. С. 34–47.
- Тишлер В.* Сельскохозяйственная экология / Пер. с нем. Б.Р. Стригановой, В.А. Турчаниновой / Под ред. М.С. Гилярова. М.: Колос, 1971. 455 с.
- Тургиев Т.Б.* О скотоводстве у алан // Материалы по археологии и древней истории Северной Осетии. Т. 2. Орджоникидзе: Сев.-Осетин. науч.-исслед. ин-т, 1969. С. 120–131.
- Тургиев Т.Б.* О скотоводстве у алан // Сов. этнография. 1984. № 6. С. 77–87.
- Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л.* Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: ГЕОС, 2007. 138 с.
- Фридланд В.М.* Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 245 с.
- Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 204 с.
- Хомутова Т.Э., Демкин В.А.* Оценка биомассы микробных сообществ почв сухих степей по содержанию в них фосфолипидов // Почвоведение. 2011. № 6. С. 748–754.
- Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Демкин В.А.* Оценка суммарной и активной микробной биомассы разновозрастных подкурганых палеопочв // Микробиология. 2004. Т. 73, № 2. С. 241–247.
- Хомутова Т.Э., Демкина Т.С., Каширская Н.Н., Демкин В.А.* Фосфатазная активность современных и погребенных каштановых почв Волго-Донского междуречья // Почвоведение. 2012. № 4. С. 478–483.
- Чернышева Е.В., Борисов А.В., Коробов Д.С.* Уреазная активность почв и культурных слоев памятников аланской культуры в Кисловодской котловине // XXVIII «Крупновские чтения» по археологии Северного Кавказа: Материалы Междунар. науч. конф.: «Е.И. Крупнов и развитие археологии Северного Кавказа». М.: ИА РАН, 2014. С. 286–287.

- Чернышева Е.В., Гак Е.И., Борисов А.В.* Уреазная активность культурного слоя поселения катакомбной культуры Рыкань-3 // Проблемы дослідження пам'яток археології східної України: Матеріали III Луганської історико-археологічної конференції пам'яті С.Н. Братченко. Луганськ, 2012. С. 388–392.
- Чернышева Е.В., Каширская Н.Н., Коробов Д.С., Борисов А.В.* Биологическая активность дерново-карбонатных почв и культурных слоев аланских поселений Кисловодской котловины // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1068–1076.
- Чижикова Н.П.* Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1991. 48 с.
- Читая Г.С.* Земледельческие системы и пахотные орудия Грузии // Вопросы этнографии Кавказа. Тбилиси: АН ГССР, 1952. С. 109–111.
- Шаманов И.М.* Скотоводство и хозяйственный быт карачаевцев в XIX — начале XX в. М.: Наука, 1972. 95 с.
- Шаманов И.М.* Развитие скотоводства в Карачае в XIX — начале XX в. // Проблемы археологии и исторической этнографии Карачаево-Черкесии. Черкесск: Карачаево-Черкес. науч.-исслед. ин-т истории, филологии и экономики, 1985. С. 133–163.
- Шапошникова И.М., Новиков А.А.* Изменение органического вещества почв при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1986. № 8. С. 58–62.
- Шенников А.П.* Луговая растительность СССР // Растительность СССР. Т. 1. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 429–647.
- Шеуджен А.Х., Харитонов Е.М., Галкин Г.А., Тхакушинов А.К.* Зарождение и развитие земледелия на Северном Кавказе. Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2001. 952 с.
- Шукин И.* Очерки геоморфологии Кавказа. Ч. 1: Большой Кавказ. М.: Изд-во ассоц. науч.-исслед. ин-тов при физ.-мат. фак. МГУ, 1926. 201 с.
- Ямсков А.Н.* Экологические факторы эволюции форм скотоводства у тюркоязычных народов Северного Кавказа // Сов. этнография. 1986. № 5. С. 22–34.
- Acosta-Martinez V., Zobeck T.M., Gill T.E., Kennedy A.C.* Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agriculture soils // Biol. Fertil. Soils. 2003. Vol. 38. P. 216–227.
- Allen M.B.* The thermophilic aerobic sporeforming bacteria // Bacteriol. Rev. 1953. Vol.17. P. 125–173.

