

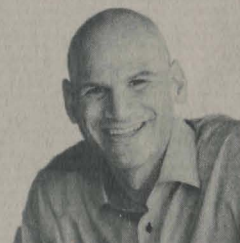
Дэвид Абрахам

Элементы

СИЛЫ

Гаджеты, оружие и борьба
за устойчивое будущее
в век редких металлов

1																	2																																														
H																	He																																														
3	Li	4	Be												5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne																																					
11	Na	12	Mg												13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																																					
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr																												
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe																												
55	Cs	56	Ba	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn
87	Fr	88	Ra	89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Uub	113	Uut	114	Uuq	115	Uup	116	Uuh	117	Uus	118	Uuo



Дэвид Абрахам — специалист по стратегии

в области природных ресурсов.

В настоящее время возглавляет Центр редких материалов и материалов для технологий и электронного оборудования.

Пишет для *The New York Times*

и *The Los Angeles Times*.

David S. Abraham

The Elements of Power

Gadgets, Guns, and the Struggle
for a Sustainable Future in
the Rare Metal Age

YALE UNIVERSITY PRESS
NEW HAVEN AND LONDON

Дэвид Абрахам

ЭЛЕМЕНТЫ СИЛЫ

Гаджеты, оружие и борьба
за устойчивое будущее
в век редких металлов

Перевод с английского

Елены Бондал

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНСТИТУТА ГАЙДАРА

МОСКВА · 2019

УДК 669:338
ББК 65.305.2
А16

Абрахам, Д.

A16 Элементы силы. Гаджеты, оружие и борьба за устойчивое будущее в век редких металлов [Текст] / пер. с англ. Е. Бондал. — М. : Изд-во Института Гайдара, 2019. — 336 с.

ISBN 978-5-93255-553-8

Наше будущее держится на ряде элементов, о которых многие из нас никогда не слышали. В этой удивительной и информативной книге Дэвид Абрахам рассказывает, что такое редкие металлы и почему наши электронные гаджеты, мощнейшие системы вооружения и будущее нашей планеты зависят от них. Эти металлы стали «строительными кирпичиками» современного общества. Их свойства являются ключевыми почти для всех наших электронных, военных и «зеленых» технологий. Но их растущее использование не обходится без экологических, экономических и геополитических последствий.

Абрахам прослеживает невидимые пути этих элементов от шахт до наших домов, с отдаленных холмов Китая до покрытого льдом Финского залива, предлагая живой взгляд тех, кто производит редкие металлы, торгует ими и не представляет себе жизни без них. Он утверждает, что эти материалы играют все более значительную роль в мире и придают силу странам и компаниям, которые способны обеспечить устойчивые поставки.

Так же как нефть, железо и бронза произвели революцию в свое время, то же самое сейчас делают и эти металлы. Сложные задачи, которые раскрывает эта книга, и решения, которые она предлагает, делают ее обязательной к прочтению в наш век редких металлов.

THE ELEMENTS OF POWER: GADGETS, GUNS, AND THE STRUGGLE FOR A SUSTAINABLE FUTURE IN THE RARE METAL AGE

© 2015 by David S. Abraham

Originally published by Yale University Press

© Издательство Института Гайдара, 2019

ISBN 978-5-93255-553-8

Содержание

Предисловие	7
1. Металлы, повсюду металлы	14
2. Национальные сражения: минеральные жилы и боевые рубежи	35
3. Проблемы компаний: монополии и меры по стимулированию инвестиций	63
4. Проблемы производства: кислотный душ и утечка талантов	102
5. Торговые сети: контрабандисты и перебои в поставках	129
6. Потребности технологий: все становится электронным	164
7. Требования окружающей среды: «зеленые» редкие металлы	193
8. Военная экономика: твердые и «умные» металлы	226
9. Устойчивое использование: последствия для окружающей среды в эпоху редких металлов	252
10. Война за таблицу Менделеева	281
11. Как достичь процветания в век редких металлов	309

Предисловие

МЫ НЕЗАМЕТНО вошли в новую эпоху — век редких металлов. Для создания вещей, которыми мы пользуемся ежедневно, от смартфонов до машин, требуется множество с большим трудом добываемых металлов, соединяемых между собой все более сложным образом. Эта книга показывает, откуда возникают эти компоненты, на которых зиждется фундамент нашего общества, каким путем они к нам приходят и какое воздействие оказывают на окружающую среду. Я написал эту книгу в надежде, что читатель задумается о степени нашей зависимости от этих металлов и придет к осознанию того, что наши технологии, как и наша экономическая и климатическая безопасность, обходятся нам недешево. От того, как мы собираемся расплачиваться, зависит наше будущее, и это то, что многим из нас нужно понять.

Чтобы прийти к такому пониманию, я проследил весь путь редких металлов от шахты до гаджета и от гаджета до его переработки после окончания срока службы. Я общался с японскими белыми воротничками в прокуренных ресторанах на задворках Токио, ел баранину и пил пиво с китайскими чиновниками в стилизованных монгольских юртах, месил грязь вместе с шахтерами у берегов Суматры в Индонезии и посещал заводы бывшего советского секретного города, где когда-то обрабатывали уран для ядерного оружия. Но хотя мне и довелось побывать в некоторых самых суровых точках планеты, мое официальное исследование началось в гораздо более

скромном месте — в министерстве экономики, торговли и промышленности Японии в 2010 году.

В то время я был внешним научным сотрудником в Совете по международным отношениям и работал в небольшом кабинете на одиннадцатом этаже министерства. Хотя с моей колокольни было мало что видно, мне все же довелось воочию наблюдать одну из самых великих битв прошлого за азиатские ресурсы. Во время территориального спора в Южно-Китайском море Китай прекратил экспортировать в Японию некоторые редкие металлы, называемые редкоземельными элементами. Я был свидетелем того, как Япония стремительно капитулировала перед многочисленными притязаниями Китая и как разыгрывался новый геополитический козырь. Битва за ресурсы, которая началась, когда первый человек научился добывать металл из камня, превратилась в широкомасштабное сражение — войну за периодическую таблицу.

Мой интерес к редким металлам изначально был связан с геополитикой. В течение нескольких лет я исследовал связь природных ресурсов и геополитики в компании с Уолл-стрит, специализирующейся на продаже энергоресурсов, и в отделе природных ресурсов Административно-бюджетного управления Белого дома. Кроме того, я был менеджером некоммерческой организации, которая занималась проблемами воды в Африке. Я изучал сырьевые товары, потребляемые в больших количествах, и понял, что небольшой мир редких металлов гораздо более сложный, хотя и не пользуется таким пристальным вниманием, как другие сырьевые ресурсы — нефть, газ и уголь.

Мои исследования в десятках стран и встречи с сотнями шахтеров, брокеров, ученых и политиков вскоре привели меня к пониманию, что геополитическая напряженность — это только одна из преград на пути к удовлетворению сырьевых потребностей Соединенных Штатов. Наши каналы поставок редких металлов, которые обеспечивают доставку

нужного металла нужного качества в нужное место, в нужное время и по нужной цене, необычайно эффективны, но при этом ненадежны, а растущий мировой спрос продолжит испытывать их на прочность. Наше высокотехнологичное «зеленое» общество покоится на шатком основании.

Об экономических и социальных последствиях наших международных каналов поставок написано немало. Пресса пестрит статьями о ненадлежащем обращении с рабочими на заводах и фабриках и о невыносимых условиях труда. Деловые журналы проводят расследования на тему того, какие страны получают прибыль от глобализированной цепи поставки наших электронных гаджетов. Даже вопросы электронного мусора, поступающего со всего мира и сжигаемого в Африке и Азии, стали освещаться повсюду.

Все эти материалы используются в книге при рассмотрении цепочки поставок редких металлов, которые делают нашу сегодняшнюю жизнь возможной. Эти металлы пронизывают наше существование, позволяя строить новые, более высокие здания, а телевизорам — показывать яркую картинку. А поскольку эти металлы крайне важны и для наших «зеленых» технологий, они служат семенами нашего устойчивого будущего, но мы, как общество, знаем о них очень мало. Они глубоко запрятаны в наших промышленных товарах и внешне неотличимы от более известных металлов вроде алюминия и железа. У каждой эпохи свои ресурсы: железо породило оружие; уголь, нефть и природный газ дали свет и энергию. Сегодня многие из нас даже не осознают, насколько для нас важны такие редкоземельные элементы, как индий и вольфрам. Эти редкие металлы составляют, пожалуй, одну из самых плохо освещенных областей, несмотря на огромные экономические и геополитические преимущества, которые, как мы увидим далее, они дают.

Во мраке неизвестности и секретности находятся не только сами эти металлы. Компании, которые

их используют, часто отказываются говорить об этом, прикрываясь патентами и ссылаясь на коммерческую тайну. Даже те, кто занимает высокие посты во многих высокотехнологических компаниях, ничего не знают о материалах, вокруг которых строится их деятельность.

Несмотря на выявленные мной весьма непривлекательные черты этой отрасли — незаконная торговля, не самые совершенные методы добычи и вред, наносимый окружающей среде при обработке металлов, — большинство людей, занятых в этом бизнесе, можно назвать порядочными. Они стараются создать комфортную жизнь для себя и своих семей. Но по сравнению с другими знакомыми мне отраслями над миром редких металлов нависает туман секретности, а это, в свою очередь, не слишком способствует доверию к ней. Добыча и продажа этих металлов находятся в рамках закона, но для того, чтобы добиться успеха в этой сфере, нужно следовать русской поговорке «Доверяй, но проверяй».

Поэтому одной из самых серьезных проблем при написании этой книги было отсутствие достаточно количества надежных статистических источников. Сложно было найти факты, поддающиеся проверке, и часто факты оказывались чьими-то догадками, которые при многократном повторении начинали восприниматься как истинные. Информация, подаваемая в популярных медиа, может быть далека от достоверной. Статистика о размерах рынка заметно разнится в зависимости от источников информации в отрасли. Даже правительственные данные о торговле ненадежны. К примеру, данные Китая об экспорте редкоземов в Японию и японская статистика импорта редких металлов практически никогда не совпадают. В этой ситуации отсутствие статистики может быть таким же говорящим фактом, как и сами данные статистики. Интервью с осведомленными источниками и время, проведенное в шахтах по всему миру, имели неоценимое значение для вос-

полнения пробелов в моем знании, но они неизбежно могут быть отражением только моего взгляда.

В своем желании добраться до самой истины я старался быть правдивым в отношении настроений, которые я наблюдал на рынке, и стремился быть беспристрастным. Тем не менее цифры могут быть скорее оценочными, чем актуальными. А достоверность фактов и информации о деятельности на черном рынке во многом лежит на совести самих его участников, так что эти данные могут быть необъективными. Допущения, которые я делаю, — мои собственные. Я старался сделать вещи простыми, в частности, путем стандартизации терминов, где это возможно. Я также старался использовать принятые в этой отрасли меры измерения: металлы продаются в унциях, бутылках, фунтах и килограммах. Статистические данные в этой книге настолько актуальны, насколько они были таковыми на момент ее написания, но поскольку такие данные в этой отрасли публикуются нечасто, они могут быть менее достоверными, чем этого бы хотелось.

На протяжении всего текста я использую термин «редкий металл» для обозначения металлов, добываемых в малых количествах, обычно не более нескольких тысяч тонн ежегодно. Их используют, скажем так, нечасто. Однако есть также металлы, которые являются редкими в географическом смысле (такие, как теллур), и другая группа металлов под названием «редкоземельные металлы», которые, хотя и не синонимичны термину «редкие металлы», являются их подмножеством. Было сложно подобрать термин, который отражал бы ограниченное использование этих металлов по сравнению с другими, но в то же время подчеркивал их важное значение.

Я также употребляю термин «малый металл» (*minor metal*), который является стандартным в отрасли описании металлов, производимых в ограниченном объеме, и недавно возникшее словосочетание «критический материал», который синонимичен «редкому металлу». Меня утешает тот факт, что металлопро-

мышленность на самом деле не может похвастаться большими успехами в вопросе наименования металлов. Термин «драгоценные металлы» относится к серебру, но не к тем металлам, которые в действительности могут быть более драгоценными, как, например, германий или тербий. Я также использую термин «кислоты» как сокращенное название для комплекса химикатов, применяемых в обработке металлов, но он также включает в себя эмульгаторы, флокуляторы и другие агенты.

Эта книга не является завершенным проектом. Я закончил ее в начале 2015 года. О переработке, обработке и научных свойствах редких металлов можно рассказать гораздо больше. Я писал эту книгу как наблюдатель, занимающийся экономикой, поэтому некоторым читателям может не хватать научных деталей. Естественно, есть люди, которые посвящают всю свою карьеру изучению свойств какого-то одного элемента, минералогии какой-то одной руды и процессу рафинирования какого-то одного металлического порошка.

Я надеюсь, что эта книга не только познакомит вас со скрытыми составляющими наших высоких, «зеленых» и военных технологий, но и с персонажами и историями, стоящими за ними, и что она объяснит роль редких металлов, включая редкоземельные элементы, в наших промышленных товарах и опишет, как будущий спрос на эти товары может влиять на формирование глобальной экономики и геополитики. Эта книга выходит в свет именно в тот момент, когда редкие металлы приобретают все более критическое значение для высоких, «зеленых» и военных технологий. Но, несмотря на их важность, они остаются непонятыми. Подобно тому как машины сделали нефть основным ресурсом для современного общества, многие неизвестные металлы также способны преобразовать товары, в которых они используются. Это означает, что рынок редких металлов нуждается в более пристальном внимании.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Я также надеюсь, что по мере чтения этой книги вы задумаетесь о мощи и потенциале этих элементов, а также о том, насколько глубоко они уже пронизывают вашу жизнь. Надеюсь, вы увидите, что способность использовать мощь редких металлов — например, для производства смартфонов — настолько же впечатляющая, как и сами смартфоны. Не будет преувеличением сказать, что судьба планеты и наше устойчивое будущее, в котором технологии смогут свободно достигать миллиардов людей, пока не имеющих к ним доступа, зависит как от уровня нашего понимания и производства редких металлов, так и от нашей способности избегать связанных с ними конфликтов.

Металлы, повсюду металлы

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ директор корпорации Microsoft Стив Балмер был настроен скептически: «У iPhone нет никаких шансов получить сколько-нибудь значительную долю рынка. Никаких шансов», — предсказывал Балмер на Форуме генеральных директоров (CEO Forum) перед началом продаж iPhone в июне 2007 года. Однако к концу первой недели продаж почти все полки в магазинах были пустыми. Компания Apple совместно с партнером AT&T реализовала сотни тысяч телефонов. Всего за несколько месяцев компания завоевала 20% рынка смартфонов.¹

Для тех, кто провел несколько дней в очередях у магазинов Apple, чтобы первыми получить новые телефоны, или заплатил сотни долларов другим, чтобы те стояли в очередях за них, iPhone был революцией, воплощением мечты. Хотя смартфоны существовали уже несколько лет, телефон Джобса, по их убеждениям, должен был стать самым «умным». Кто-то в прессе назвал его «телефон-Иисус» из-за почти религиозных

1. David Lieberman, «CEO Forum: Microsoft's Ballmer Having a „Great Time“», *USA Today*, April 29, 2007, usatoday30.usatoday.com/money/companies/management/2007-04-29-ballmer-ceo-forum-usat_N.htm; Jacqui Cheng, «The Truth about the iPhone's Sales Numbers», *Ars Technica*, January 2008, arstechnica.com/apple/2008/01/the-truth-about-the-iphones-sales-numbers/; Connie Guglielmo, «Apple iPhone Sold Out at Most Stores after Four Days (Update3) — Bloomberg», July 3, 2007, www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=a7A4BDWusr2U; Statista, «Apple iPhone: Global Sales 2007–2015, by Quarter», 2015, www.statista.com/statistics/263401/global-apple-iphone-sales-since-3rd-quarter-2007/.