- Allison V.J., Miller R.M., Jastrow J.D., Matamala R., Zak D.R. Changes in soil microbial community structure in a tallgrass prairie chronosequence // Soil Sci Soc. Am. J. 2005. Vol. 69. P. 1412–1421.
- Alvarez R., Diaz R.A., Barbero N., Santanotoglia O.J., Blotta L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems // Soil Till. Res. 1995. Vol. 33. P. 17–28.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. P. 215–221.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils // Soil Sci. 1980. Vol. 130. P. 211–216.
- Anderson T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: applications and limitations // Beyond the Biomass / K.Ritz, J. Dighton, K.E. Giller (eds). UK, Chichester: Wiley-Sayce, 1994. P. 67–76.
- Anderson T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // Agric. Ecosyst. Environ. 2003. Vol. 98. P. 285–293
- Anderson T.H., Domsch K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils // Soil Biol. Biochem. 1989. Vol. 21. P. 471–479.
- Anderson T.H., Domsch K.H. Application of eco-physiological quotients ($q\text{CO}_2$ and $q\text{D}$) on microbial biomasses from soils of different cropping histories // Soil Biol. Biochem. 1990. Vol. 22. P. 251–255.
- Angers D.A., Bissonnette N., Legere A., Samson N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production // Can. J. Soil Sci. 1993. Vol. 73. P. 39–50.
- Antibus D.E., Leff L.G., Hall B.L., Baeseman J.L., Blackwood C.B. Cultivable bacteria from ancient algal mats from the McMurdo Dry Valleys, Antarctica // Extremophiles. 2012. Vol. 16, № 1. P. 105–114.
- Antonius G.F. Impact of soil management and two botanical insecticides on urease and invertase activity // J. Environ. Sci Health B. 2003. Vol. 38. P. 479–488.
- Aon M.A., Cabello M.N., Sarena D.A., Colaneri A.C., Franco M.G. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agriculture soil. I. // Appl. Soil Ecol. 2001. Vol. 18. P. 239–254.
- Aon M.A., Colaneri A.C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agriculture soil. II. // Appl. Soil Ecol. 2001. Vol. 18. P. 255–270.

- Arrhenius O.* Die Bodenanalyse im Dienst der Archäologie, Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, und Bodenkunde // *Tiel. B.* 1931. Bd. 10. S. 427–439.
- Bakels C.C.* The beginnings of manuring in Western Europe // *Antiquity.* 1997. Vol. 71. P. 442–445.
- Bandick A.K., Dick R.P.* Field management effects on soil enzyme activities // *Soil Biol. Biochem.* 1999. Vol. 31. P. 1471–1479.
- Bannert A., Kleineidam K., Wissing L., Mueller-Niggemann C., Vogelsang V., Welzl G., Cao Z., Schlote M.* Changes in diversity and functional gene abundances of microbial communities involved in nitrogen fixation, nitrification, and denitrification in a tidal wetland versus paddy soils cultivated for different time periods // *Appl. Environ. Microbiol.* 2011. Vol. 77. P. 6109–6116.
- Barba L.* The old as source of new archaeological information // 15th World Congress of Soil Science. Acapulco. 1994. Vol. 6a. P. 321–329.
- Bardgett R.D., Hobbs P.J., Frostegard A.* Changes in soil fungal: bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland // *Biol. Fertil. Soils.* 1996. Vol. 22. P. 261–264.
- Bastida F., Kandeler E., Moreno J.L., Ros M., Garcia C., Hernandez T.* Application of fresh and composed organic wastes modifies structure, size, and activity of microbial community under semiarid climate // *Appl. Soil Ecol.* 2008. Vol. 40. P. 318–329.
- Benayas J.M.R., Bullock J.M.* Restoration of biodiversity and ecosystem services on agriculture land // *Ecosystems.* 2012. Vol. 15. P. 883–889.
- Bergstrom D.W., Monreal C.M., King D.J.* Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices // *Soil Sci Soc. Am. J.* 1998a. Vol. 62. P. 1286–1295.
- Bergstrom D.W., Monreal C.M., Millette J.A., King D.J.* Spatial dependence of soil enzyme activities along a slope // *Soil Sci Soc. Am. J.* 1998b. Vol. 62. P. 1302–1308.
- Biederbeck V.O., Campbell C.A., Zentner R.P.* Effect of crop rotation and fertilization on some biological properties of a loam in southwestern Saskatchewan // *Can. J. Soil Sci.* 1984. Vol. 64. P. 355–367.
- Bittman S., Forge T.A., Kowalenko C.G.* Responses of the bacterial and fungal biomass in a grassland soil to multi-year applications of dairy manure slurry and fertilizer // *Soil Biol. Biochem.* 2005. Vol. 37. P. 613–623.
- Bohme L., Langer U., Bohme F.* Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term

- field experiments // *Agric. Ecosyst. Environ.* 2005. Vol. 109. P. 141–152.
- Bol R., Kandeler E., Amelung W., Glaser B., Marx M.C., Preedy N., Lorenz K.* Short-term effects of dairy slurry amendment on carbon sequestration and enzyme activities in a temperate grassland // *Soil Biol. Biochem.* 2003. Vol. 35. P. 1411–1421.
- Bull I.D., Simpson I.A., Dockrill S.J., Evershed R.P.* Organic geochemical evidence for the origin of ancient anthropogenic soil deposits at Tofts Ness, Sanday, Orkney // *Organic Geochemistry.* 1999. Vol. 30. P. 535–556.
- Burket J.Z., Dick R.P.* Microbial and soil parameters in relation to N mineralization in soil of diverse genesis under differing management system // *Biol. Fertil. Soil.* 1998. Vol. 27. P. 430–438.
- Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A.* Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // *Soil Biol. Biochem.* 2013. Vol. 58. P. 216–234.
- Buurman J.* Economy and environment in Bronze Age West-Friesland, Noord Holland (from wetland to wetland) // *The exploitation of wetlands / P. Murphy, C. French (eds). Oxford: British Archaeological Reports, 1988. British Ser. 186. P. 267–292.*
- Carter M.R.* Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties // *Soil Till. Res.* 1986. Vol. 7. P. 29–40.
- Carter M.R.* Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macro-aggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate // *Soil Till. Res.* 1992. Vol. 23. P. 361–372.
- Chernysheva E.V., Korobov D.S., Khomutova T.E., Borisov A.V.* Urease activity in cultural layers at archaeological sites // *J. Archaeol. Sci.* 2015. Vol. 57. P. 24–31.
- Cordova C.E., Lehman P.H.* Holocene environmental change in south-western Crimea (Ukraine) in pollen and soil records // *The Holocene.* 2005. Vol. 15. P. 263–277.
- Crecchio C., Curci M., Mininni R., Ricciuti P., Ruggiero P.* Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity // *Biol. Fertil. Soils.* 2001. Vol. 34. P. 311–318.
- Cui J., Meng H., Nie M., Chen X., Li Z., Bu N., Chen J., Quan Z., Fang C.* Bacterial succession during 500 years of soil development under agricultural use // *Ecol. Res.* 2012. Vol. 27. P. 793–807.

- Davidson D.A., Carter S.P.* Micromorphological evidence of past agricultural practices in cultivated soils: The Impact of a Traditional Agricultural System on Soils in Papa Stour, Shetland // *J. Archaeol. Sci.* 1998. Vol. 25. P. 827–838.
- de Vries F.T., Bloem J., van Eekeren N., Brusaard L., Hoffland E.* Fungal biomass in pastures increases with age and reduced N input // *Soil Biol. Biochem.* 2007. Vol. 39. P. 1620–1630.
- Delgado R., Martín-García J.M., Calero J., Casares-Porcel M., Tito-Rojo J., Delgado G.* The historic man-made soils of the Generalife garden (La Alhambra, Granada, Spain) // *Eur. J. Soil Sci.* 2007. Vol. 58. P. 215–228.
- Demkina T.S., Khomutova T.E., Kashirskaya N.N., Demkina E.V., Stretovich I.V., El-Registan G.I., Demkin V.A.* Age and activation of microbial communities in soils burial mounds and in recent surface soils of steppe zone // *Eurasian Soil Sci.* 2008. Vol. 41, № 13. P. 1439–1447.
- Deng S.P., Tabatabai M.A.* Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase // *Biol. Fertil. Soils.* 1997. Vol. 24. P. 141–146.
- Dick R.P.* A review: long-term effects of agriculture systems on soil biochemical and microbial parameters // *Agric. Ecosyst. Environ.* 1992. Vol. 40. P. 25–36.
- Dick R.P., Rasmussen P.E., Kerle E.A.* Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system // *Biol. Fertil. Soils.* 1988. Vol. 6. P. 159–164.
- Dick R.P., Sandor J.A., Eash N.S.* Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru // *Agric. Ecosyst. Environ.* 1994. Vol. 50. P. 123–131.
- Dodor D.E., Tabatabai M.A.* Amidohydrolases in soil as affected by cropping system // *Appl. Soil. Ecol.* 2003. Vol. 24. P. 73–90.
- Duchicela J., Sullivan T.S., Bontti E., Bever J.D., Wan S.* Soil aggregate stability increase is strongly related to fungal community succession along an abandoned agricultural field chronosequence in the Bolivian Altiplano // *J. Appl. Ecol.* 2013. Vol. 50. P. 1266–1273.
- Dumontet S., Mazzatura A., Casucci C., Perucci P.* Effectiveness of microbial indices in discriminating interactive effects of tillage and crop rotation in Vertic Ustothens // *Biol. Fertil. Soil.* 2001. Vol. 34. P. 411–416.
- Edmeades D.C.* The long-term effects of manure and fertilisers on soil productivity and quality: a review // *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 2003. Vol. 66. P. 165–180.