страстей, окружавших его выпуск, и слепой веры в то, что новый гаджет Джобса станет не только лучшим телефоном, но и товаром, который изменит будущее.²

Сейчас это уже стало историей — в телефоне не было кнопок с цифрами и физической клавиатуры. Вместо этого iPhone стал первым серийным продуктом, в основе которого лежал стеклянный мульти-тач — многофункциональный экран, позволяющий использовать жесты нажатия, смахивания и сведения или разведения пальцев, — функции, без которых сейчас стало невозможно представить себе отправку электронных писем, ориентацию в пространстве и вызов такси. Сам Джобс комментировал это так: «Его работа подобна магии».³

Хотя креативный талант Джобса не вызывает сомнений, на кону стояло нечто гораздо большее. За многообразием новых возможностей и впечатляющим, но в то же время простым дизайном телефона скрывалась главная отличительная черта iPhone — причина того, почему мощное устройство может удобно лежать в вашей ладони, — в нем содержится почти половина элементов земного шара.⁴

Благодаря этим элементам наши устройства становятся все меньше и все мощнее. «Магической» стеклянную поверхность телефона делает крупница ред-

-
2. Paul Kedrosky, «The Jesus Phone», *Wall Street Journal*, June 29, 2007, www.wsj.com/articles/SB118308453151652551; Brian Lam, «The Pope Says Worship Not False Idols: Save Us, Oh True Jesus Phone», *Gizmodo*, December 26, 2006, gizmodo.com/224143/the-pope-says-worship-not-false-idols-save-us-oh-true-jesus-phone.
 3. Fred Vogelstein, «And Then Steve Said, „Let There Be an iPhone“», *New York Times*, October 6, 2013, www.nytimes.com/2013/10/06/magazine/and-then-steve-said-let-there-be-an-iphone.html?page-wanted=all; Steve Jobs, «Steve Jobs: Complete Transcript of Steve Jobs, Macworld Conference and Expo, January 9, 2007», *Genius*, January 9, 2007, genius.com/Steve-jobs-complete-transcript-of-steve-jobs-macworld-conference-and-expo-january-9-2007-annotated/.
 4. Helen Walters, «A Sputnik Moment for STEM Education: Ainissa Ramirez at TED2012», TED Blog, March 2, 2012, accessed November 2, 2014, blog.ted.com/2012/03/02/a-sputnik-moment-for-stem-education-ainissa-ramirez-at-ted2012/.

кого металла индия, который осуществляет невидимую связь и служит прозрачным проводником между телефоном и вашим пальцем. Напыление европия и тербия дает оттенки бриллиантового красного и зеленого на экране, частицы тантала регулируют мощность в телефоне, а литий сохраняет энергию, которая делает телефон мобильным. Без редких металлов не обходится и производство компонентов iPhone: церий используется для полировки стекла на молекулярном уровне.

Конечно, iPhone вовсе не был первым или единственным товаром, зависящим от редких металлов. На самом деле есть очевидная связь между возросшим использованием редких металлов и продажами продукции Apple и других производителей, начавшими около тридцати лет назад. Но стремление Джобса делать гаджеты маленькими и мощными привело к тому, что его компания начала собирать все больше элементов из периодической таблицы Менделеева и доставлять их массам. Более того, коммерческий успех iPhone изменил наши ожидания от гаджетов. Он дал импульс развитию новых отраслей, включая мобильные приложения и планшеты, сделав редкие металлы неотъемлемым компонентом не только смартфонов, но и множества новых технологий. Джобс не только выполнил свое обещание заново изобрести телефон, он также помог заново изобрести каналы поставок мировых ресурсов. И в процессе этого он способствовал наступлению новой эры — века редких металлов.

Редкие металлы находятся везде (действительно везде) — от парящих мостов до наушников. Они — в диванах, объективах камер, компьютерах и машинах. Но они редко используются сами по себе или в качестве основных материалов. В сущности, редкие металлы подобны дрожжам в пицце. Они важны в малых количествах. Без дрожжей не будет пиццы, а без редких металлов не будет высокотехнологичного мира.

Мы мало знаем о них, потому что никогда не покупаем их напрямую, как делаем это с другими товарами, такими как бензин или кукуруза. Редкие металлы спрятаны в компонентах, без которых не обходится практически ни один гаджет — например, редкоземельный постоянный магнит. Хотя рынок постоянных магнитов составляет сегодня около 15 млрд долларов, если сложить вместе все отрасли, которые зависят от этих магнитов, — автомобильную, медицинскую и военную, — сумма достигнет триллионов долларов.⁵

Если перефразировать слоган химической корпорации BASF, редкие металлы не делают продукты производства, которые мы покупаем, они делают продукты производства, которые мы покупаем, меньше, быстрее и мощнее.⁶ Они сделали iPhone Джобса тоньше, функциональнее и мобильнее. И все это благодаря тому, что каждый редкий металл обладает своими собственными характеристиками, которые служат определенным функциям. Например, он может быть пластичным (индий), ковким (ниобий), токсичным (кадмий), радиоактивным (торий) или магнитным (кобальт), или он может плавиться у вас

-
5. T. E. Graedel, E. M. Harper, N. T. Nassar, and B. K. Reck, «On the Materials Basis of Modern Society», in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ed. William C. Clark, www.pnas.org/content/early/2013/11/27/1312752110.full.pdf, December 2, 2013, doi:10.1073/pnas.1312752110; Allied Market Research, «Permanent Magnet Motor Market Is Expected To Reach \$45.3 Billion, Global, By 2020», January 7, 2015, accessed April 7, 2015, www.alliedmarketresearch.com/press-release/permanent-magnet-motor-market-is-expected-to-reach-45-3-billion-global-by-2020-allied-market-research.html; Metal-Pages, «Rapid Growth in Permanent Magnet Market, Worth \$18 Billion by 2018», September 2, 2013, accessed December 7, 2014, www.metal-pages.com/news/story/73460/rapid-growth-in-permanent-magnet-market-worth-18-billion-by-2018.
6. «В BASF мы не делаем множество продуктов, которые вы покупаете. Мы делаем множество продуктов, которые вы покупаете, лучше». Слоган немецкого производителя химической продукции конца 1990-х — удачный способ для описания многих малых металлов. См.: www.youtube.com/watch?v=ZJHPpsb_FzM.

в руке (галлий). И подобно персонажам из комикса «Люди Икс», у них у всех есть свои суперспособности. Тербий дает более яркие цвета в телевизоре, диспрозий и ниодим обладают невероятно сильными магнитными свойствами, сурьма устойчива к огню.

Среди элементов периодической таблицы около двух третей составляют металлы и металлоиды — такие элементы, как кремний, которые обладают характеристиками и металлов, и неметаллов и наиболее ценны из-за своих полупроводниковых свойств. В шахтах ежегодно добываются миллионы тонн самых широко известных металлов, таких как медь и цинк, которые называются «недрагоценными металлами» (base metals). Другие, такие как золото и серебро, в течение многих веков считались ценными, и отсюда их именование «драгоценные металлы» (precious metals).

Практически все остальные металлы попадают в категорию редких. Их определяющей чертой является то, что они потребляются в малых количествах, поэтому они «редкие» в сравнении с недрагоценными металлами. В среднем в мире ежегодно потребляются сотни или тысячи тонн отдельных редких металлов — объем производства в год каждого из них может поместиться в нескольких грузовых вагонах. Для сравнения: каждый год добывается около 1,4 млн тонн меди. По данным Геологической службы США, если суммировать ежегодное потребление всех металлов, которые считаются редкими, то полученные цифры будут намного меньше, чем количество ежегодно потребляемой меди. Пометка «редкий» не означает, что всех этих металлов мало в геологическом смысле. Многие из них довольно много. Другие встречаются в больших количествах, но редко в достаточно высокой концентрации, чтобы их добыча была прибыльной. Еще больше осложняя вопрос наименования, некоторые профессионалы в этой отрасли называют их «передовыми» или «технологичными», из-за того что они используются главным образом в элек-

тронике. Другие называют их «стратегическими» или «критическими» из-за их незаменимости. Те, кто торгует этими материалами, напротив, именуют их «малыми». В этой книге я употребляю все эти слова как взаимозаменяемые. (Я также использую термин «материалы» вместо «металлов», потому что во многих случаях речь идет о продаже не чистых металлов, а их менее очищенных производных.)⁷

Редкие металлы также включают в себя редкоземельные элементы — семнадцать атомарно подобных металлов, которые привлекли к себе международное внимание в 2010 году, когда из-за страхов перед китайским монополистическим контролем производства и ограничением экспорта цены на них взлетели почти в десять раз. Редкоземельные элементы — это просто подмножество редких металлов, но они имеют схожие рыночные черты. К примеру, многие редкие металлы, такие как редкоземельные, обязательно подвергаются сложной очистке. Кроме того, ими чаще торгуют на черном рынке, а не на открытых биржах, как в случае с другими видами сырья, например с нефтью.

Если давать им названия — непростая задача, то установить, какой металл является редким, еще сложнее. Даже у Торговой ассоциации малых металлов — организации, торгующей этими металлами, — нет стандартного определения. По ее подсчетам в на-

7. Midwest Railcar Corp., «Gondola-100 Ton-52'6», accessed April 1, 2015, www.midwestrailcar.com/equipGondola100-525.html; Copper Development Association, *Annual Data 2014 Copper Supply & Consumption: 1993–2013*, 1st ed., e-book (New York, 2014), available at www.copper.org/resources/market_data/pdfs/annual_data.pdf; Periodic Table, «What Is Iron?» accessed December 26, 2014, www.periodic-table.org.uk/element-iron.htm. Проблема с термином «малый металл» состоит в неясности его обозначения. Если бы «малый металл» действительно описывал объемы производства, то его следовало бы называть «редкий металл» или более точно «металл ограниченного производства». «Малый металл», скорее, описывает то, чем металл не является, чем то, что он есть, как во фразе «это не драгоценный металл».

H ¹																He ²																			
Li ³		Be ⁴												B ⁵		C ⁶		N ⁷		O ⁸		F ⁹		Ne ¹⁰											
Na ¹¹		Mg ¹²												Al ¹³		Si ¹⁴		P ¹⁵		S ¹⁶		Cl ¹⁷		Ar ¹⁸											
K ¹⁹		Ca ²⁰		Sc ²¹		Ti ²²		V ²³		Cr ²⁴		Mn ²⁵		Fe ²⁶		Co ²⁷		Ni ²⁸		Cu ²⁹		Zn ³⁰		Ga ³¹		Ge ³²		As ³³		Se ³⁴		Br ³⁵		Kr ³⁶	
Rb ³⁷		Sr ³⁸		Y ³⁹		Zr ⁴⁰		Nb ⁴¹		Mo ⁴²		Tc ⁴³		Ru ⁴⁴		Rh ⁴⁵		Pd ⁴⁶		Ag ⁴⁷		Cd ⁴⁸		In ⁴⁹		Sn ⁵⁰		Sb ⁵¹		Te ⁵²		I ⁵³		Xe ⁵⁴	
Cs ⁵⁵		Ba ⁵⁶		La ⁵⁷		Hf ⁵⁸		Ta ⁵⁹		W ⁶⁰		Re ⁶¹		Os ⁶²		Ir ⁶³		Pt ⁶⁴		Au ⁶⁵		Hg ⁶⁶		Tl ⁶⁷		Pb ⁶⁸		Bi ⁶⁹		Po ⁷⁰		At ⁷¹		Rn ⁷²	
Fr ⁸⁷		Ra ⁸⁸		Ac ⁸⁹		Rf ⁹⁰		Db ⁹¹		Sg ⁹²		Bh ⁹³		Hs ⁹⁴		Mt ⁹⁵		Ds ⁹⁶		Rg ⁹⁷		Uub ⁹⁸		Uut ⁹⁹		Uuq ¹⁰⁰		Uup ¹⁰¹		Uuh ¹⁰²		Uus ¹⁰³		Uuo ¹⁰⁴	
Ce ⁵⁸		Pr ⁵⁹		Nd ⁶⁰		Pm ⁶¹		Sm ⁶²		Eu ⁶³		Gd ⁶⁴		Tb ⁶⁵		Dy ⁶⁶		Ho ⁶⁷		Er ⁶⁸		Tm ⁶⁹		Yb ⁷⁰		Lu ⁷¹									
Th ⁹⁰		Pa ⁹¹		U ⁹²		Np ⁹³		Pu ⁹⁴		Am ⁹⁵		Cm ⁹⁶		Bk ⁹⁷		Cf ⁹⁸		Es ⁹⁹		Fm ¹⁰⁰		Md ¹⁰¹		No ¹⁰²		Lr ¹⁰³									

РИС. 1. Перечень малых металлов
Торговой ассоциации малых металлов

стоящий момент торгуются 49 редких металлов, как показано на рис. 1. Всего тридцать лет тому назад, когда производители покупали их в совсем небольших объемах, их было восемь. (Многие представители отрасли даже между собой не могут договориться, что является редким металлом, и спорят, должен ли определенный металл называться таковым.)

Но пусть отсутствие исчерпывающего термина или небольшие объемы производства не заставят вас недооценить их экономическую и геополитическую важность. Благодаря этим небольшим количествам металлов произошли невероятные технологические изменения. Редкие металлы являются фундаментом нашей современной высокотехнологичной, «зеленой» и военной промышленности. Редкие металлы имеют такое же трансформирующее действие, как нефть и уголь. И они будут привлекать к себе не меньше внимания, чем ископаемое топливо, а это означает, что те, кто контролирует и управляет их производством и сбытом, получают огромную экономическую и геополитическую выгоду. И все же, в отличие от нефти или угля, их запасы зачастую гораздо более ограничены, а их месторождения находятся

всего в нескольких местах на земле. Многие из них обладают настолько уникальными свойствами и действиями, что их нельзя заменить более дешевыми или более функциональными альтернативами. Наша зависимость от редких металлов — не только абстрактный геополитический вопрос или тема, касающаяся исключительно материаловедения. Она потенциальный источник конфликта. Но так было не всегда.

Всего лишь 150 лет назад почти все материалы в доме каждого человека происходили из близлежащего леса или карьера. К 1960-м годам, с развитием путей поставок и благодаря возросшему спросу на потребительские бытовые товары, в обычном американском доме использовалось около двадцати элементов. С тех пор материаловеды провели бесшумную революцию, трансформировав продукты производства, которые нам служат, и материалы, которые позволяют им работать. В 1990-х годах компания Intel использовала всего пятнадцать элементов для создания компьютерных чипов, сейчас ей требуется почти шестьдесят.⁸

Неподготовленному наблюдателю трансформации в нашей продукции покажутся несущественными. Например, современные лампы испускают свет, только слегка отличающийся от своих предшественников. Но за этим небольшим изменением в цветовом оттенке скрывается огромное изменение в ресурсах. В то время как внутри лампочки Эдисона была простая металлическая нить накаливания, сегодняшние лампы LED больше похожи на компьютерное оборудование, которое приводят в действие галлий, индий и редкоземельные элементы.⁹ Благодаря этому новому

8. R. Eggert, «Strategic and Critical Minerals Policy: Domestic Minerals Supplies and Demands in a Time of Foreign Supply Disruptions», testimony before the Subcommittee on Energy and Mineral Resources, Committee on Natural Resources, U. S. House of Representatives, Washington, DC, May 24, 2011. Оценки автора.

9. U. S. Geological Survey, «Byproduct Metals and Rare-Earth Elements Used in the Production of Light-Emitting Diodes—Overview

набору элементов и их приложений, современные товары выглядят гораздо более изящными, чем прежде. В 1980-х годах, когда Майя Лин, автор Мемориала ветеранам войны во Вьетнаме в Вашингтоне, спросила Стива Джобса, почему он делает громоздкие компьютеры вместо плоских, он ответил, что ждет развития технологий, которые позволят их построить.¹⁰ В действительности он ждал наступления времени, когда материаловеды смогут раскрыть свойства редких металлов, которые помогли бы создать плоский экран.

Наши сегодняшние индивидуальные потребительские решения наряду с технологиями, которые мы используем каждый день, имеют значительные последствия для запасов редких металлов. К сожалению, мы мало задумываемся об этой связи между нами и этими ресурсами. Хотя редкие металлы существовали всегда, многие из них были открыты в последние несколько сотен лет, а некоторые только в прошлом веке. В настоящее время компании используют элементы, которые еще несколько десятилетий назад ученые считали простыми примесями. За последние тридцать пять лет горнодобывающие компании произвели в четыре раза больше многих (если не всех) редких металлов, чем с самого возникновения цивилизации вплоть до 1980 года.¹¹

Именно свойства редких металлов, например таких, как неодим и диспрозий, содержащихся в компонентах наших гаджетов, создают фундамент для новых сервисов, которые революционизировали

of Principal Sources of Supply and Material Requirements for Selected Markets: U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012–5215» (Reston, VA, 2012), available at pubs.usgs.gov/sir/2012/5215/.

10. Walter Isaacson, *Steve Jobs* (New York: Simon and Schuster, 2011); Уолтер Айзексон, *Стив Джобс* (М.: АСТ, 2015).

11. C. Hagelüken, R. Drielsmann, and K. Ven den Broeck, «Availability of Metals and Materials», in *Precious Materials Handbook*, Ulla Sehrт and Matthias Grehl, 10–35 (Hanau-Wolfgang, Germany: Umico AG, 2012).

нашу жизнь. СМИ осыпают почестями изобретателей из Кремниевой долины, но нашим технологическим существованием мы обязаны не только им. Именно благодаря росту числа технологий, основанных на редких металлах, в наших карманах, работают различные сервисы от Google до Alibaba. Благодаря тому, что такое большое число людей имеют смартфоны, возникают новые рынки. Но без десятков лет работы безымянных горнодобывающих инженеров, металлургов и материаловедов Uber и Facebook никогда не стали бы брендами, знакомыми всем. (Поэтому вряд ли стоит искать иронию в том, что в 1980-х годах Джобс купил дом горнодобывающего инженера и металлурга, который заработал свое состояние за пятьдесят лет до него.¹²⁾)

Эти цифровые технологии, основанные на редких металлах, трансформировали не только то, как мы путешествуем, общаемся и совершаем покупки, но и наши ожидания. Мы привыкли, что с каждым годом технологии становятся дешевле, доступнее и совершеннее и что их способности гораздо шире, чем многие из нас когда-то себе представляли. Хотя многочисленные возможности наших новых гаджетов несут в себе вероятность снижения использования сырьевых материалов, — все-таки iPhone это и компьютер, и книга, и музыкальный плеер, — реальность такова, что в сумме мы используем намного больше ресурсов. Мы не осознаем этого, потому что мало обращаем внимания на то, какими сложными становятся наши гаджеты изнутри. Кроме того, мы не понимаем всю хрупкость путей поставок, на которых держатся наши привычки. Многие из нас просто ждут новой версии iPhone и выстраиваются в очереди, чтобы его купить. Мало кто понимает удивительные свойства редких

12. Michael Wolff, «Michael Wolff: Uber Invades the World», *USA Today*, June 14, 2014, www.usatoday.com/story/money/columnist/wolff/2014/06/14/the-rise-of-uber/10417655/; Brian Lam, «The Life of Steve Jobs», *Gizmodo*, August 24, 2011, gizmodo.com/5301470/the-life-of-steve-jobs-so-far.

металлов, благодаря которым маленькие и мощные устройства стали настолько недорогими, что миллиарды людей могут их себе позволить. Редкие металлы сегодня лежат в основе нашего стиля жизни. В действительности целые направления производства, такие как разработка приложений, и фундаменты многих экономик построены на них.

Посмотрите, какое влияние оказал телефон Джобса: продажи iPhone достигли таких высот, что, по утверждению аналитиков, ВВП США и Тайваня, где производятся многие его компоненты, увеличился на полпроцента. И это восстановило успех Apple. К 2012 году на продажи iPhone приходилось более половины выручки компании. Добавьте к этому iPad, его родного брата, и окажется, что 75% выручки компании происходит из технологии iPhone. Это изобретение позволило компании Apple сдвинуться с восьмьдесят пятой позиции в рейтинге самых больших компаний в мире и всего за пять лет стать крупнейшей компанией, опередив ExxonMobil. Превосходство Apple над ExxonMobil отражает новую реальность: мир быстро становится в той же степени зависимым от редких металлов, в какой он зависит от нефти.¹³

Когда-то общество было поделено так, что 20% самых богатых исторически потребляли более 80% ресурсов. Или, как описал это в 2008 году антрополог Джаред Даймонд, каждый житель развитой страны потреб-

13. Michael Feroli, «Economics Web Note», Morgan Markets, J. P. Morgan, September 10, 2014, mm.jpmorgan.com/EmailPubServlet?doc=GPS-938711-o.html&h=-825pgod; Mian Ridge, «iPhone 6 to Boost Taiwan's GDP», Beyondbricks Blog, September 2, 2014, blogs.ft.com/beyond-bricks/2014/09/02/iphone-6-to-boost-taiwans-gdp; Apple, Form 10-K, October 31, 2012, files.shareholder.com/downloads/AAPL/3721939736xox756594/71AB3488-9710-44D4-B161-197F330FC39A/SEC-AAPL-1193125-12-444068.pdf; *Financial Times* Global 500 companies in 2007, accessed January 10, 2015, www.ft.com/cms/s/0/ad53b3b2-2586-11dc-b338-000b5df10621.html; *Financial Times* Global 500 companies in 2012, accessed January 10, 2015, im.ft-static.com/content/images/a81f853e-ca80-11e1-89f8-00144feabdco.pdf.

лял в тридцать два раза больше материалов, чем житель развивающейся страны.¹⁴ Когда бóльшая часть мира жила в развивающихся странах, казавшиеся бесконечными ресурсы стекались в самые богатые страны. Но ситуация стала меняться — не потому, что богатые потребляют меньше, а потому, что все стали потреблять больше. Частично это происходит из-за того, что богатые страны приспособились к высокотехнологичному стилю жизни, не заботясь о повторном использовании пришедших в негодность или надоевших вещей. Они стали примером для остального мира, не задумываясь о последствиях для мировых ресурсов.

Когда мои исследования привели меня в Джакарту (Индонезия), я был поражен количеством кранов, возвышающихся над пустыми бетонными корпусами. Эти будущие небоскребы парили над чуть более низкими, возведенными всего несколькими годами ранее. Эти новые здания станут домами для богатеющих, «вертикально мобильных» индонезийцев, которые хотят жить современной технологической мечтой со всеми сопутствующими атрибутами. Жители Индонезии немногим будут отличаться от миллиардов других людей в развивающихся странах от Южной Америки до Китая, которые идут навстречу к такому же ресурсонасыщенному существованию. Это означает, что мировой спрос на металлы, особенно редкие, будет расти по мере того, как эти страны будут двигаться по уже проторенному пути экономического развития. Поскольку люди переходят от земледелия на более оплачиваемые работы в городах, что требует строительства мостов, линий метро и новых электростанций, вырабатывающих электричество для зарядки смартфонов и ноутбуков, спрос на металлы резко возрастает.

Сколько еще потребуется? Никто не знает. Но можно провести аналогию с ростом потребления стали.

14. Jared Diamond, «What's Your Consumption Factor?» *New York Times*, January 2, 2008, www.nytimes.com/2008/01/02/opinion/02diamond.html?pagewanted=all.

В Южной Корее спрос стали на одного человека увеличился в пять раз, когда индивидуальный доход корейцев вырос с 2000 до 20000 долларов. Похожая ситуация и в Китае: страна потребляла около 1 килограмма стали на человека, когда 30% населения проживало в городах, но когда в городских районах стало проживать 50% населения, потребление выросло до более чем 5 килограммов на человека, необходимых в основном для строительства инфраструктуры. Поскольку к 2030 году Китай планирует переселить 70% населения в города, стране понадобится еще больше стали. Для городской инфраструктуры нужно больше редких металлов, а более богатый город может позволить себе больше гаджетов, поэтому спрос на редкие металлы возрастет.¹⁵

Учитывая наши темпы производства редких металлов и модели потребления, нам не будет хватать диспрозия для производства магнитно-резонансных томографов. Иттрий критически важен для военных радаров, а вольфрам — для бурильных установок в нефтедобыче. С появлением новых высокотехнологичных изобретений потребность в расширении наших ограниченных каналов снабжения только усилится, а значит, на кону стоят будущие поставки материалов для наших гаджетов. Многочисленные правительственные и экспертные исследования, проведенные в последнее время, указывают на риск дефицита в следующем десятилетии и далее. По мнению Американского химического общества, на протяжении следующего столетия запасы сорока четырех из девяноста четырех элементов таблицы Менделеева естественного происхождения могут истощиться. Так

15. Nomura, *Steel Consumption Per Capita (Image)*, May 2012, av.rft-data.co.uk/files/2012/05/steel_percapita_china_ROW_nomura.gif; Magnus Ericsson, *Trends in Metals and Mining*, 1st ed., e-book (London: International Council on Metals and Mining, 2012), available at www.icmm.com/document/4441; Bert Hofman, «How Urbanization Can Help the Poor», *China Daily*, April 17, 2014, www.chinadaily.com.cn/cndy/2014-04/17/content_17439759.htm.

как темпы производства многих элементов увеличатся, чтобы удовлетворить возросший спрос на них, эти выводы вызывают серьезную озабоченность.¹⁶

Будущее наших высокотехнологичных товаров скорее будет зависеть не от пределов возможностей нашего ума, а от нашей способности обеспечить производство их комплектующих. В предшествующие эпохи — железный и бронзовый века — новые элементы открывали путь для казавшихся нескончаемыми новых изобретений. Теперь разнообразие соединений поистине неисчерпаемо. В настоящее время мы являемся свидетелями глубокого изменения в нашем спросе на ресурсы. Никогда в человеческой истории мы не использовали такое количество элементов, в таком количестве соединений и настолько свободных от примесей. Наш изобретательский потенциал вскоре превзойдет наши материальные возможности.

Эта ситуация приходится на важный момент истории, когда мир из всех сил стремится снизить свою зависимость от ископаемого топлива. К счастью, в «зеленых» технологиях, таких как электромобили, ветряные энергетические установки и солнечные батареи, редкие металлы являются ключевыми составляющими. Они помогают превращать естественные ресурсы, например солнце и ветер, в энергию, необходимую для поддержания нашей деятельности. Но если мы не найдем способ решить проблему ограниченных ресурсов, которая стоит перед нами сегодня, мы не сможем развивать альтернативные «зе-

16. В 2012 году Алекс Кинг, глава Института критических материалов США, заявил: «Впервые за сорок лет я испытываю беспокойство относительно того, смогут ли поставки определенных материалов удовлетворить мировой спрос». Alex King, «Welcome Remarks», Second International Workshop on Rare Metals, Boston, November 25, 2012; American Chemical Society, «Endangered Elements», accessed on April 7, 2015, www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/research-innovation/research-topics/endangered-elements.html; John W. Poston Sr., «Do Transuranic Elements Such as Plutonium Ever Occur Naturally?» *Scientific American*, March 23, 1998, www.scientificamerican.com/article/do-transuranic-elements-s-

ленные» технологии, необходимые для замедления климатических изменений.

Сейчас наши потребности вступают в противоречие с нашими возможностями устойчивого производства. Перебои в сложных путях поставок приведут к непредсказуемым последствиям для общества. Новые поставки диспрозия могут ускорить разработку высокоэффективных ветряных двигателей, и, напротив, его недостаток может повысить стоимость гибридных транспортных средств. Не будет преувеличением сказать, что наш подход к использованию редких металлов определит судьбу планеты.

В железном веке новое мощное оружие из железа позволило тем, кто сумел постичь мастерство превращения камня в металл, покорить своих соседей. Сегодня, хотя оружие и изменилось, ситуация во многом остается прежней: тот, кто может использовать элементы, побеждает сильных противников. Разница лишь в том, что если на протяжении истории люди использовали металлы, чтобы сделать оружие, например мечи, прочнее и тверже, то сегодня редкие металлы делают оружие «умнее». Взгляните на новые ракетные комплексы, например израильский «Железный купол», который дает представление о том, чего можно достичь в перспективе.

Когда ракета летит на город в Израиле, система из компьютеров и датчиков в течение миллисекунды принимает решение, когда и куда запустить высокоточную ракету для ее перехвата. К 2014 году «Железный купол», по сообщениям, обезвредил более 85% ракет, направленных на израильские города, сохранив бессчетное число жизней и изменив способы ведения боевых действий.¹⁷

Несколько десятилетий тому назад системы, по-

17. Aljazeera, «Israel Unveils Maritime Version of Iron Dome», October 31, 2014, www.aljazeera.com/news/middleeast/2014/10/israel-unveils-maritime-version-iron-dome-2014103114213369908.html.

добные «Железному куполу», и любые высокоточные ракетные комплексы и даже беспилотные летательные устройства были сюжетом научной фантастики. Сегодня же их технологии базируются на передовых системах управления, радиолокации и компьютерах. И в основании каждого компонента лежат редкие металлы. Хотя компоненты «Железного купола» засекречены, любая такая сложная система сегодня не может обойтись без большого количества редких металлов. Индий используется в экранах ее компьютеров, редкоземы содержатся в хвостовых стабилизаторах, которые направляют полет ракеты, а микрочипы, в состав которых входит множество редких металлов, запускают их процессоры. На этих металлах зиждутся сложные системы вооружения и в конечном итоге — оборона страны.

На протяжении многих лет компании и страны считали свои каналы поставок редких металлов чем-то само собой разумеющимся, не задумываясь, из каких материалов сделаны их промышленные товары. Но в 2011 году конгресс обязал военных США проанализировать цепочки поставок, так как Пентагон не мог установить, какие высокотехнологичные металлы ему нужны.¹⁸ Поскольку материалы, из которых состоят компоненты продуктов производства, стали более разнообразными и сложными, те, кто использует передовую технику, больше не могут позволить себе оставаться в неведении.

Теперь высокопоставленные чиновники и главы корпораций осознают, насколько важны редкие металлы. Более того, попытки овладеть редкими металлами провоцируют войну за периодическую таблицу. По всему миру в офисах от Токио до Вашингтона, в исследовательских и конструкторских лабораториях

18. Alessandro Bruno, «Mark Smith to Turn NioCorp into One of the Top Niobium Producers in the World», *InvestorIntel*, June 23, 2014, investorintel.com/rare-earth-intel/mark-smith-turn-niocorp-one-top-niobium-producers-world/.

ях от Кембриджа (Массачусетс) до Баотоу (Китай) и в центрах стратегического командования разрабатывается новая политика и внедряются исследовательские программы, которые обеспечивают странам доступ к редким металлам. Речь идет не о том, что борьба за малые металлы вот-вот начнется, а о том, что она уже идет и влияет на отношения между странами, как это было с конфликтами за ресурсы в прошлом.

Подобно тому, как холодная война разделила мир на две противоборствующие идеологии, эта новая борьба будет вызывать разногласия между теми, у кого есть доступ к редким металлам, и теми, у кого его нет. Поскольку целые отрасли основаны всего на нескольких редких металлах, перебои в их поставках могут привести к серьезным последствиям для всего мира и дать некоторым странам огромные преимущества. Многомиллиардные компании часто зависят только от одной страны, такой как Конго или Казахстан, или даже от одной определенной шахты из-за одного жизненно необходимого металла. Большинству компаний «сложно, если не невозможно, выяснить происхождение металла», отмечает производитель компьютеров компания Dell. Такое отсутствие прозрачности едва ли может сохраняться в течение долгого времени, учитывая, что компаниям зачастую требуются сотни или тысячи компонентов, а то и больше.¹⁹

Эта книга — единственная в своем роде, которая объясняет, что такое редкие металлы, откуда они бе-

19. Но *status quo* сложно изменить. Как отмечает Томас Гредел, выдающийся профессор материаловедения из Йельского университета: «Вы очень хотите понять, что будет с природно-сырьевыми ресурсами в долгосрочной перспективе, но нам неоткуда взять такую информацию». Thomas Graedel, interview by David Abraham, New Haven, CT, April 8, 2013. Dell, «Addressing Conflict Minerals», accessed April 11, 2015, www.dell.com/learn/us/en/uscorp1/conflict-minerals; Jeremy Hsu, «Gadget Makers Face Shortages of Essential Elements», *Tech-NewsDaily, InvestorIntel*, March 10, 2011, accessed November 2, 2014, www.technewsdaily.com/4911-gadgets-cost-fortune-precious-110216html.

ругся и как используются. По мере изучения этих металлов и кажущихся безграничными возможностями, которые они нам предлагают, мы повстречаемся с шахтерами, инвесторами и материаловедами. Вы разберетесь в сложной сети поставок малых металлов, которая начинается на склоне горы в Чили или в зарослях джунглей в Конго, где люди работают, используя простые лопаты и кирки, а заканчивается на вашем рабочем столе, в вашем кармане или на военной базе.

Мы увидим, как на протяжении прошлого столетия росло значение редких металлов. Подобно тому, как многим странам из-за своей зависимости от нефти пришлось вступить в непростые отношения с богатыми нефтью режимами, теперь страны, богатые металлами, такие как Россия и Китай, получили новые рычаги влияния на своих партнеров. А некоторые уже начали играть мышцами, как Китай в 2010 году, когда страна ограничила экспорт редкоземельных элементов в Японию. Вообще, роль Китая и его контроль над редкими металлами — важная тема этой книги.

Мы проследим путешествие этих материалов от горной породы до металла и увидим, что каналы поставок редких металлов, которые могли бы показаться похожими на каналы поставок железа или нефти, намного сложнее. Зачастую они контролируются несколькими давними поставщиками, а на организацию новых каналов снабжения может уйти больше десятка лет. В результате, хотя высокие цены часто и способствуют увеличению предложения, принципы спроса и предложения не скоординированы по времени. Изобретение новой высокотехнологичной продукции способно создавать такой спрос на ресурсы, который намного превосходит способность поставщиков увеличивать поставки, что ведет к резкому росту цен.

Более того, из-за непомерных затрат на запуск новых проектов, добывающие компании-новички ча-

сто тратят больше времени на поиск финансовых, а не минеральных ресурсов. Однако это только первые трудности. Получение разрешений от регуляторов, разработка методов очистки для добычи металла из руды и прогнозирование спроса может охладить пыл даже самых ловких руководителей добывающих компаний.

Когда компании преодолевают эти препятствия и начинают производить редкие металлы, их материалы попадают к небольшим торговцам, где царит секретность, а надежная доставка ценится на вес золота. Прозрачность рынка выгодна тем, кто производит металлы, и тем, кто их покупает, потому что тогда устанавливаются четкие цены, но это не выгодно тем, кто занимается торговлей. Трейдеры зарабатывают не только на продаже металлов, но и на монополии на информацию. Неопределенность приносит прибыль.