- Eidt R.C.* Detection and examination of anthrosols by phosphate analysis // *Science*. 1977. Vol. 197. P. 1327–1333.
- Eidt R.C.* Advances in Abandoned Settlement Analysis: Application to Prehistoric Anthrosols in Colombia, South America. Milwaukee: University of Wisconsin-Milwaukee, Center for Latin America, 1984.
- Eivazi F., Bayan M.R., Schmidt K.* Select soil enzyme activities in the historic Sanborn Field as affected by long-term cropping systems // *Soil Sci Plant. Anal.* 2003. Vol. 34. P. 2259–2275.
- Ellis E.C., Ramankutty N.* Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world // *Front Ecol Environ.* 2008. Vol. 6. P. 439–437.
- Entwistle J.A., Abrahams P.W., Dodgshon R.A.* Multi-Element Analysis of Soils from Scottish Historical Sites. Interpreting land-use history through the physical and geochemical Analysis of Soil // *J. Archaeol. Sci.* 1998. Vol. 25. P. 53–68.
- Epstein I., Grossowicz N.* Prototropic thermophilic *Bacillus*: isolation, properties and kinetics of growth // *J. Bacteriol.* 1969. Vol. 99. P. 414–417
- Feng Z., Motta A.C., Reeves D.W., Burmester C.H., van Santen E., Osborne J.A.* Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems // *Soil Biol. Biochem.* 2003. Vol. 35. P. 1693–1703.
- Fierer N., Strickland M.S., Liptzin D., Bradford M.A., Cleveland C.C.* Global patterns in belowground communities // *Ecol. Lett.* 2009. Vol. 12. P. 1238–1249.
- Foley J.A., DeFries R., Asner G.P., Barford C., Bonan G., Carpenter S.R., Chapin F.S., Coe M.T., Daily G.C., Gibbs H.K., Helkowski J.H., Holloway T., Howard E.A., Kucharick C.J., Monfreda C., Patz J.A., Prentice I.C., Ramankutty N., Snyder P. K.* Global consequences of land use // *Science*. 2005. Vol. 309. P. 570–574.
- Frankenberger W.T., Dick W.A.* Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil // *Soil Sci Soc. Am. J.* 1983. Vol. 47. P. 945–951.
- Fraser R.A., Bogaard A., Heaton T., Charles M., Jones G., Christensen B.T., Halstead P., Merbach I., Poulton P.R., Sparkes D., Styring A.K.* Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices // *J. Archaeol. Sci.* 2011. Vol. 38. P. 2790–2804.
- Frey S.D., Elliott E.T., Paustian K.* Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two

- climatic gradients // *Soil Biol. Biochem.* 1999. Vol. 31. P. 573–585.
- Friedel J.K., Munch J.P., Fisher W.R.* Soil microbial properties and assessment of available soil organic matter in haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation // *Soil Biol. Biochem.* 1996. Vol. 28. P. 479–488.
- Gaffney V., Tingle M.* The Maddie Farm Project // *British Archaeological Reports.* Oxford, 1989. P. 200.
- Garcia C., Hernandez J., Albaladejo V., Castillo A.* Roldan Revegetation in semiarid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity // *Soil Sci Soc. Am. J.* 1998. Vol. 62. P. 670–676.
- Giacometti C., Demyan M.S., Cavani L., Marzadori C., Ciavatta C., Kandeler E.* Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems // *Appl. Soil Ecol.* 2013. Vol. 64. P. 32–48.
- Gianfreda L., Ruggiero P.* Enzyme activities in soil // *Nucleic acids and proteins in soil* / P.Nannipieri, K.Smalla (eds). Chap. 8: *Soil Biology.* Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. P. 257–295.
- Gilichinsky D.A., Vorobyova E.A., Erokhina L.G., Fedorov-Davydov D.G., Chaikovskaya N.R.* Long-term preservation of microbial ecosystems in permafrost // *Adv. Space Res.* 1992. Vol. 12. P. 255–263.
- Goodman-Elgar M.* Evaluating soil resilience in long-term cultivation: a study of pre-Columbian terraces from Paca Valley, Peru // *J. Archaeol. Sci.* 2008. Vol. 35. P. 3072–3086.
- Gosden C., Lock G.* Becoming Roman on the Berkshire Downs: The Evidence from Alfred's Castle // *Britannia.* 2003. Vol. 34. P. 65–80.
- Graf M.-T., Chmura G.L.* Development of modern analogues for natural, mowed and grazed grasslands using pollen assemblages and coprophilous fungi // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2006. Vol. 141. P. 139–149.
- Guerrero C., Moral R., Gomez I., Zornoza R., Arcenegui Vol.* Microbial biomass and activity of an agriculture soil amended with the solid phase of pig slurries // *Bioresource Technology.* 2007. Vol. 98. P. 3259–3264.
- Guttmann E.B., Simpson I.A., Davidson D.A.* Manuring practice in Antiquity: a review of the evidence // *Fertile Ground: Papers in Honour of Professor Susan Limbrey* / D.N. Smith, M.B. Brickley, W.Smith (eds) // *AEA Symposia.* № 22. Oxford: Oxbow Books, 2005. P. 68–76.
- Haynes R.J., Naidu R.* Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and physical conditions: a re-

- view // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 1998. Vol. 51. P. 123–137.
- Holliday V.T., Gartner W.G.* Methods of soil P analysis in archeology // J. Archaeol. Sci. 2007. Vol. 34. P. 301–333.
- Homburg J.A., Sandor J.A.* Anthropogenic effects on soil quality of ancient agricultural systems of the American Southwest // Catena. 2011. Vol. 85. P. 144–154.
- Innes J.B., Blackford J.J.* The ecology of late Mesolithic woodland disturbances: model testing with fungal spore assemblage data // J. Archaeol. Sci. 2003. Vol. 30. P. 185–194.
- Jacobeit W.* Schafhaltung und Schäfer in Zentraleuropa bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts. Berlin: Akademie Verlag, 1987. 462 s.
- Jiang X., Wright A.L., Wang X., Liang F.* Tillage-induced changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: A long-term field study in a subtropical rice soil in China // Appl. Soil Ecol. 2011. Vol. 48. P. 168–173.
- Joergensen R.G., Emmerling C.* Review article: Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agriculture // J. Plant. Nutr. Soil Sci. 2006. Vol. 169. P. 295–309.
- Kandeler E., Bohm K.E.* Temporal dynamics of microbial biomass, xylanase activity, N-mineralisation and potential nitrification in different tillage systems // Appl. Soil Ecol. 1996. Vol. 4. P. 181–191.
- Kandeler E., Eder G.* Effect of cattle slurry in grassland on microbial biomass and on activities of various enzymes // Biol. Fertil. Soils. 1993. Vol. 16. P. 249–254.
- Kandeler E., Gerber H.* Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // Biol. Fertil. Soils. 1988. Vol. 6. P. 68–72.
- Kandeler E., Stemmer M., Klimanek E.-M.* Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management // Biol. Fertil. Soils. 1999. Vol. 31. P. 261–273.
- Kandeler E., Tschерko D., Spiegel H.* Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of Chernozem under different tillage management // Biol. Fertil. Soils. 1999. Vol. 28. P. 343–351.
- Kanstrup M., Holst M.K., Jensen P.M., Thomsen I.K., Christensen B.T.* Searching for long-term trends in prehistoric manuring practice. $\delta^{15}\text{N}$ analyses of charred cereal grains from the 4th to the 1st millennium BC // J. Archaeol. Sci. 2014. Vol. 51. P. 115–125.

- Khomutova T.E., Demkina T.S., Borisov A.V., Kashirskaya N.N., Yeltsov M.V., Demkin V.A.* An assessment of changes in properties of steppe kurgan paleosoils in relation to prevailing climates over recent millennia // *Quatern. Res.* 2007. Vol. 67, № 3. P. 328–336.
- Khomutova T.E., Demkina T.S., Demkin V.A.* The state of microbial communities in buried paleosols in relation to prevailing climates in steppes of the Lower Volga region // *Quatern. Intern.* 2014. Vol. 324. P. 115–123
- Kiers E.T., Leakey R.R.B., Izac A.M., Heinemann J.A., Rosenthal E., Nathan D., Jiggins J.* Ecology–agriculture at a crossroads // *Science.* 2008. Vol. 320. P. 320–321.
- Klose S., Tabatabai M.A.* Urease activity of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.* 1999. Vol. 31. P. 205–211.
- Kochkina G.A., Ivanushkina N.E., Ozerskaya S.M., Chigineva N., Vasilenko O., Firsov S., Spirina E., Gilichinsky D.* Ancient fungi in Antarctic permafrost environments // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2012. Vol. 82. P. 501–509.
- Kryazhevskikh N.A., Demkina E.V., Galchenko V.F., El-Registan G.I., Manucharova N.A., Soina V.S.* Reactivation of dormant and nonculturable bacterial forms from paleosoils and subsoil permafrost // *Microbiology.* 2012. Vol. 81, № 4. P. 435–445.
- Lavahum M.F.E., Joergensen R.G., Meyer B.* Activity and biomass of soil microorganisms at different depths // *Biol. Fertil. Soils.* 1996. Vol. 23. P. 38–42.
- Lehmann J., da Silva Jr., Steiner C., Hehls T., Zech W., Glaser B.* Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments // *Plant and Soil.* 2003. Vol. 249. P. 343–357.
- Leonardi G.* Soil Phosphorus Analysis as an Integrative Tool for Recognizing Buried Ancient Ploughsoils // *J. Archaeol. Sci.* 1999. Vol. 26. P. 343–352.
- Liang B.C., MacKenzie A.F., Schnitzer M., Monreal C.M., Voroney P.R., Beyaert R.P.* Management-induced changes in labile soil organic matter under continuous corn in eastern Canadian soils // *Biol. Fertil. Soils.* 1998. Vol. 26. P. 88–94.
- Linderholm J.* Prehistoric land management and Cultivation: A soil chemical survey // *Bull. 1 of the Archaeological Soil Micromorphology Working Group.* Ldn: University College London, 1997. P. 315–322.