Как мы увидим, будущий рынок сулит таким трейдерам блестящие перспективы, потому что высокотехнологичные продукты становятся дешевле, «зеленые» технологии пользуются спросом, а страны тратят больше на оборону. Распространение дешевых технологий, основанных на редких металлах, идет нога в ногу с растущей покупательной способностью даже у бедных слоев населения. Это может выглядеть сюрреалистично — в местах, где нет чистой воды или заасфальтированных дорог, у людей есть телефоны и телевизоры, тем не менее это одновременно указывает на ростки высокотехнологичного стиля жизни в новых местах.²⁰

По мере роста спроса на редкие металлы важно осознавать экологические и геополитические по-

20. Thomas Fuller, «Mobile Deal in Myanmar Elicits Anger over Religion», *New York Times*, June 28, 2013, www.nytimes.com/2013/06/28/world/asia/mobile-deal-in-myanmar-elicits-anger-over-religion.html?ref=global-home; World Bank, «World Development Indicators», 2014, wdi.worldbank.org/table/2.8.

следствия наращивания объемов производства. Хотя общее влияние от производства редких металлов на окружающую среду невелико по сравнению с производством традиционных видов сырья, в пересчете на килограмм (или фунт) это воздействие гораздо сильнее из-за большого количества химических веществ и энергозатрат, необходимых для очистки металлов. А в некоторых странах при ненадлежащем контроле процессов производство редких металлов может быть разрушительным для соседних территорий. Несмотря на экологические проблемы, такие страны, как Китай, все же идут на риск, поскольку производство редких металлов сулит экономические и геополитические выгоды, которые раньше приносили более традиционные товары. Как мы увидим, некоторые страны, такие как Япония и Германия, перестраивают свое поведение для обеспечения надежности поставок редких металлов.

Задача — наладить эффективное производство и использование редких металлов и вместе с тем создать устойчивую цепь поставок. Это то, что мы можем сделать, только если будем одновременно осознанно относиться к потреблению и всерьез задумаемся над тем, как преодолеть возникающие препятствия, как это рассматривается на последних страницах данной книги. Иначе мы повторим ошибки прошлого: однажды мы отвели взгляд от проблем, связанных с зависимостью от ископаемого топлива, а сейчас рискуем проигнорировать опасность оказаться в сильной зависимости от недостаточности ресурсов. И на горизонте уже вырисовываются сложные задачи, которые потребуют от нас решения, особенно когда мир все больше ощущает зависимость от очень редких металлов из крайне удаленных мест.

Национальные сражения: минеральные жилы и боевые рубежи

НА ПРОТЯЖЕНИИ своего тридцатиодно-летнего правления президент Заира Мобуту Сесе Секо занимался разграблением природных богатств страны. Он тратил миллиарды долларов на роскошную жизнь для себя и на подарки своим приспешникам. В 1978 году, спустя почти тринадцать лет после прихода к власти, когда повстанцы из Анголы при поддержке СССР захватили провинцию Катанга, известную своими залежами кобальта, и выступили против режима Мобуту, он немедленно послал военных на подавление мятежа.

Из-за последующего противостояния практически весь мир столкнулся с перебоями в поставках кобальта. Цена этого редкого металла, необходимого для производства постоянных магнитов в электродвигателях и огнеустойчивых сплавах в двигателях самолетов, менее чем за год взлетела с 10 до более чем 60 долларов за фунт. Производители дрались за поставки. При таких высоких ценах поставщикам было выгодно доставлять серебристо-голубой металл от изготовителей по воздуху, хотя традиционно кобальт перевозили по морю.¹

1. Alan Cowell, «Zaire's Bloody Past Makes Cobalt's Future Uncertain», New York Times, August 30, 1981, www.nytimes.com/1981/08/30/weekinreview/zaire-s-bloody-past-makes-cobalt-s-future-uncertain.html; Congressional Budget Office (CBO), Cobalt: Policy Options for a Strategic Mineral (Washington DC, 1982), available

Распространялись слухи о более серьезных геополитических баталиях, разворачивающихся за пределами африканских джунглей. За несколько месяцев до захвата повстанцами Катанга Советский Союз купил в Конго крупную партию кобальта для своих военно-промышленных нужд. Этот ход удивил многих торговцев металлом и одновременно вызвал опасения в правительственных кругах, особенно в Соединенных Штатах, чье снабжение кобальтом на 40% зависело от Заира. По другим слухам, Советы хотели взять под контроль мировой рынок кобальта, накапливая запасы и создавая серьезные трудности для американской промышленности. Несколько лет спустя государственный секретарь Александр Хейг заявил, что Советский Союз начал войну за ресурсы, а Заир был первым сражением.²

Некоторые отрасли, например производители красок, которые использовали кобальт в качестве красителя, отказались от его применения, поскольку было легко найти ему замену. Другие пытались перестроить свое производство так, чтобы исключить из него кобальт, но это зачастую означало использование менее эффективных материалов и приводи-

at www.cbo.gov/sites/default/files/cbofiles/ftpdocs/51xx/doc5126/doc29-entire.pdf.

2. Bohumil Volesky, *Biosorption of Heavy Metals* (Boca Raton, FL: CRC Press, 1990). «[Советы] отчетливо понимали, что должно произойти» — так говорил тогда Луф Лубетт, бывший глава Торговой ассоциации малых металлов: Bernard D. Nossiter, «Soviets Reportedly Bought Up Cobalt before Zaire Invasion», *Washington Post*, May 24, 1978; Gary Thatcher, «South Africa How Vital to the West?» *Christian Science Monitor*, December 16, 1980, www.csmonitor.com/1980/1216/121627.html/%28page%29/3; Robert D. Hershey Jr., «U. S. Weighs Subsidizing of Strategic Minerals», *New York Times*, June 13, 1981, www.nytimes.com/1981/06/13/business/us-weighs-subsidizing-of-strategic-minerals.html. Конгрессмен Джим Сантини отмечал: «Советский Союз вошел на арену международных ресурсов, вооруженный стратегией противостояния, которая уже не ограничивается экономической конкуренцией, но еще не дотягивает до обычного военного конфликта». Thatcher, «South Africa How Vital to the West?»

ло к завышенным ценам на низкокачественные товары. Сокращение поставок встревожило авиационную отрасль и военных, поскольку у тех не было замены для кобальтовых сплавов в новых реактивных двигателях и других областях.³ Но, возможно, самой большой проблемой стало использование кобальта в постоянных магнитах.

С момента первого использования в 1960 году постоянные кобальтовые магниты быстро нашли военное применение, например, в микроволновых системах связи.⁴ На протяжении следующего десятилетия они стали использоваться в небольших двигателях благодаря малому размеру и разнообразию форм, которые они могли принимать. Постоянными магнитами пользуются и разработчики систем благодаря их способности поддерживать постоянный заряд в течение длительного периода времени без потери энергии. В то время никто не знал, можно ли найти замену кобальту, и если да, то какую.

В том, что военные конфликты наносят ущерб торговле полезными ископаемыми, нет ничего удивительного или нового. Но неожиданным было то, что небольшое волнение в далекой стране вызвало хаос в крупнейших мировых компаниях, лишив их большей части поставок, на первый взгляд, незначительного металла. Битва за кобальт выявила слабость жизненно важных каналов поставок для военных, которые к тому времени оказались зависимыми от редких металлов. К счастью для них, Мобуту вскоре восстановил контроль над шахтами, и одновременно с этим в результате общемировой рецессии произошло снижение спроса на кобальт и падение цен

3. СВО, *Cobalt: Policy Options for a Strategic Mineral*; U. S. Congress, Office of Technology Assessment, *Strategic Materials: Technologies to Reduce U. S. Import Vulnerability* (Washington, DC, 1985), OTA-ITE-248, available at www.princeton.edu/~ota/disk2/1985/8525/8525.PDF.

4. «High Anisotropy Field Layer Production Process», *Tech Journal*, www.tdk.co.jp/techjournal_e/volo8_hal/contentso2.htm.

на него. Тем не менее этот конфликт привел к попыткам найти замену кобальту.⁵

Широкое использование редких металлов, производимых в нестабильных районах, как в случае с Заиром, может быть недальновидным шагом, но то, что кажется близоруким решением для дипломата, для материаловеда может быть гениальным. То, из каких компонентов должны состоять наши устройства, зависит от способности того или иного материала решать технические задачи, а не от его доступности.

Именно это случилось, когда, примерно за пять лет до конфликта в Конго, Масато Сагава начал работать младшим исследователем в японском электронном гиганте — компании Fujitsu. Хотя во время своей учебы в докторантуре он не проявлял большого интереса к магнитам и тем более к кобальту, в Fujitsu его задачей было совершенствование слабого самарий-кобальтового магнита. Работая над этим проектом, молодой ученый настолько увлекся магнитами, что стал задерживаться в лаборатории допоздна, чтобы лучше понять их состав.

Он знал, что сам по себе кобальт не может создать постоянный магнит, но его смесь с редкоземельным элементом самарием может. Самарий способен формировать уникальную кристаллическую атомную структуру, которая позволяет объединить небольшие магнитные поля отдельных атомов. Это создает сильный постоянный магнит.

Сагава считал, что сможет применить ту же теорию к созданию постоянного магнита из железа и более распространенного редкозема неодима. С этим новым магнитом можно было бы избежать проблем

5. В начале 1980-х годов Военно-морские силы США и компания General Motors также искали новые альтернативы кобальту в магнитах. Jan Herbst, «Innovation via Insurrection: Nd-Fe-B Permanent Magnets», paper presented at the fiftieth Conference on Magnetism and Magnetic Materials, San Jose, CA, October 30–November 5, 2005.

высоких цен и ограниченных поставок, как в случае с кобальтом и самарием. Он полагал, что такой магнит будет даже мощнее существующих аналогов, поскольку по сравнению с кобальтом железо обладает более сильными магнитными свойствами.⁶ Сагава начал работать над своим магнитом из железа и ниодима в 1976 году, проводя все вечера и выходные за работой и практически не видя своего новорожденного ребенка. Но к январю 1978-го ему все еще не удалось добиться желаемого результата, а преграды казались непреодолимыми.

На одной конференции, которую посетил Сагава, Масааки Хамано, ведущий исследователь в области постоянных магнитов того времени, высказал мнение, что магнит из редкозема и железа, над которым работал Сагава, был невозможен из-за того, что расстояние между атомами железа слишком мало для создания нужного пространства, образующего магнит.⁷ Но это предполагаемое препятствие помогло найти нужное решение: Сагава придумал способ увеличить пространство между атомами, добавив в сплав железа и редкозема бор. Благодаря меньшему размеру атома бор увеличивал молекулярное расстояние между атомами, втискиваясь в пространство между ними.⁸

-
6. Masato Sagawa, interview by David Abraham, Kyoto, Japan, July 20, 2013; C. Claiborne Ray, «Q&A: Magnetic Metals», *New York Times*, May 16, 2006, www.nytimes.com/2006/05/16/science/16qna.html. Из-за своей атомной структуры магниты изготавливаются только из железа, никеля и кобальта. Во всех металлах спин и вращение электронов вокруг атомов материалов создают крошечный электронный заряд. В большинстве атомов электроны вращаются парами в противоположных направлениях, нейтрализуя заряды друг друга. Однако атомы железа, кобальта и никеля имеют непарные электроны, создающие возможность для магнетизма, если эти атомы выстраиваются в линию.
7. Sagawa, interview, July 20, 2013; Masato Sagawa, «Japan Prize Commemorative Lectures», Japan Prize Foundation, 2012, www.japan-prize.jp/data/prize/commemorative_lec_2012_e.pdf.
8. Nicola Jones, «Materials Science: The Pull of Stronger Magnets», *Nature* 472, no. 7341 (2011): 22–23, doi:10.1038/472022a, available at www.nature.com/news/2011/110405/full/472022a.html?WT.ec_id=

Пока в Конго бушевала война, Сагава с новыми силами продолжал свою работу, а неизвестные ему материаловеды в корпоративных и военных лабораториях шли похожим путем, стремясь ослабить мировую зависимость от заирского кобальта.⁹ Но цели Сагава были более скромными: его заботила не конкуренция, а температура.

Магниты привередливы: если они сильно нагреваются и их температура выше точки Кюри, их магнетизм теряется. Магниты Сагава теряли свои магнитные свойства при такой низкой температуре, что это исключало бы их использование в (горячих) двигателях. Сагава быстро обнаружил, что при удалении небольшого количества неодима и добавлении диспрозия магниты сохраняют свой магнетизм на широком диапазоне температур — до 310 °С. Это была достаточно высокая отметка, открывавшая целый спектр потенциальных применений.¹⁰ Он добился своего: создал мощный постоянный магнит без использования кобальта или самария.

Была только одна проблема: диспрозий был еще более редким элементом в геологическом отношении, чем самарий или кобальт, и имел свои, гораздо более серьезные трудности с каналами поставок. Мест его производства было мало. Сагава рассказал мне, что добавление этого элемента в сплав должно было быть временным решением. Он считал, что не стоит полагаться на такой редкий элемент, который в основном производится в Китае.¹¹ Он был прав.

NATURE-20110407. Атомные электроны в магните напоминают армейскую бригаду. Когда они все выстроены и обращены в одном направлении на нужном расстоянии друг от друга, они являются сильной единицей. Но когда атомы разъединены, магнетизм слабый.

9. Stan Trout, telephone interview by David Abraham, November 20, 2014. The U. S. Navy, General Motors, and General Electric were all pursuing similar research.

10. Sagawa, «Japan Prize Commemorative Lectures».

11. Sagawa, interview, July 20, 2013.

7 сентября 2010 года, около 9.30 утра, японское судно береговой охраны в Восточно-Китайском море заметило большой китайский рыболовный траулер недалеко от побережья островов, которые по-японски называются Сенкаку, а по-китайски Дяою. Это был не первый раз, когда китайские суда вторглись в район, находящийся под управлением Японии. На самом деле это стало приобретать характер обычного явления еще в 1978 году, когда тридцать восемь китайских рыболовных судов, часть из которых была оснащена автоматическим оружием, заплыли на спорную территорию.¹²

Японцы не допускают вторжений на острова Сенкаку, поскольку с 1895 года считают архипелаг своей территорией, аннексированной после Японо-китайской войны. Когда кто-то спрашивает японских представителей об этом территориальном споре, они смотрят на задавшего вопрос человека с удивлением: для них территориального конфликта не существует. «Это наша земля», — сказал мне один правительственный чиновник. Для него отвечать на мой вопрос было едва ли не оскорблением: с тем же успехом можно было бы спросить американского дипломата, являются ли Гавайи частью США.

Но еще раньше Китай заявил, что имеет основания считать эти острова своими согласно более давним договоренностям, которые уходят на сотни лет в прошлое.¹³ Обе страны опираются в своих претензиях на разные карты и действуют с таким националистическим пылом, что пространства для маневров и выработки дипломатического решения практиче-

12. Andrew H. Malcolm, «Japanese-Chinese Dispute on Isles Threatens to Delay Peace Treaty», *New York Times*, April 15, 1978.

13. Joseph Ferguson, «The Diaoyutai-Senkaku Islands Dispute Reawakened», *Jamestown Foundation*, China Brief, Volume 4, Issue 3, February 4, 2004, [www.jamestown.org/single/?no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=3623.#.VITF71fF9HF](http://www.jamestown.org/single/?no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=3623.#.VITF71fF9HF); Austin Ramzy, «Japan Releases Chinese Captain, but Tensions Remain», *Time*, September 27, 2010, content.time.com/time/world/article/0,8599,2021625,00.html.

ски не остается. Спор увяз в болоте недопонимания, демонстрации собственного превосходства и беспокойства о ресурсах, учитывая, что неподалеку находятся богатые месторождения полезных ископаемых.

В то утро японское судно под названием *Yonaku-ni* (Йонакуни) остановилось рядом с тридцатисемиметровым китайским траулером и по-китайски через громкоговорители передало сообщение команде: «Вы находитесь в территориальных водах Японии. Покиньте эти воды». Согласно видео, сделанному в тот день и ставшему доступным благодаря одному морскому офицеру, вместо того чтобы покинуть воды, китайское судно развернулось в сторону кормы большого японского катера, толкнуло его и поплыло дальше. Спустя сорок минут другое японское судно остановилось у китайского траулера, на палубе которого в этот раз собралось несколько человек и среди них — сорокаоднолетний капитан с обнаженным торсом и сигаретой в зубах. Вой сирен, требования покинуть территорию и работающая видеокамера не возымели никакого эффекта. Капитан зашел на капитанский мостик и снова направил траулер в сторону японского корабля, стукнув его еще сильнее.¹⁴

Со времен Второй мировой войны японское правительство стремилось компенсировать дипломатические промахи жестким контролем своей территории. Токио справлялся с подобными вторжениями без особой огласки. В подобных случаях Япония либо под конвоем выводила корабли с территории остро-

14. Wei Tian, «Arrest Brings Calamity to Trawler Captain's Family», *China Daily*, September 13, 2010, usa.chinadaily.com.cn/2010-09/13/content_11293724.htm; Yomiuri Shimbun, «Video Shows Clear Hits on JCG Boats», Asia One News, November 6, 2010, news.asiaone.com/News/Latest%2BNews/Asia/Story/A1Story20101106-245993.html; *China Secret Ship Tries to Ram Japan Coast Guard Ship*, YouTube Video, Hamilton's Military Channel, March 19, 2013, www.youtube.com/watch?v=65ozHMEWwmc; sengoku38 コピー転載 流出尖閣衝突ビデオ 4 ; YouTube, 2010. «Sengoku38 コピー転載 流出尖閣衝突» [Copy of the Senkaku collision video], November 4, 2010, accessed December 7, 2014, www.youtube.com/watch?v=YKDG2_osjBs.