- Lisetskii F.N.* Agrogenic transformation of soils in the dry steppe zone under the impact of antique and recent land management practices // *Eurasian Soil Sci.* 2008. Vol. 8. P. 805–817.
- Lisetskii F.N., Rodionova M.E.* Soil and landscape changes in ancient agricultural areas (exemplified by antique Olbia) // *Geogr. Nat. Resour.* 2012. Vol. 33. P. 327–335.
- Lisetskii F.N., Stolba V.F., Ergina E.I., Rodionova M.E., Terekhin E.A.* Post-agrogenic evolution of soils in ancient Greek land use areas in the Herakleian Peninsula, South-West Crimea // *The Holocene.* 2013. Vol. 23. P. 504–514.
- Lisetskii F.N., Stolba V.F., Marinina O.* Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea // *Geoderma.* 2015. Vol. 239–240. P. 304–316.
- Liu E., Yan C., Mei X., Wenqing H., Bing S.H., Ding L., Liu Q., Liu S., Fan T.* Long-term effect of chemical fertilizer, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China // *Geoderma.* 2010. Vol. 158. P. 173–180.
- Londono A.C.* Pattern and rate of erosion inferred from Inca agricultural terraces in arid Southern Peru // *Geomorphology.* 2008. Vol. 99. P. 13–25.
- Lorch W.* Die siedlungsgeographische Phosphatmethode // *Die Naturwissenschaften.* 1940. Bd. 28. S. 633–640.
- Mamilov A.S., Dilly O.M.* Soil microbial eco-physiology as affected by short-term variations in environmental conditions // *Soil Biol. Biochem.* 2002. Vol. 34. P. 1283–1290.
- Marcote I., Hernandez T., Garcia C., Polo A.* Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation // *Bioresource Technol.* 2001. Vol. 79. P. 147–154.
- Marfenina O.E., Ivanova A.E., Kislova E.E., Zazovskaya E.P., Chernov I.Y.* Fungal Communities in the Soils of Early Medieval Settlements in the Taiga Zone // *Eurasian Soil Sci.* 2008. Vol. 41. P. 749–759.
- Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S.* Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy // *Ecological Indicators.* 2006. Vol. 6. P. 701–711.
- Marschner P., Kandeler E., Marschner B.* Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment // *Soil Biol. Biochem.* 2003. Vol. 35. P. 453–461.
- Martens D.A., Johanson J.B., Frankerberger W.T.* Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues // *Soil Sci.* 1992. Vol. 153. P. 53–61.

- McBee R.H., McBee V.* The incidence of thermophilic bacteria in Arctic soils and waters // *J. Bacteriol.* 1956. Vol. 71. P. 182–185.
- McGill W.B., Cannon K.R., Robertson J.A., Cook E.D.* Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations // *Can. J. Soil Sci.* 1986. Vol. 66. P. 1–19.
- McLauchlan K.* The nature and longevity of agriculture impacts on soil carbon and nutrients: a review // *Ecosystems.* 2006. Vol. 9. P. 1364–1382.
- Meharg A.A., Deacon C., Edwards K.J., Donaldson M., Davidson D., Spring C., Scrimgeour C.M., Feldmann J., Rabb A.* Ancient manuring practices pollute arable soils at the St Kilda World Heritage Site, Scottish North Atlantic // *Chemosphere.* 2006. Vol. 64. P. 1818–1828.
- Melero S., Madejon E., Ruiz J.C., Herencia J.F.* Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization // *European Journal of Agronomy.* 2007. Vol. 26. P. 327–334.
- Mikanova O., Javurek M., Simon T., Friedlova M., Vach M.* The effect of tillage systems on some microbial characteristics // *Soil Till. Res.* 2009. Vol. 105. P. 72–76.
- Mikha M.M., Rice C.W.* Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen // *Soil Sci Soc. Am. J.* 2004. Vol. 68. P. 809–816.
- Miller M., Dick R.P.* Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotation // *Soil Biol Biochem.* 1995. Vol. 27. P. 1161–1166.
- Moeskops B., Sukristiyonubowo, Buchan D., Sleutel S., Herawaty L., Husen E., Saraswati R., Setyorini D., de Neve S.* Soil microbial communities and activities under intensive organic and conventional vegetable farming in West Java, Indonesia // *Appl. Soil Ecol.* 2010. Vol. 45. P. 112–120.
- Nannipieri P., Kandeler E., Ruggiero P.* Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil // *Enzymes in the environment: Activity, ecology and applications* / R.G. Burns, R.P. Dick (eds). N.Y.: Marcel Dekker, 2002. P. 1–33.
- Nielsen B.O., Mahler V., Rasmussen P.* An anthropod assemblage and the ecological condition in a byre at the Eolithic settlements of Wiere, Switzerland // *J. Archaeol. Sci.* 2000. Vol. 27. P. 209–218.
- Nielsen N.H., Kristiansen S.M.* Identifying ancient manuring: traditional phosphate vs. multi-element analysis of archaeological soil // *J. Archaeol. Sci.* 2014. Vol. 42. P. 390–398.