вов, либо помещала нарушителей в тюрьму и быстро их депортировала.¹⁵ Но в 2010 году ответ Японии был другим. Демократическая партия Японии, недавно пришедшая к власти, не обладала достаточным опытом в области международных протоколов. Тогда как предыдущая правящая партия, Либерально-демократическая, своими провокационными действиями изрядно потрепала нервы китайскому правительству и за пятьдесят пять лет своего практически непрерывного правления сумела избежать рискованных территориальных конфронтаций.¹⁶

Сначала новое руководство задержало капитана и команду траулера. Спустя несколько дней власти отпустили команду, но планировали отдать капитана под суд. В ответ китайское правительство потребовало немедленного освобождения капитана, задержало четырех граждан Японии в Китае и отказалось от дипломатических переговоров. Поток китайских туристов в Японию пошел на убыль. Конфликт обострялся.¹⁷

21 сентября японские торговые дома сообщили представителям Министерства экономики, торговли и промышленности Японии, что Китай отказывается выполнять заказы японских компаний на редкоземельные элементы, включая ниодим и диспрозий. Практически все эти металлы — важнейшие материа-

15. «Japan Says Activists Must Go to China», *Taipei Times*, March 26, 2004, www.taipetitimes.com/News/world/archives/2004/03/26/2003107798; Andrew H. Malcolm, «Japanese-Chinese Dispute on Isles Threatens to Delay Peace Treaty», *New York Times*, April 15, 1978; Yuki Tatsumi, «Senkai/East China Sea Disputes: A Japanese Perspective», CNA Maritime Asia Project, no. 8–2013, accessed December 7, 2014, www.stimson.org/images/uploads/research-pdfs/Yuki-CNA_paper_8-2013.pdf.

16. Roger W. Bowen and Joel J. Kassiola, *Japan's Dysfunctional Democracy: The Liberal Democratic Party and Structural Corruption* (Armonk, NY: M. E. Sharpe, 2003).

17. Kyung Lah, «China Arrests 4 Japanese against Backdrop of Diplomatic Battle», CNN, September 24, 2010, www.cnn.com/2010/WORLD/asiapcf/09/24/china.japanese.arrests/.

лы для японской отрасли высоких технологий, хорошо известной своим качеством, — производились в Китае.

Пекин не признавал запрета на экспорт и не заявлял, что будет использовать торговлю редкими металлами как политическое оружие. Но ни одна другая страна не сообщала о таких задержках в поставках редких металлов. А китайские власти так никогда и не объяснили, почему все тридцать два экспортера редких металлов страны заморозили торговлю в один день. Запрет экспорта редкоземов был хитрым ходом, если целью Пекина была эскалация политического конфликта между двумя странами без применения силы. Поскольку на долю Японии приходится больше половины всего китайского экспорта редкоземов, прекращение поставок для Японии было намного критичнее, чем для любой другой страны. Токио опасался, что продолжительный запрет будет иметь губительные последствия для японских компаний. Власти беспокоились, что редкоземы — это только начало проблем с Китаем, ведь он является главным мировым производителем двадцати восьми металлов, жизненно важных для японской промышленности.¹⁸

Спустя несколько дней после того, как Китай прекратил экспорт редкоземов, Токио, поддавшись давлению Пекина, освободил китайского капитана. Но потери для Японии и для рынка редких металлов только начались. На протяжении следующих полутора лет цены на редкоземы стали расти, в некоторых случаях на 2000%. Это напряжение показало, что,

18. Keith Bradsher, «Trade Officials Ponder Response to China's Rare Earth Stance», *New York Times*, October 14, 2010, www.nytimes.com/2010/10/14/business/global/14rare.html. Согласно исследованию Британской геологической службы в 2011 году Китай производил более двадцати восьми критических материалов, необходимых миру. В 2012 году служба уменьшила это число до двадцати двух с учетом всех материалов, которые считаются критическими. «British Geological Survey: Risk List 2011», British Geological Survey. www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=2063.

несмотря на свое экономическое мастерство, Япония была все еще чувствительна к перебоям в поставках небольшой горсти малоизвестных металлов, как это случилось тридцать лет назад во время задержек поставок кобальта. Кроме того, эти события выявили слабое место в устройстве магнита Сагава, о чем, как он сам говорил мне, он глубоко сожалел, — когда при создании постоянного магнита он положился на один из наименее распространенных в производстве редкоземельных металлов, диспрозий.¹⁹

Спустя десятилетия после того, как первые магниты Сагава покинули пределы лаборатории, стало ясно, что вместо укрепления каналов поставок и повышения экономической безопасности страны его изобретение всего лишь сделало Японию зависимой от ресурсов не Конго, а Китая, и не от кобальта, а от редкоземельных элементов.

Чтобы понять связь между самими редкими металлами и товарами, используемыми потребителями, я договорился о встрече с Сагава. Подойдя к его дому июльским субботним утром, я заметил, что он меня ждал. И хотя мы никогда не встречались прежде, он приветствовал меня с улыбкой на лице, узнав в высоком человеке с Запада, пробирающемся по извилистым улочкам Киото (города, в котором он жил уже почти тридцать лет), своего гостя. Он провел меня по небольшой тропинке к своему дому, и мы зашли в гостиную. Пока я усаживался, он предложил мне ягодный сок в маленькой пластиковой бутылочке. Озираясь по сторонам, я наткнулся взглядом на стеклянный шкаф, в котором хранилось несколько наград, включая Премию Японии — высшую награду страны, вручаемую ученым со всего мира.

19. Martin Fackler, «Japan Retreats with Release of Chinese Boat Captain», *New York Times*, September 25, 2010, www.nytimes.com/2010/09/25/world/asia/25chinajapan.html?pagewanted=all; General Electric, «Rare Earth FAQs», accessed December 7, 2014, www.gelighting.com/LightingWeb/na/images/GE-Rare-Earth-Materials-FAQ.pdf; Sagawa, interview, July 20, 2013.

Этот семидесятилетний ученый с копной черных, как смоль, волос вполне вписывался в образ профессора, но сохранял энтузиазм тридцатилетнего. Он говорил по-английски с сильным японским акцентом, хотя и не пропускал ни одного слова. По словам Сагава, я был всего вторым иностранцем, попросившим его дать интервью о своей истории, — знак, говорящий о том, что в мире проглядели его достижение. Для него было так важно объяснить свою работу, что он назначил встречу со мной всего за несколько часов до одного из самых значимых событий в своей жизни — свадьбы его единственной дочери.

Сагава положил на обеденный стол зеленый носовой платок и развернул его, чтобы продемонстрировать свое изобретение: двухсантиметровый квадратный сверкающий металлический слиток — постоянный магнит из железа, бора и двух редкоземельных элементов, диспрозия и ниодима. И эти элементы быстро показали, на что они способны.

Он попытался разделить металлический слиток на две части, но тот соединился снова, защемив часть кожи между его указательным и большим пальцами. Как пчеловод, которого только что ужалила пчела, Сагава засмеялся от боли — это часть его опасной работы. Это не обычные магниты, которые вешают на холодильник. Они сильнее более чем в сорок раз. Они настолько сильны, что могут сломать кости. Они выдерживают вес, превосходящий их собственный более чем в тысячу раз, — такая же сила потребуется новорожденному младенцу, чтобы поднять слона.

Сагава попытался снова разделить их, поместив один серебристый блок на противоположную часть руки. Он повертел рукой туда-сюда, но магниты не сдвинулись. Он дал мне на них посмотреть: это был не один слиток, а примерно шесть отдельных сверкающих серебристых кусков, каждый размером около одного квадратного сантиметра. Я положил слиток на стол, и он стремительно проскользнул к моему iPhone. Сагава с беспокойством наблюдал,

как я расцепляю магнит и телефон, и поинтересовался, работает ли мой гаджет. К счастью, он все еще работал. Он сказал, что мне повезло, потому что такие магниты способны стереть память устройства на расстоянии десяти сантиметров, что говорит не только об их мощи, но и о сложности их транспортировки.

Уставившись на этот серебристый слиток, я задумался о его силе. Мельчайшая частица этого редкоземельного магнетического материала заставляет мой телефон вибрировать. В основе звуковой системы телефона тоже находятся редкоземельные элементы. Электромагнит создает разное по напряженности магнитное поле, способное резко притягивать и отталкивать постоянный магнит внутри микрофона. В результате этого возникают вибрации, которые микрофон преобразует в слышимые звуки, такие как рингтон или голос моей мамы.

Красота редкоземельного магнита Сагава в том, что он эффективно превращает электрическую энергию в движение двигателей, что позволяет делать электронику миниатюрных размеров, создавать более чистые, «зеленые» двигатели и более точные системы вооружения. Благодаря своей эффективности эти магниты и входящие в их состав редкие металлы используются почти повсеместно. Они выполняют такие задачи, которые неспециалисту покажутся никак не связанными с магнетизмом, но на самом деле это не так. Редкоземельные магниты участвуют в процессе сохранения информации на жестком диске компьютера, они помогают повысить энергоэффективность кондиционеров и приводят в движение наши гибридные транспортные средства. Открытие Сагава играет невидимую, но важнейшую роль в современном обществе, и это делает его одним из самых значительных изобретателей современности. Однако этот непритязательный человек и его открытие известны лишь ограниченному кругу ученых. Получается, что Сагава, как и редкие металлы и компоненты,

которыми он занимается, прозябают в безвестности. Но в 2010 году ситуация изменилась.²⁰

В настоящее время японские власти гораздо сильнее озабочены зависимостью от Китая и сокращением производства внутри страны, поскольку компании уходят в Китай, чтобы иметь надежный доступ к ресурсам. Опасаясь остаться без китайских редких металлов, Токио выделил Сагава более десяти миллионов долларов, чтобы он устранил диспрозий из своего магнита. К 2013 году Сагава снизил процент содержания диспрозия в магните с 10% до примерно 3%. Но для того чтобы выпустить новый магнит в реальный мир, потребуется еще несколько лет испытаний. Снижение количества диспрозия в каждом магните нельзя назвать долгосрочным решением для восполнения дефицита этого металла, поскольку скромное сокращение было перечеркнуто растущим мировым спросом на постоянные магниты.²¹

Безусловно, Японии хотелось бы создать постоянный магнит без диспрозия, но Сагава и другие ученые полагают, что эта цель недостижима. Сложно найти

20. Arnold Magnetic Technologies Corporation, accessed January 1, 2015, www.arnoldmagnetics.com/Content1.aspx?id=4627; «How Do Speakers Work?» Explore — Physics.Org, accessed January 1, 2015, www.physics.org/article-questions.asp?id=54.

21. EWI, «Rare Earth Materials: Important Industrial Application and Uses», January 2, 2013, accessed December 7, 2014, ewi.org/eto/wp-content/uploads/2013/01/2-Major-Industrial-Uses-S.pdf. В 2013 году компания MarketsandMarkets прогнозировала, что к 2018 году стоимость постоянных магнитов достигнет 18 млрд долларов при темпах роста 8,7% в год. Два года спустя компания Allied Market Research предсказывала рост рынка до 45 млрд долларов к 2020 году. Allied Market Research, «Permanent Magnet Motor Market Is Expected to Reach \$45.3 Billion, Global, By 2020», January 7, 2015, accessed April 7, 2015, www.alliedmarketresearch.com/press-release/permanent-magnet-motor-market-is-expected-to-reach-45-3-billion-global-by-2020-allied-market-research.html; Metal-Pages, «Rapid Growth In Permanent Magnet Market, Worth \$18 Billion by 2018», September 2, 2013, accessed December 7, 2014, www.metal-pages.com/news/story/73460/rapid-growth-in-permanent-magnet-market-worth-18-billion-by-2018; Sagawa, interview, July 20, 2013.

идеальную замену для продуктов естественного происхождения. Карл Гшнейдер, материаловед из Айовского университета, получивший прозвище Господин Редкозем за свое длительное изучение этих элементов, отметил, что поиски альтернативы таким постоянным магнитам продолжаются во всем мире более тридцати лет, но пока не увенчались успехом.²²

Снижение зависимости от китайских редкоземов, конечно, не устранил обеспокоенность Японии и остального мира по поводу ресурсов. Подобно тому, как редкоземы пришли на смену кобальту, любой новый научный прорыв по замене малого металла в каком-то из его применений просто сдвинет спрос в сторону другого металла со своими политическими трудностями и уязвимостями. С приходом новых технологий мир вынужден потреблять все больше и больше малых металлов — с конца 1970-х годов во всем мире спрос на кобальт вырос втрое, что, помимо прочего, увеличивает геополитическую важность этих малых металлов.²³

Как показывает раздор между Китаем и Японией, ресурсная безопасность страны уже не ограничивается только нефтью и газом. Мировые потребности в ресурсах стали шире, и это грозит тем, что малые металлы все чаще будут вызывать конфликты между отдельными богатыми и бедными ресурсами странами, не оставляя в стороне производителей и поставщиков. Американский сенатор Дункан Хантер очень

22. Karl A. Gschneidner Jr., «Neodymium: Supply, Demand, Substitution and Recycling», Critical Materials Flow in an Age of Constraint, U.S. DOE Office of Intelligence, Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2011, accessed December 7, 2014, www.wilson-center.org/sites/default/files/gschneidner_neodymium_supply_demand_substitution_and_recycling.pdf.

23. G. M. Mudd, Z. Weng, S. M. Jowitt, I. D. Turnbull, and T. E. Graedel, «Quantifying the Recoverable Resources of By-Product Metals: The Case of Cobalt», *Ore Geology Reviews* 55 (2013): 87–98, doi:10.1016/j.oregeorev.2013.04.010.

обеспокоен возможностью применения геополитических рычагов странами, богатыми металлами. Они «могут оказывать серьезное влияние на [бедную ресурсами] страну, нападая не на ее баржи, грузовики, корабли и самолеты, а атакуя поставки ее компонентов».²⁴ Это урок, который США хорошо выучили сто лет назад.

Перед началом Первой мировой войны большинство стран не придавало большого значения той роли, которую играли каналы поставок ресурсов в успехе на поле боя. Но поскольку природа сражений изменилась, став более механической и зависимой от тяжелой артиллерии и вооружения, чем от количества солдат и их навыков рукопашного боя, ресурсы заняли свое место на линии фронта. Для нового оружия нужны были недрагоценные металлы, такие как железо, но для того чтобы сделать его более мощным и огнестойким, появилась также необходимость в редких и когда-то неизвестных металлах вроде вольфрама и молибдена. Во время Первой мировой войны вольфрам, используемый для легирования стали, стал настолько важным в военных действиях, что Соединенные Штаты расценивали его экспорт во вражеские страны как измену.²⁵

После войны, в результате нехватки многих малых металлов и других ресурсов, генерал-майор Джеймс Харборд составил список из сорока двух стратегических материалов, включая редкие металлы ванадий, вольфрам и хром, которые, по мнению военного министерства, были критически важными для ведения войны. В то же время Германия, восстанавливающая

24. «Made in China», Dan Rather Reports, episode 213, transcript, bit.ly/1vtWCJD.

25. Alfred E. Eckes, *The United States and the Global Struggle for Minerals*, (Austin: University of Texas Press, 1979); «Smugglers Go to Prison: One Year and \$1,000 Fine for Secreting Tungsten on Swedish Ship», *New York Times*, November 10, 1917, accessed December 7, 2014, timesmachine.nytimes.com/timesmachine/1917/11/10/102647354.html?pageNumber=4.

силы после поражения, расширила металлургические мощности, разрабатывая синтетические альтернативы для материалов и подписывая долгосрочные контракты с горнодобывающими компаниями.²⁶

Перед самым началом Второй мировой войны Чарльз Меррилл, главный инженер Горного бюро США, предостерегал: «Во время войны победа или поражение могут напрямую зависеть от доступности стратегических материалов».²⁷ Соединенные Штаты решили вести борьбу и на ресурсном фронте. Кроме того, правительство запустило программу поддержки исследования и разработки горнодобывающих шахт и строительства заводов внутри страны и стало закупать местные ресурсы для военных действий, в конечном итоге накопив запасы из почти пятидесяти различных минералов.

В конце 1930-х годов американский президент Франклин Делано Рузвельт ввел «моральное» эмбарго, чтобы помешать растущему милитаризму Японии. Он призвал американских производителей ограничить экспорт в Японию комплектующих для самолетов и некоторых редких металлов, таких как молибден, вольфрам и ванадий. Во время войны Вашингтон оказывал давление на своих латиноамериканских соседей, чтобы они не продавали свои ресурсы врагам, и использовал экспорт американской нефти в качестве рычага воздействия на Испанию и Португалию, чтобы те прекратили продажу вольфрама Германии. В то же время Соединенные Штаты потратили около 2 млрд долларов для покупки малых металлов по всему миру, часто вступая в аукционные войны с Германией, взвинчивая цены в десять — двадцать раз по сравнению с ценами мирного времени. К кон-

26. John Pike, «DLA Strategic Materials», Globalsecurity.org, accessed December 7, 2014, www.globalsecurity.org/military/agency/dod/dnsc. Eckes, *The United States and the Global Struggle for Minerals*.

27. «Says US Lacks Vital Minerals for War Use», *Sunday Morning Star*, May 13, 1939, news.google.com/newspapers?nid=2293&dat=19390514&id=Y84mAAAAIWAJ&sjid=bw1GAAAAIWAJ&pg=1129,2797807.

цу войны союзники сумели отрезать доступ нацистам к хрому, вольфраму и другим металлам — достижение, которое, по словам представителя Министерства обороны администрации Рейгана, «остановило военную машину нацистов».²⁸

28. Peter Howlett, «Economic Disasters of the Twentieth Century», *Economic History Review*, ed. Michael J. Oliver and Derek H. Aldcroft 61, no. 2 (2008), doi:10.1111/j.1468-0289.2008.00432_32.x. Ранее Рузвельт объявил, что «моральное» эмбарго против Италии не увенчалось успехом, поскольку американские компании увеличили торговлю с Италией. David Cortright, Peace: *A History of Movements and Ideas* (Cambridge: Cambridge University Press, 2008); Bertram Hulen, «Moral Embargo of Soviet by U.S.; President Assails „Obviously Guilty“—Lie to Molotoff Passed on Bombings», December 2, 1939, accessed December 7, 2014, query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?res=9407E0DA123EE23ABC4B53DFB4678382629ED; Robert Dallek, *Franklin D. Roosevelt and American Foreign Policy, 1932–1945* (New York: Oxford University Press, 1995); R. H. Limbaugh, *Tungsten in Peace and War, 1918–1946* (Reno: University of Nevada Press, 2010), 153; «Hyperwar: U. S. Government Manual-1945», accessed December 7, 2014, www.ibiblio.org/hyperwar/ATO/USGM/EWA.html. Рузвельт основал коммерческую компанию США для покупки редких металлов из нейтральных стран, таких как Турция, Испания и Аргентина. J. B. DeMille, *Strategic Minerals: A Summary of Uses, World Output Stockpiles, Procurement* (New York: McGraw-Hill, 1947); archive.org/stream/strategicmineralo31804mbp/strategicmineralo3180_4mbp_djvu.txt; J. S. McGrath, «International Aspects of War Mineral Procurement», in *Minerals Yearbook 1942*, ed. E. W. Pehrson, 25–34 (New York and London: McGraw Hill, 1943); digidoll.library.wisc.edu/cgi-bin/EcoNatRes/EcoNatRes-idx?type=turn&entity=EcoNatRes.MinYV1942.p0036&id=EcoNatRes.MinYV1942&isize=text; L. Caruana and H. Rockoff, «A Wolfram in Sheep's Clothing: Economic Warfare in Spain, 1940–1944», *Journal of Economic History* 63, no. 1 (March 2003): 100–126. Соединенные Штаты использовали экспорт нефти в Европе в качестве рычага против Испании и Португалии, которые продавали вольфрам в Германию; англичане организовывали военно-морские блокады, чтобы не допустить попадания минералов в Германию; а у Германии были подводные лодки, которые помогали обеспечить поставки вольфрама. Соединенные Штаты и Британия также участвовали в аукционных войнах, чтобы не дать иберийскому вольфраму попасть в руки Германии. Цена на вольфрам выросла с 100 долларов в 1940 году до 20 000 долларов через год. Jerry W. Markham, *A Financial History of the United States* (Armonk, NY: M. E. Sharpe, 2002); *Inquiry into the Operation of the Reconstruc-*

Осознав важность бесперебойного доступа к критическим материалам во время войны, президент Трумэн в 1951 году создал Комитет по сырьевой политике, который разработал программу по обеспечению военных предприятий ресурсами, чтобы они были способны вести конкурентную борьбу на растущем мировом рынке. Эта программа представляет собой самый объемный документ в истории страны, если составить вместе все двенадцать томов ее положений от начала до конца. Американские дипломаты проходили стажировку в новом ведомстве политики цветных металлов по всему миру.²⁹

На протяжении 1960-х годов интерес к критическим материалам в политических кругах оставался высоким, а нефтяной шок 1970-х снова вызвал беспокойство вокруг темы критических ресурсов. Но страхи и тревоги по поводу критических материалов уменьшились во время рецессии начала 1980-х годов, когда наступил период относительного снижения цен, а на некоторые сырьевые товары, такие как нефть, цены сильно упали. Правительства стран За-

tion Finance Corporation and Its Subsidiaries Under Senate Resolution 132, Part 2, hearings before the United States Senate Committee on Banking and Currency, Special Subcommittee to Investigate the Reconstruction Finance Corporation, Eightieth Congress, second session, January 14–16, 22, 1948, p. 1136; «Reich has Plenty of War Minerals», *Montreal Gazette*, January 19, 1942; Associated Press, «Further Cut in Nazi Steel Output Seen as Chrome, Tungsten, etc., Supplies Cut», *Montreal Gazette*, May 8, 1944, bit.ly/1wQrTOL; Robert Hershey Jr., «U. S. Weighs Subsidizing of Strategic Minerals», *New York Times*, June 13, 1981, www.nytimes.com/1981/06/13/business/us-weighs-subsidizing-of-strategic-minerals.html.

29. Комитет должен был изучить «доступность критического сырья для США во время войны» и «рекомендовать методы поощрения разработок для обеспечения доступности поставок такого критического сырья в соответствии с расширяющейся экономикой и безопасностью Соединенных Штатов». Government Printing Office, *Stockpile and Accessibility of Strategic and Critical Materials to the United States in Time of War* (Washington, DC, 1953); National Archives of the United States, *The Code of Federal Regulations of the United States Title 32A, National Defense Appendix* (Washington, DC: Government Printing Office, 1953).

пада почувствовали, что национальная безопасность с точки зрения ресурсов и особенно поставок критических материалов более не актуальная проблема. И президент США Рональд Рейган, и премьер-министр Великобритании Маргарет Тэтчер считали, что, если оставить рынки в покое, предприятия будут распределять ресурсы надлежащим образом. Несмотря на нехватку ресурсов в начале срока своего правления и обеспокоенность по поводу контроля критических материалов со стороны СССР, администрация Рейгана не сочла необходимым субсидировать производство минералов даже для оборонных целей.³⁰

В то же время исследования каналов поставок металлов, проводимые американским правительством, затормозились; политика ресурсной безопасности стагнировала, а в некоторых случаях правительство даже сознательно смягчало ограничения. В период между 1993 и 2005 годами Министерство обороны распродало около 75% своих запасов, подчеркивая уверенность страны в сырьевых рынках.

Это движение к свободной торговле вызвало рост спроса на природные ресурсы. Миллионы потребителей в Китае и бывших советских республиках освободились от ограничений регулируемого рынка и ста-

30. В письме к конгрессу в 1982 году руководитель Административно-бюджетного управления Рейгана заявил, что правительство будет полагаться на рынок для удовлетворения потребностей страны в ресурсах, несмотря на просьбы членов Демократической и Республиканской партий о государственной поддержке внутреннего производства необходимых ресурсов. United Press International, «Reagan Rejects Mineral Subsidies», *Florence Times Tri City Daily*, February 1, 1982. Даже когда в 1985 году лидеры конгресса выпустили четырехсотстраничный доклад о стратегических материалах, нацеленный на снижение уязвимости США в отношении импорта советских и африканских редких металлов, администрация склонялась к тому, чтобы дать рынку работать. *Strategic Materials: Technologies to Reduce U. S. Import Vulnerability* (Washington, DC: Congress of the U. S. Office of Technology Assessment, 1985), available at www.princeton.edu/~ota/disk2/1985/8525/8525.PDF.

ли потреблять наравне с жителями западного мира. Это явилось причиной интенсивного использования малых металлов и вместе с тем вызвало рост цен в середине 1990-х годов. Такие перемены ознаменовали собой конец падения цен, начавшегося десятилетиями ранее.³¹

С ростом числа потребителей и производств по всему миру, которые теперь все больше зависели от редких металлов, богатые ресурсами страны начали хорошо понимать геополитическое и экономическое могущество, обеспечиваемое редкими металлами. Страны вроде Японии, неспособные удовлетворить потребность в ресурсах ни с помощью собственной горнодобывающей промышленности, ни с помощью стабильной безопасной торговли, столкнулись с тем, что из страны стали уходить компании, «забирая» с собой тысячи рабочих мест. Когда речь идет о редкоземлях и других редких металлах, Китай рассчитывает именно на миграцию.

Важность редких металлов и особенно редкоземельных элементов для развития Китая хорошо осознавалась революционным лидером страны Дэн Сяопином. В 1992 году он произнес: «На Ближнем Востоке нефть, в Китае — редкоземы». К тому времени Китай в силу необходимости начал разработку своих месторождений редких металлов. За пятнадцать лет до этого страна стала развивать свои секторы производства и строительства, что привело к растущей зависимости от импорта материалов. Чтобы сократить эту зависимость, Китай увеличил инвестиции в про-

31. В 1990-х годах Управление тыла Министерства обороны США продало значительную часть своих запасов таких металлов за 5,9 млрд долларов. Defense Logistics Agency, accessed December 14, 2014, www.dla.mil/Pages/default_old2.aspx; United Nations Environment Programme, Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth, 2011, www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/decoupling_report_english.pdf.

изводство местных первичных продуктов, включая ископаемое сырье, в основном малые металлы.³²

Часто благодаря невысоким затратам на оплату труда и низким экологическим нормативам производство многих редких металлов обходилось Китаю на 50–60% дешевле. Это быстро открыло международные рынки и обеспечило как поступление иностранной валюты от экспорта, так и стабильные поставки металлов для местных производителей. С целью увеличения экспорта Китай ввел налоговые льготы для своих экспортеров в виде возврата НДС, чтобы еще больше снизить цены для покупателей. Компании в других странах не выдерживали конкуренции с Китаем. В 1980-х годах закрылись вольфрамовые шахты в Германии и Франции, а в 1990-х то же случилось с производителями редкоземов в США. Вскоре низкие цены стали восприниматься производителями как новая реальность. А Китай стал единственным продавцом многих критических металлов, включая редкоземы.³³

Впоследствии Пекин начал проводить более тонкую политику. Китайцы осознали, что продавать руду за границу невыгодно. Имея почти монополистический контроль над добычей большинства редкоземов,

32. Tao Xu, *The Development and Restructuring of China's Metal Mining Industry* (Kingston, ON: Centre for Resource Studies, Queen's University, 1991).

33. Liu Chang, «Changing Nonferrous Market, Nonferrous Metal Review», in Xu, *The Development and Restructuring of China's Metal Mining Industry*. У Китая есть история производства дешевых материалов после Первой мировой войны. Китай производил вольфрам в четыре раза дешевле США и продавал его за границу, чем вызвал недовольство американских шахтеров, когда рынок рухнул. Limbaugh, *Tungsten in Peace and War*; Tatsuo Ota, «Rare Earth Resources and Related Industries in Japan», *Journal of MMIJ* 127, no. 9 (2011): 549; Antony B. T. Werner and W. D. Sinclair, *International Strategic Mineral Issues Summary Report — Tungsten* (Washington: General Printing Office, 1998), accessed December 17, 2014, available at pubs.usgs.gov/pdf/circular/pdf/c930-o.pdf; David O'Brock, interview by David Abraham, Sillamäe, Estonia, January 24, 2013.

Китай стал стимулировать промышленное производство материалов и компонентов из редкоземельных элементов. Со временем цепь поставок редкоземельных элементов оказалась в центре стратегии, в основе которой было строительство высокотехнологичных компаний, создающих рабочие места в стране. Вместо того чтобы экспортировать редкоземельные элементы и способствовать созданию рабочих мест в Японии, Китай хотел строить высокотехнологичные производственные мощности, которые использовали свои собственные ресурсы и нанимали своих собственных граждан.

Для достижения этой цели в начале 2000-х годов Китай отменил стимулы для экспорта редкоземельных элементов и других металлов и ввел экспортные ограничения, в том числе квоты, чтобы остановить отток ресурсов за границу. Из-за более низких цен внутри страны иностранные компании перевозили свои производства в Китай, чтобы иметь неограниченный доступ к его богатой редкоземельной базе ресурсов. Вторя Дэн Сяопину, Гань Юн, глава Китайского общества редких металлов, в 2013 году облек в слова то, что уже давно было китайской политикой: «Настоящая ценность редкоземельных элементов реализуется в конечном продукте».³⁴

Беззастенчивые попытки Китая контролировать всю цепь поставок высокотехнологичных товаров от редкоземельных элементов до конечных продуктов вызывают бес-

34. «China Rolls Over Annual Export Quotas for Antimony, Tungsten, Molybdenum and Indium», Metal-Pages, November 11, 2013, www.metal-pages.com/news/story/75124/china-rolls-over-annual-export-quotas-for-antimony-tungsten-molybdenum-and-indium/. В 2014 году китайские экспортные квоты на малые металлы остались неизменными. «Экспортная квота для индия составляет 231 тонну, квота на молибден — 25 000 тонн. Пекин также установил ежегодную квоту для сурьмы и вольфрама в 59 400 и 15 400 тонн соответственно». Xu, *The Development and Restructuring of China's Metal Mining Industry*. Gan Yong, «Opening Speech», at the seventh International Conference on Rare Earth Development and Application and the second China Rare Earth Summit, Ganzhou, China, August 11, 2013.

покойство у многих. Геральд ван дер Боогаарт описал связанные с этим риски лучше многих других.

Если бы кто-то решил устроить кинопробы на роль немецкого математика, ему, скорее всего порекомендовали бы Боогаарта из Фрайбургского института ресурсных технологий им. Гельмгольца. У него черные с проседью волосы и челка, небрежно спадающая на очки в серебристой проволочной оправе. Он говорит с сильным немецким акцентом и кажется слегка измотанным, хотя излучает уверенность.

Боогаарт — математик, а не эксперт по редким металлам, и его присутствие в качестве докладчика на конференции по критическим минералам в Денвере в 2014 году в Обществе добычи, металлургии и разведки кажется необычным. В докладе под названием «Как будущая интеграция в цепочке создания стоимости редкоземов угрожает глобальной экономике» Боогаарт утверждает, что вскоре Китай станет доминировать в производстве высокотехнологичных товаров от компьютеров до поездов, а также их компонентов. В основе его рассуждений лежит график, на котором изображены четыре параллельные s-образные кривые, направленные вверх. Первые две s-образные кривые на рис. 2 показывают рост мировой доли Китая в добыче редкоземов с конца 1980-х годов, когда страна производила лишь малую часть всех редкоземов в мире, вплоть до начала тысячелетия, когда Китай монополизировал производство. Вторая кривая повторяет похожую траекторию производства редкоземельных материалов Китая, которое несколько лет спустя тоже увеличилось.³⁵

Следующие две s-образные кривые отражают представления Боогаарта о будущем. Одна иллюстрирует растущую глобальную долю Китая в производстве

35. Karl Gerald van den Boogaart, Polina Klossek, and Andreas Klossek, «How Forward Integration along the Rare Earth Value Chain Threatens the Global Economy», at the Society for Mining, Metallurgy and Exploration's Critical Minerals 2014 conference, Denver, August 3–5, 2014.

Доля мирового
рынка, %

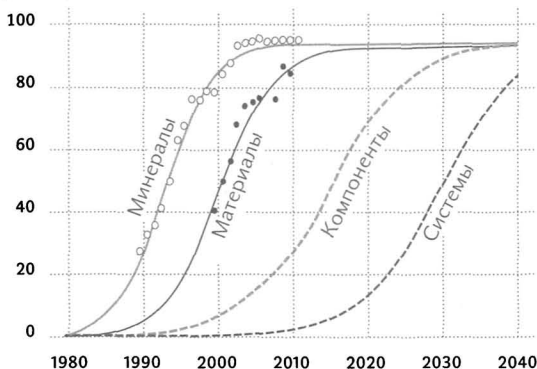


РИС. 2. Рыночная доля Китая в глобальном производстве различных редкоземельных элементов на этапах цепочки создания стоимости редкоземельных элементов с возрастающей стоимостью

Источник: Karl Gerald van den Boogaart, Polina Klossek, and Andreas Klossek, «How Forward Integration along the Rare Earth Value Chain Threatens the Global Economy», paper presented at the 2014 Critical Minerals Conference, Denver, Colorado, August 3–5, 2014. Данные взяты из: Roskill Information Services and Brose Group.