- Nyström T.* Not quite dead enough: on bacterial life, culturability, senescence, and death // *Arch. Microbiol.* 2001. Vol. 176. P. 159–164.
- O'Tool P., Morgan M.A., McGarry S.J.A* Comparative study of urease activities in pasture and tillage soils // *Commun. Soil Sci Plant. Anal.* 1985. Vol. 16. P. 759–733.
- Palma R.M., Arrigo N.M., Saubidet M.I., Conti M.E.* Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbance // *Biol. Fertil. Soils.* 2000. Vol. 32. P. 381–384.
- Pascual J.A., Garcia C., Hernandez T.* Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil // *Biol. Fertil. Soils.* 1999. Vol. 30. P. 1–6.
- Paulson K.N., Kurtz L.T.* Michaelis constant of soil urease // *Soil Sci Soc. Amer. J.* 1970. Vol. 34. P. 70–72.
- Paz-Ferreiro J., Trasar-Cepeda C., Leiros M.C., Seoane S., Gil-Sotres F.* Biochemical properties of acid soils under native grassland in temperate humid zone // *New Zealand J. Agric. Res.* 2007. Vol. 50, № 4. P. 537–548.
- Perucci P.* Enzyme activity and microbial biomass in a field soil amended with municipal refuse // *Biol. Fertile. Soils.* 1992. Vol. 14. P. 54–60.
- Peters S., Borisov A., Reinhold S., Korobov D., Thiemeyer H.* Microbial characteristics of soils depending on the human impact on archaeological sites in the Northern Caucasus // *Quatern. Intern.* 2014. Vol. 324. P. 162–171.
- Plaza C., Hernandez D., Garcia-Gil J.C., Polo A.* Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions // *Soil Biol. Biochem.* 2004. Vol. 36. P. 1577–1585.
- Portillo M.C., Santana M., Gonzalez J.* Presence and potencial role of thermophilic bacteria in temperate terrestrial environments // *Naturwissenschaften.* 2012. Vol. 99, № 1. P. 43–53.
- Potthoff M., Steenwerth K.L., Jackson L.E., Drenovsky R.E., Scow K.M., Joergensen R.G.* Soil microbial community composition as affected by restoration practices in California grassland // *Soil Biol. Biochem.* 2006. Vol. 38. P. 1851–1860.
- Rangger A., Insam H.* Microbial activities and biomass along an altitudinal profile in the Northern Tyrolean limestone Alps // *Phyton (horn).* 1996. Vol. 36. P. 83–94.
- Rasmussen P.E., Collins H.P., Smiley R.W.* Long-term management effects on soil productivity and crop yield in semi-arid regions of eastern Oregon // *Station Bulletin.* 1994. Vol. 675. 67 p.
- Reinhold S., Belinskij A.B., Korobov D.S.* Landschaftsarchäologie im Nordkaukasus. Erste Ergebnisse der Untersuchung der Vorgebirgs-

- landschaft bei Kislovodsk während der Spätebronze — und frühen Eisenzeit // *Eurasia Antiqua*. 2007. Bd. 13. S. 139–180.
- Rimantiene R.* Substantial remains of incipient Neolithic agriculture at Sventoji 6: A Narwa culture settlement in Lithuania // *Tools and Tillage*. 1994. Vol. 7, № 2/3. P. 92–102.
- Rivkina E., Gilichinsky D., Wagener S., McGrath J., Tiedj J.* Biogeochemical activity of anaerobic microorganisms from buried permafrost sediments // *Geomicrobiology*. 1998. Vol. 15. P. 187–193.
- Roscoe R., Vasconcellos C.A., Furtini-Neto A.E., Guerdes G.A.A., Fernandes L.A.* Urease activity and its relation to soil organic matter, microbial biomass nitrogen and nitrogen assimilation by maize in a Brazilian Oxisol under no-tillage and tillage systems // *Biol. Ferti.l Soils*. 2000. Vol. 32. P. 52–59.
- Roszak D.B., Colwell R.R.* Survival strategy of bacteria in the environment // *Microbiol. Rev.* 1987. Vol. 51. P. 520–533.
- Ruecker G., Schad P., Alcubilla M.M., Ferrer C.* Natural regeneration of degraded soils and site changes on abandoned agricultural terraces in Mediterranean Spain // *Land Degrad. Dev.* 1998. Vol. 19. P. 488–501.
- Sanchez-Maranon M., Soriano M., Delgado G., Delgado R.* Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change // *Soil Sci Soc. Am. J.* 2002. Vol. 66. P. 948–958.
- Sandor J.A.* Ancient agricultural terraces and soils // *Footprints in the Soil: People and Ideas in Soil History / B.Warkentin (Ed.)*. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 505–534.
- Sandor J.A., Eash N.S.* Ancient agricultural soils in the Andes of southern Peru // *Soil Sci Soc. Am. J.* 1995. Vol. 59. P. 170–179.
- Sandor J.A., Gersper P.L., Hawley J.W.* Prehistoric agricultural terraces and soils in the Mimbres Area, New Mexico // *World Archaeol.* 1990. Vol. 22. P. 70–86.
- Scalenghe R., Bonifacio E., Celi L., Ugolini F.C., Zanini E.* Pedogenesis in disturbed Alpine soils // *Geoderma*. 2002. Vol. 109. P. 207–224.
- Schnurer J., Clarholm M., Rosswall T.* Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents // *Soil Biol. Biochem.* 1985. Vol. 17. P. 611–618.
- Selbmann L., Zucconi L., Ruisi S., Grube M., Cardinale M., Onofri S.* Culturable bacteria associated with Antarctic lichens: affiliation and psychrotolerance // *Polar Biology*. 2010. Vol. 33. P. 71–83.
- Shi T., Reeves R.H., Gilichinsky D.A., Friedmann E.I.* Characterization of viable bacteria in Siberian permafrost by 16S rDNA sequencing // *Microbiol. Ecology*. 1997. Vol. 33. P. 169–179.