редкоземельных компонентов, а другая — продукты производства, которые будут от них зависеть, в том числе автомобили, ветряные турбины и магнитно-резонансные томографы.

С экономической точки зрения Боогаарт обеспокоен: если редкоземельная отрасль, по его оценкам, приносила выручку в размере 4 млрд долларов в год, каждая из отраслей производства материалов, высокотехнологичных компонентов и пользовательских систем были на порядок прибыльнее — производство этих систем стоит около 4 трлн долларов. По его мнению, китайские власти исходят из простого расчета: если в будущем они могут заработать триллионы,

инвестируя миллиарды сейчас, почему бы им не сделать это?

Боогаарт предсказывает, что в течение следующих нескольких десятилетий каждая высокотехнологичная система — от автомобилей до солнечных панелей — вполне может производиться в Китае, поглощая, таким образом, производственную базу других стран, как это произошло с производством редких металлов.

Изменения уже налицо. За последние десять лет японские отрасли, которые были крупнейшим экспортным рынком для китайских редкоземельных элементов, постепенно перевели производства, зависящие от редкоземельных элементов, в Китай. Майкл Силвер, исполнительный директор компании American Elements (Калифорния) сказал мне: «Мы были свидетелями, как в моем бизнесе огромное количество наших клиентов в конце концов стали строить заводы в Китае для того, чтобы получить доступ к элементам».³⁶ Он добавил, что исторически весь церий и неодим для ламп General Electric поставлялся Соединенными Штатами. «Все это сейчас производится в Китае. Аналогичным образом все крупные производители ветряных турбин перевели свои производства в Китай».³⁷ Японские представители властных структур рассказывают похожие истории.

Китайцы не скрывают этого. В 2011 году, когда китайский вице-премьер Ли Кэцян посетил Японию, он попросил японцев привезти свои технологии в его страну. «У Японии есть высокие технологии, которые можно развивать, используя редкоземельные элементы, — сказал Ли. — Я надеюсь, что компании обеих стран будут способствовать сотрудничеству».³⁸

36. Michael Silver, telephone interview by David Abraham, March 13, 2014.

37. «How Minerals Will Impact Global Geopolitics in the 21st Century», live Webcast of American Elements CEO Michael Silver's address to the New York Mineralogical Club, October 9, 2013, accessed December 14, 2014, www.americanelements.com/presentations2013.html.

38. Chang-Ran Kim, «China Seeks Japan Tech in Rare Earth Deals: Re-

Китай — не единственная страна, которая использует собственные ресурсы для своего развития: Соединенные Штаты вводили запрет на экспорт определенных нефтепродуктов. И другие страны, богатые ресурсами, включая Индонезию, Чад и Зимбабве, тоже вводили ограничения на экспорт. Но Китай — главный игрок на рынке редких металлов, поэтому его политика вызывает беспокойство во всем мире.³⁹ На самом деле проблема Китая в том, что его ограничения на экспорт были нелегальными, по крайней мере так считает Всемирная торговая организация (ВТО). Эти ограничения создали обоснованные преимущества для местных производителей и, по утверждению Европейского союза, «оказали давление на иностранных производителей, которые были вынуждены переводить свои производства и технологии в Китай». Например, в апреле 2014 года цены на редкоземы в Китае были на 34% ниже, чем в остальном мире. В 2012 году США, Япония и ЕС подали в ВТО совместную жалобу, и через два года она была удовлетворена. Это было второе поражение Китая в ВТО относительно политики редких металлов менее чем за три года.⁴⁰

ports», Reuters, September 7, 2011, accessed December 14, 2014, www.reuters.com/article/2011/09/07/us-china-rareearth-japan-idUSTRE7860S920110907.

39. Baris Karapinar, «Export Restrictions on Natural Resources: Policy Options and Opportunities for Africa», World Trade Institute, University of Bern, Switzerland, n. d., [www.wti.org/fileadmin/user_upload/nccr-trade.ch/news/TRAPCA%20Paper%20%28Submitted 1711%29_VK.pdf](http://www.wti.org/fileadmin/user_upload/nccr-trade.ch/news/TRAPCA%20Paper%20%28Submitted%201711%29_VK.pdf).
40. European Union, Mexico, United States vs. China: «China: Raw Materials», World Trade Organization, 2013, www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/1pagesum_e/ds398sum_e.pdf; European Union, «China: Measures Related to the Exportation of Rare Earths, Tungsten and Molybdenum», World Trade Organization Panel Proceedings, October 30, 2012, trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2013/april/tradoc_150806.pdf; «China: Measures Related to the Exportation of Rare Earths, Tungsten and Molybdenum», World Trade Organization, August 29, 2014, accessed December 14, 2014, www.wto.org/english/tratop_e/dispu_e/cases_e/ds431_e.htm;

Многие экономисты считают, что битва за редкоземельные элементы окончена. Китай проиграл дело и изменил торговую политику, а цены на редкоземельные элементы снизились. Но эта война за периодическую таблицу продолжится, и, вероятнее всего, любое поражение Китая в ВТО повлияет только на текущую политику страны, а не на ее долгосрочную стратегию. Поскольку Китай контролирует все больший процент производства редких металлов (он вырос с 29% малых металлов в 2000 году до 40% в 2010-м), риски для тех, кто зависит от редкоземельных элементов и вообще всех редких металлов, производимых в Китае, остаются высокими.⁴¹ Даже если компании и страны перестанут использовать какие-то редкие металлы, как это произошло с кобальтом, им снова предстоит выучить урок, что замена одного на другое не может гарантировать ресурсную безопасность из-за сохраняющейся нестабильности на рынке.

Реальной проблемой для нашего ресурсного будущего могут стать даже не геополитические битвы. Ведь если какая-то страна хочет участвовать в торговле, другие трудности, связанные с обеспечением поставок редких металлов, могут оказаться гораздо серьезнее.

«How Would a Potential Scrapping of the Chinese Export Quota and Tariffs System Impact the Rare Earths Market?» Roskill Briefing Paper, June 2014, accessed December 14, 2014, www.roskill.com/news/how-would-a-potential-scrapping-of-the-chinese-export-quota-and-tariffs-system-impact-the-rare-earths-market.

41. CRU Consulting, «Trends in Capital Expenditure», presentation in Santiago, Chile, April 4, 2011; «Strategic and Critical Materials Report on Stockpile Requirements», Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics, January, 2013, mineralsmakelife.org/assets/images/content/resources/Strategic_and_Critical_Materials_2013_Report_on_Stockpile_Requirements.pdf.

Проблемы компаний: монополии и меры по стимулированию инвестиций

НА ПРОТЯЖЕНИИ веков небольшой бразильский город Араша привлекал гостей своими покрытыми зеленью холмами и термальными, хотя и слегка радиоактивными источниками. В нескольких километрах от центра города, прямо под буйными зарослями на границе с тропическим лесом расположен отель Hotel e Termas de Araxá — жемчужина колониальной архитектуры, он был построен в 1940-х годах бывшим президентом Бразилии для состоятельных местных и иностранных гостей. Комплекс весьма величественный. За исключением правительственных зданий, трехэтажные дома спроектированы в виде ротонды с витражными потолками и черно-белыми мраморными полами. Но вся его пышность осталась в прошлом. Через семьдесят лет после возведения он частично потерял свой блеск: сквозь щели в бетонных плитах тропинок пробивается трава. Когда я останавливался в нем в 2013 году, едва ли даже десятая часть его комнат была занята посетителями.¹

Не только отель, но и сам город Араша потерял свое былое очарование для туристов. Женщина из региональной столицы Белу-Оризонти, с которой

1. Malapronta, «Tauá Grande Hotel e Termas de Araxá em Araxá, MG», accessed December 27, 2004, www.malapronta.com.br/hotel1469-taua-grande-hotel-e-termas-de-araxa.

я познакомился при заселении в гостиницу, жаловалась на отсутствие сколько-нибудь интересной ночной жизни. Она сказала, что по вечерам предпочитает оставаться у себя в номере, когда приезжает сюда по делам несколько раз в месяц.

Правда в том, что туризм, несмотря на более продолжительную и романтическую историю в этом месте, несколько десятков лет назад проиграл горной промышленности. Местный геолог на мой вопрос, что ценнее, отель или минералы под землей, ответил: «Конечно, минералы». Над отелем террасами нависают рельефные неестественно красивые холмы. Их линии грациозно проходят сквозь склоны, в натуральную величину демонстрируя топографическую карту давно исчезнувших холмов, которые в течение десятилетий были изуродованы горными работами. Величественность отеля теперь выглядит некстати. Несмотря на внутреннее противоречие между туризмом и горной добычей, существующих бок о бок, обе эти отрасли здесь по одной и той же причине: кальдера.

Бывший вулкан, который произвел горячие источники, оставил после себя и солидное наследство минералов. Магма, просачивающаяся сквозь континентальную кору, образовала минеральный комплекс, богатый ниобием, редкоземельными элементами и фосфатами. В 1955 году в Араше были основаны Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (СВММ), самая большая в мире компания по добыче мягкого гранитно-серого металла ниобия, а также ее сосед меньшего масштаба — Vale Fertilizantes, дочерняя компания горнодобывающего гиганта Vale, который занимается добычей фосфатов для производства удобрений. Араша — одно из немногих мест, в которых я побывал, где экотуризм и горная добыча гармонично сосуществуют друг с другом. Отношения между защитниками окружающей среды и шахтерами продолжают оставаться, мягко говоря, напряженными.

Напротив отеля на другой стороне парковки стоит добротное пятиэтажное здание кремово-розово-

го цвета. Несмотря на вывеску «Отель Колombo» над входом, в нем нет жилых помещений. Несколько лет назад в связи с сокращением потока туристов этот отель был превращен в административное здание. Местные власти, стремящиеся капитализировать минеральные богатства региона, планируют использовать это здание в качестве технологического центра, чтобы привлечь научных исследователей и производителей. Прогрессивный мэр делает ставку на горнодобывающее будущее города, а в туристической отрасли не слышно явных протестов. В настоящее время рабочие места и экономика города связаны с шахтами, а не с отелем — город получает около 80% доходов от горной добычи. Компании СВММ повезло: у нее не слишком много противников.²

Однако в других местах шахты встречают большое сопротивление. Даже в горнодобывающем районе Колорадо, куда туристы едут посмотреть на старые шахты, открытию новых шахт, особенно радиоактивных, сопутствуют немалые сложности. Шахте компании СВММ повезло, потому что она старше большинства людей в городе и развивалась вместе с ним. Время — это преимущество, которого нет у новых шахт. Вопрос защиты окружающей среды — лишь одна из бесчисленных проблем на пути новых горнодобывающих компаний. Они вынуждены следовать правительственным законам, подчиняться суровому климату и скупым финансовым рынкам. Но подчас самая большая преграда состоит в том, что копать можно только там, где есть ресурсы, которые можно добыть.³

Несмотря на то что большинство малых металлов во всем мире содержатся в таких количествах, кото-

2. Araxá town officials, interview by David Abraham, Araxá, Brazil, May 13, 2013.

3. Nicholas Riccardi, «Mining Towns Not All Happy with This Boom», *Los Angeles Times*, October 1, 2008 articles.latimes.com/2008/oct/01/nation/na-mine1.

рые способны удовлетворить спрос на сотни лет, их редко можно найти в достаточно высоких концентрациях, чтобы обеспечить прибыльную добычу. Как и в случае с нефтью, некоторым регионам посчастливилось иметь богатые залежи, дающие им преимущества на рынке. Нефтяные аналитики отмечают, что положение Саудовской Аравии, на долю которой приходится 16% запасов и чуть более 10% мирового производства, всегда являлось настолько доминирующим, что страна исторически определяла цены на нефть. Но в секторе редких металлов концентрация добываемых полезных ископаемых, как правило, гораздо выше, а соответственно, высок и контроль над ними. К примеру, местное правительство города Лэншуйцзян в китайской провинции Хунань контролирует около 60% мирового производства сурьмы.⁴

Полагаться на одну страну и, в частности, на одну шахту — рискованное дело. Стихийные бедствия, политические изменения или конфликты, подобные тем, что мы наблюдали в Конго, могут в одночасье вызвать перебои в поставках. Сосредоточенность запасов в одном месторождении — причина того, почему многие в этой отрасли обеспокоены доминирующим положением компании СВММ на рынке. Она производит 85% мирового ниобия. Это месторождение настолько важно для всемирной торговой системы, что США внесли месторождение СВММ в Араше в свой список ключевой инфраструктуры за рубежом.⁵

Хотя СВММ — одна из самых процветающих и хорошо управляемых горнодобывающих компаний из всех, которые я видел, и имеет сертификаты, подтверждающие ее эффективность, у меня было ощущение

4. U.S. Energy Information Administration (EIA), «Saudi Arabia», 2014, www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=sa; James F. Carlin Jr., «Antimony» (Reston, VA: U. S. Department of the Interior, 2012); Thomas G. Goonan, «Lithium Use in Batteries, Circular 1371» (Reston, VA: U. S. Department of the Interior, 2014).

5. Wikileaks, «Cable Viewer», February 18, 2009, wikileaks.org/cable/2009/02/09STATE15113.html.

ние, что в компании царит секретность. Работники СВММ, которым я писал или звонил, либо не отвечали мне вовсе, либо отсылали к единственному человеку — генеральному директору Тадеу Карнейро. У такой лояльности есть причины. Их дети получают субсидии на высшее образование, фирма покрывает медицинские и жилищные расходы, и, по их словам, зарабатывают они неплохо. Из 1800 работников за прошедший год уволились менее 10.⁶

В 1985 году Национальный консультативный комитет по материалам национального научно-исследовательского совета США так охарактеризовал позицию компании на рынке: СВММ — это компания не только с самой большой производительностью, но и с самыми низкими на сегодняшний день затратами. Таким образом, СВММ может в любой момент снизить цены и вывести соперников из игры. Ее нынешняя стратегия заключается в том, чтобы позволить своим конкурентам выжить и интегрироваться в процесс.⁷ Изменилось немного.

То, что хорошо для СВММ, не обязательно хорошо для рынка. Компания добывает ниобий из месторождения, которое может удовлетворить мировой спрос на 200 лет, и при этом компания эффективна и очень прибыльна. Владелец компании, семья Морейра Саллес, обладает активами общей стоимостью в 27 млрд долларов, причем половина их приходится на это месторождение. По данным агентства *Bloom-*

6. СВММ, «Certifications», 2014, www.cbmm.com/us/p/20/certifications.aspx. СВММ was the first mining company to receive ISO 14001, Environmental Management System Certification; Tadeu Carneiro, interview by David Abraham, Araxá, Brazil, May 14, 2013; Marta Vieira, «СВММ Investe R\$1 Bilhão Para Fábrica Em Araxá», August 13, 2013, accessed November 20, 2014, www.em.com.br/app/noticia/economia/2013/08/13/internas_economia,434415/cbmm-investe-r-1-bilhao-para-fabrica-em-araxa.shtml.

7. National Research Council, U. S. Committee on Engineering and Technical Systems, «Implications for Processing Strategic, and Materials. Basic and Strategic Metals Industries: Threats and Opportunities: Report», (Washington, DC: National Academy Press, 1985).

berg News, норма прибыли компании составляет 37%, а сама прибыль — свыше 600 млн долларов в год.⁸

Некоторые потребители считают, что рынок мог бы выиграть от более высокой конкуренции. Компания СВММ настолько успешна, что ее клиенты решили стать владельцами. Заботясь о надежности своих поставок, японские и корейские компании, одни из крупнейших клиентов СВММ, в марте 2011 года при поддержке своих правительств приобрели совместный 15%-ный пакет акций за 1,8 млрд долларов. Китай последовал их примеру, через полгода купив долю в 15% за 1,95 млрд долларов. Но даже став владельцами, согласно *Bloomberg News*, азиатские миноритарные акционеры не смогли получить разрешение на проведение технической оценки *due diligence*. Некий уровень секретности ощущается уже перед главным входом в компанию.⁹

Даже находясь с мэром Араши Джова Морейра да Коста в моей машине, мне пришлось остановиться на парковке рядом с проходной СВММ. Одетый с иголки охранник попросил мой паспорт. Он внимательно проверил его и удостоверения личности других пассажиров. Я обернулся на главные ворота и увидел другого охранника, который просматривал багажник автомобиля по ту сторону от входных ворот, очевидно, в поиске предметов, запрещенных к вывозу из шахты.

Когда мы въехали на территорию компании, я был поражен несоответствием между безупречно подстриженной травой, чем-то средним между загородным

8. Cristiane Cuadros, «Brazil's Richest Family Forging \$13 Billion Niobium Dream», *Bloomberg*, March 13, 2013, www.bloomberg.com/news/2013-03-13/brazil-s-richest-family-forging-13-billion-niobium-dream.html.