- Simpson I.A., van Bergen P.F., Perret V., Elhmmali M.M., Roberts D.J., Evershed R.P.* Lipid biomarkers of manuring practice in relict anthropogenic soils // *The Holocene*. 1999. Vol. 9. P. 223–229.
- Sjöberg A.* Phosphate Analysis of Anthropogenic Soils // *J. Field Archaeology*. 1976. Vol. 3, № 4. P. 447–454.
- Skujins J.J.* Extracellular enzymes in soil // *Crit. Rev. Microbiol.* 1976. Vol. 4. P. 383–421.
- Spohn M., Novák T.J., Incze J., Giani L.* Dynamics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus in calcareous soils after land-use abandonment — A chronosequence study // *Plant Soil*. 2016. Vol. 401. P. 185–196.
- Springob G., Kirchmann H.* C-rich sandy Ap horizons of specific historical land-use contain large fractions of refractory organic matter // *Soil Biol. Biochem.* 2002. Vol. 34. P. 1571–1581.
- van der Wal A., van Veen J.A., Smant W., Boschker H.T.S., Bloem J., Kardol P., van der Putten W.H., de Boer W.* Fungal biomass development in a chronosequence of land abandonment // *Soil Biol. Biochem.* 2006. Vol. 38. P. 51–60.
- Vishnivetskaya T.A., Petrova M.A., Urbance J., Ponder M., Moyer C., Gilichinsky D.A., Tiedje J.M.* Bacterial community in ancient Seberian permafrost as characterized by culture and culture-independent methods // *Astrobiology*. 2006. Vol. 6. P. 400–414.
- Wardle D.A.* Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystems // *Functional Ecology*. 1993. Vol. 7. P. 346–355.
- Wardle D.A.* Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices // *Advances Ecol. Res.* 1995. Vol. 26. P. 105–185.
- Wardle D.A., Ghani A.* Critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development // *Soil Biol. Biochem.* 1995. Vol. 27. P. 1601–1610.
- Wells E.C., Terry R.E., Parnell J.J., Hardin P.J., Jackson M.W., Houston S.D.* Chemical analyses of ancient anthrosols in residential areas at Piedra Negras, Guatemala // *J. Archaeol. Sci.* 2000. Vol. 27. P. 449–462.
- Widgren M.* Settlement and farming systems in the early Iron Age. A study of fossil agrarian landscapes in Östergötland, Sweden. Stockholm: Almquist & Wiksell Int, 1983. 132 p. (*Acta Universitatis Stockholmensis, Stockholm Studies in Human Geography*; 3).
- Wilkinson K., Stevens C.* Environmental archaeology. Approaches, techniques, applications. Tempus, 2008. 314 p.

- Wilkinson T.J.* The definition of ancient manured zones by means of extensive shred-sampling techniques // *J. Field Archaeol.* 1982. Vol. 9. P. 323–333.
- Wilson C.A., Davidson D.A., Cresser M.S.* Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation // *J. Archaeol. Sci.* 2008. Vol. 35. P. 412–424.
- Zaragoza R., Guerrero C., Mataix-Solera J., Scow K.M., Arcenegui V., Mataix-Beneyto J.* Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain // *Appl. Soil Ecol.* 2009. Vol. 42. P. 315–323.
- Zvyagintsev D.G., Gilichinsky D.A., Khlebnikova G.M., Fedorov-Davydov D.G., Kudryavtseva N.N.* Comparative characteristics of microbial cenoses isolated from permafrost rocks of different age and genesis // *Microbiology (English translation of Mikrobiologiya).* 1990. Vol. 59. P. 332–338.

Научное издание

**Чернышева Елена Владиславовна,
Борисов Александр Владимирович,
Коробов Дмитрий Сергеевич**

**Биологическая память почв
и культурных слоев
археологических памятников**

Утверждено к печати Ученым советом
Института физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН и Ученым советом Института археологии РАН

Подписано к печати 23.10.16
Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная 1,80 г/м²
Гарнитура Таймс Кириллик. Печать офсетная.
Уч.-изд. 17,3 л. Усл.-печ. 15,5 л. (в том числе 0,5 л. цв. вкл.)
Тираж 300 экз.
Тип. зак. № , Москва

Издательство ГЕОС
125315, Москва, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.
Тел./факс: (495) 959-35-16, (499) 152-19-14, 8-926-222-30-91
e-mail: geos@yandex.ru
www.geos-books.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного электронного оригинал-макета
в ООО «Альянс “Югполиграфиздат”», ООО «Ориана»
400001, г. Волгоград, ул. КИМ, 6. Тел.: (8442) 26-60-10, 97-49-40