9. Reuters, «Chinese Firms Take 15-Pct Stake in Niobium Producer СВММ», September 1, 2011, www.reuters.com/article/2011/09/01/cb-mm-niobium-idUSL4E7K11GL20110901; Cuadros, «Brazil's Richest Family».

клубом и промышленным технопарком, и участком голой земли вдалеке. Это едва ли типичное добывающее предприятие: дороги с пальмами, прилизанные зеленые газоны и здания, выкрашенные в голубой цвет и цвет хаки, некоторые с дымовыми трубами. Пока я любовался одинаковыми комбинезонами рабочих, стоящих в ожидании на автобусной остановке на территории предприятия, мэр склонился ко мне и сказал: «Город рад иметь красивую компанию».

Мы прибыли в центр приема посетителей, где меня приветствовал белоснежный коврик. Я наступил на него и, подняв взгляд, увидел перед собой генерального директора СВММ Тадеу Карнейро. Он был одет в джинсы и рубашку, на которой был прикреплен значок его альма-матер, Питтсбургского университета. У Карнейро черные волосы, густые брови и низкий голос. У него врожденное обаяние; его английский с португальским акцентом, размеренная речь и привычка называть собеседника по имени располагали к себе.

Вскоре после его рассказа о предприятии он заявил: «Мы, безусловно, технологическая компания, Дэвид». Эта фраза — клише, которое используют менеджеры горнодобывающих компаний, чтобы сместить фокус с самого процесса добычи сырья на его применение. Карнейро пояснил, что горнодобыча — это только один из пятнадцати технологических шагов компании. Превращение горной породы в металл или, по крайней мере, в материал, богатый металлом, пригодный для использования в современных продуктах производства, — это технологическое искусство, отличное от добычи.

Компании СВММ повезло, что почва, с которой она работает, рыхлая и не нуждается в дорогостоящих взрывных работах для разрушения скальной породы. Кроме того, месторождение находится на поверхности, что делает производство намного дешевле, чем в том случае, когда нужно копать на десятки или сотни метров под землей. СВММ использует грузови-

ки и конвейерные ленты для выкапывания и доставки 2,5% ниобиевой руды из месторождения на обрабатывающее предприятие. Более того, благодаря рыхлой почве компании не нужно тратить столько, сколько другие горняки тратят на измельчение и просеивание руды. (На дробление и измельчение приходится почти половина энергии, используемой на месторождении, поэтому чем меньше затрат на измельчение, тем выше показатели прибыли)¹⁰.

Затем с помощью фильтров и магнитов и, в конечном итоге, воды, тепла и кислоты СВММ удаляет из руды пустую породу — все, что не содержит ниобия. Цель — в дальнейшем отделении нужных минералов от ненужных.¹¹ После того как богатая ниобием руда измельчается, ее помещают в кипящую маслянистую кислоту. Материал ниобия прилипает к пузырькам, которые изолируют его от остальной части породы. В результате очистки производится материал концентрированного ниобия, с содержанием ниобия около 50–60%. Затем компания осуществляет его дальнейшую очистку в соответствии с потребностями клиентов, большинство из которых — производители стали. Добавление всего лишь щепотки ниобия на тонну стали может снизить требуемый объем стали там, где она применяется чаще всего, — в трубопроводах, мостах и турбинах. Когда Гюстав Эйфель начал строить башню, которая в конечном итоге стала носить его имя, ему потребовалось 7000 тонн стали. Сегодня благодаря ниобию СВММ, если вы захотите

10. Department of Energy, Industrial Technologies Program, «Mining Industry Energy Bandwidth Study», 2007, accessed December 27, 2014, energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/mining_bandwidth.pdf; Abrahão Issa Filho, Bruno F. Riffel, and Clovis A. de Faria Sousa, «Some Aspects of the Mineralogy of CBMM Niobium Deposit and Mining Pyrochlore Ore Processing» (Araxá, Brazil: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 2001), www.cbmm.com.br/Repositorio/Media/site/internas/operations/mineralogyaspects-niobiumdeposit.pdf.

11. Filho, Riffel, and Sousa, «Some Aspects of the Mineralogy of CBMM».

построить копию Эйфелевой башни, вам понадобится всего 2000 тонн стали.¹²

«Сорок лет назад ниобий был возможен только в теории, он был мечтой ученых в лаборатории», — сказал Карнейро. Судя по его ритмическим интонациям, эту историю он, видимо, рассказывал много раз. Когда я слушал его речь о развитии рынка ниобия, мне казалось, он мог бы говорить о рынках почти всех редких металлов последних шестидесяти лет — от диспрозия до титана. Когда-то от них было мало толку, но по мере развития новых способов применения эти металлы стали незаменимыми.

В 1950-х годах, когда СВММ начала свою деятельность, ниобий мало использовался на рынке, хотя согласно британским и американским исследованиям этот металл делает сталь прочнее и легче, одновременно повышая ее термостойкость. Это были важные свойства, потому что британские стальные военные корабли буквально разламывались в холодных водах Атлантики во время Второй мировой войны, а три самолета разрушились в воздухе.¹³ Материаловедение не успевало за технической мыслью морских и аэрокосмических инженеров того времени. Не имея возможности прибыльно разрабатывать участки месторождений полезных ископаемых и производить процесс добычи, мало кто занимался исследованиями по применению ниобия.¹⁴ На рынок пришла компания СВММ.

12. «Eiffel Tower by Gustave Eiffel», accessed December 28, 2014, www.greatbuildings.com/buildings/Eiffel_Tower.html; L. Meyer, «History of Niobium as a Microalloying Element», in *Proceedings of the International Symposium Niobium 2001*, 359–77 (Bridgeville, PA: Niobium Science and Technology, 2001), available at www.cbmm.com.br/portug/sources/techlib/science techno/Table_content/sub_3/images/pdfs/025.pdf.

13. «BBC on This Day |19 |1954: „Metal Fatigue“ Caused Comet Crashes», accessed December 28, 2014, news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/october/19/newsid_3112000/3112466.stm.

14. Meyer, «History of Niobium».

Поскольку СВММ стала продавать материал, о котором, в отличие от меди и железа, никто не знал, компании пришлось создать рынок. Ее стратегия продаж заключалась в увеличении спроса на использование ниобия при одновременном совершенствовании металлургических процессов, для того чтобы снизить цены и вместе с тем убедить скептически настроенных клиентов попробовать металл. К 1960-м годам СВММ уменьшила затраты на производство, что привело к четырехкратному снижению цен.¹⁵

В том же десятилетии исследования компании привели к достижениям, которые значительно повысили прочность стали, содержащей ниобий, за счет улучшения структуры ее зерна. К 1970-м годам производители стали начали обращать внимание на успехи СВММ. На протяжении этого десятилетия рост СВММ составлял почти 10% в год. Компания постепенно формировала рынок сталелитейного производства, ее материал начал «проникать» в здания и трубопроводы. В 1970–1980-е годы ниобий занял свое место в строительных материалах, судостроении и морских нефтяных платформах. Производители автомобилей также стали использовать больше ниобия, пытаясь за счет проектирования более легких автомобилей сократить потребление топлива.¹⁶

Стремясь повысить продажи, компания изучила способы увеличения количества ниобия на тонну стали. Это была непростая задача. Повышение концентрации ниобия в жидкой стали делает смесь более вязкой и плотной. Это подобно тому, как если добавить слишком много муки в тесто для блинов, тесто перестает быть текучим. Из смеси не удавалось произвести высококачественную сталь. Со временем ученые СВММ все же открыли секрет легированной стали с повышенным содержанием ниобия, и за пе-

15. Ibid.

16. Ibid.

риод с 1990 по 2010 год продажи выросли в четыре раза.¹⁷

Двадцать пять лет назад Бразилия, ведущий потребитель ниобия на тонну стали, использовала 40 граммов на тонну. Теперь сталь с 40 граммами на тонну, которую Китай применяет на внутреннем рынке, считается низкокачественной. Высококачественная сталь может содержать 100 граммов на тонну, имея более высокий уровень прочности. Для специальной стали, такой как трубопроводная, СВММ нашла способы использовать еще больше ниобия.¹⁸

«Мы никогда не беспокоились о борьбе с нашими прямыми конкурентами», — произнес Карнейро, имея в виду период роста СВММ. Наверное, это объяснимо, когда компания занимает доминирующее положение на рынке с одним из самых дешевых ресурсов. «Если кто-то хочет заняться их разработкой, — сказал он, ссылаясь на триста других подобных месторождений ниобия по всему миру, — пусть делают это». Однако Карнейро добавил к этому комментарий, который, возможно, звучит удручающе для потенциальных претендентов: «Мы не прекратим наращивать производственные процессы у себя».

Эта уверенность и спокойствие, с которыми компания может продолжать добычу, дает СВММ неоспоримое преимущество в своей отрасли. В то время как будущие технологии могут помочь сделать добычу и переработку руды более дешевыми, горнодобывающие компании, у которых нет политически

17. S. Wilmes and G. Zwick, «Effect of Niobium and Vanadium as an Alloying Element in Tool Steels with High Chromium Content», Sixth International Tooling Conference, 269–87, published proceedings, www.kau.se/sites/default/files/Dokument/subpage/2010/02/21_269_287_pdf_18759.pdf; Tadeu Carneiro, «Niobium, Grams Savings Tonnes», presentation, Rio de Janeiro, September 22, 2010, 14th Americas School of Mines, www.pwc.com.br/pt/eventos-pwc/school-of-mines/english/assets/plenary/1h30-risks-and-opportunities-tadeu-carneiro.pdf.

18. «СВММ Nurtures Niobium Market», *Metal Bulletin Monthly*, 1990, 49; Carneiro, interview, May 14, 2013.

надежных, технологически осуществимых и географически доступных месторождений, таких как ниобий в Араше, вынуждены теперь отправляться в более отдаленные места и копать все глубже и глубже. Большинство богатых, легкодоступных и не требующих больших затрат месторождений полезных ископаемых уже разработаны.

Для многих небольших и испытывающих трудности горнодобывающих компаний СВММ и ее успех существуют в параллельной вселенной. Чтобы понять проблемы, с которыми сталкиваются новые горнодобывающие компании, далеко ходить не нужно. В 1995 году Дж. К. Потвин, генеральный директор канадской компании Tiomin Resources, решил, что нашел золотую жилу — богатое месторождение титана в 40 километрах к югу от кенийского портового города Момбаса.¹⁹

Потвин инициировал процесс получения государственных лицензий и геологической информации, надеясь начать коммерческое развитие в 1999 году. В течение следующих четырех лет его компания выполнила технико-экономическое исследование — отчет, финансируемый компанией, для определения экономической эффективности проекта, а также произвела первую оценку состояния окружающей среды. Потвин был убежден, что проект будет успешным. Несмотря на обещания «плодотворного сотрудничества и поддержки» со стороны правительства Кении, вести дела в этой стране, как и во многих других развивающихся странах, не просто.²⁰

19. John Muchira, «Kenya's Kwale Embarks on Production This Month after Two Decades of False Starts», *Mining Weekly*, September 27, 2013, www.miningweekly.com/article/kenyas-kwale-starts-production-this-months-after-two-decades-of-false-starts-2013-09-27.

20. Tiomin Resources, *Annual Report*, 1997, www.claudiaforgas.com/Tiomin.pdf; United Nations Conference on Trade and Development, *Investment Policy Review Kenya* (New York and Geneva: 2005); Jean-Charles Potvin, e-mail, October 8, 2014.

Экологи затормозили проект из-за опасений, что загрязнение от шахты причинит вред окружающей среде, а фермеры были недовольны тем, что компенсация, которую компания предложила за их землю, была слишком маленькой. Правительство Кении, которое первоначально претендовало на долевое участие в шахте, отказалось от сделки после выборов 2002 года, когда пришло новое правительство с более осторожным взглядом на проект. В течение следующих нескольких лет правительство, суды и компания не смогли решить вопрос о переселении около 375 семей, которые должны были покинуть свою землю. Кроме того, сохранялись опасения относительно вреда, который мог быть причинен окружающей среде.²¹

После почти десятилетия разногласий в 2004 году компания Tiomin подписала договор аренды земли с правительством на двадцать один год и разработала схему выплаты роялти. К тому времени цена застопорившегося проекта начала ползти вверх с первоначальных 120 млн долларов до почти 200 млн, в то время как судебные тяжбы продолжались. 19 декабря 2006 года суд наконец вынес решения по последним делам в пользу компании Tiomin; ее акции взлетели на 24%, поскольку казалось, что компания вот-вот приступит к строительству. Но рынок был излишне оптимистичен в своей оценке ситуации, потому что планы Tiomin вскоре оказались сорваны. Компания не смогла выселить всех жителей деревни. Семь семей отказались переезжать, потребовав за свою землю в пятьдесят раз больше, чем им предлагали.²²

21. *The Nation*, Kenya, «Tiomin Wants Sh200 Million Suit Cost from Farmers», Socio Economic Network (blog), 2007, socioeconomicforum50.blogspot.com/2013/04/tiomin-secures-land-for-kenya-plant_16.html; MiningWatch Canada, «Kwale Dispatch: Investigating Tiomin Resources' Criminal Activities in Kenya», August 7, 2007, www.miningwatch.ca/kwale-dispatch-investigating-tiomin-resources-criminal-activities-kenya; Potvin, e-mail, October 8, 2014.

22. Canadian Press, «Tiomin Wins Ruling on Fight Against Land Acquisition», Resource Investor, December 19, 2006, www.resourceinvestor.com

Крупные инвесторы компании, желавшие получить гарантии правительства, что проект будет развиваться, пошли на попятную. Насилие на выборах в 2007 и 2008 годах сделало невозможным взаимодействие с правительством, поскольку власти были заняты другими делами. В 2010 году разгневанный совет директоров продал компанию австралийской Base Resources. Имея лучшую финансовую поддержку, при стабильном правительстве и с большей оперативностью, Base завершила строительство шахты, потратив 305 млн долларов. Она произвела свою первую коммерческую продажу в 2014 году, почти через два десятилетия после первоначальной разработки.²³

Какими бы ни были трудности, с которыми столкнулась компания Tiomin в Кении, наше высокотехнологичное будущее связано с горной добычей в гораздо более беспокойных местах. Каналы поставок ресурсов проходят не только через «неприветливые» экологические ландшафты, но и все чаще через районы, чреватые политическими потрясениями. В Колумбии повстанцы ФАРК, которые с 1987 года ведут борьбу против правительства, добывают вольфрам в джунглях Амазонки. В Демократической Республике Конго антиправительственные силы и повстанческие группировки зарабатывают миллионы на производстве вольфрама, олова и тантала. В 2011 году около 21% поставок тантала в мире поступало из регионов,

tor.com/2006/12/19/tiomin-wins-ruling-on-fight-against-land-acquisiti; «Cabinet Formally Approves Tiomin's Kwale Titanium Mining Lease», June 25, 2004, Press release, www.thefreelibrary.com/Cabinet+Formally+Approves+Tiomin+percent27s+Kwale+Titanium+Mining+Lease.-a0118797376; International Chamber of Commerce, 2014, Africa Review 2003/04: The Economic and Business Report, 25th ed. books.google.co.id/books?id=nDSR1FF2HY8C; CNN, «Tiomin Appoints Robert Jackson as President», August 17, 2006, money.cnn.com/news/newsfeeds/articles/marketwire/06155037.htm; Potvin, e-mail, October 8, 2014.

23. Reuters, «RPT-Australia's Base Resources Begins Titanium Mining in Kenya», October 13, 2013, www.reuters.com/article/2013/10/13/kenya-titanium-idUSL6N0I30P020131013.

охваченных конфликтами, и почти все они обрабатывались в Китае. На двух соседних индонезийских островах, Банка и Белитунг, мелкие группы незаконных горнорабочих добывают более трети мирового олова из минералов касситерита, а также неизвестно сколько других минералов вроде ксенотима и монацита, в которых содержатся редкоземельные элементы.²⁴

Страны с растущим благосостоянием начинают создавать все больше сложностей для металлургического производства, ведь их граждане богатеют, покупают дома с садами и не желают жить в условиях загрязненной окружающей среды. У этих людей больше времени и ресурсов для борьбы с горнодобывающими компаниями, и они желают получать справедливую компенсацию за любой вред, причиненный экологии. В 2012 году в одной только Малайзии жители вели борьбу с тремя крупными проектами, связанными с добычей полезных ископаемых, включая «облегченное» производство по переработке редкоземов, созданное специально для снижения мировой зависимости от китайского производства. В то же время в результате демонстраций в провинции Сычуань в Китае было закрыто перспективное предприятие по переработке молибдена вслед за похожими протестами в Даляне и Сямыне.²⁵

24. Daniel Cassman, «Revolutionary Armed Forces of Colombia: People's Army», Mapping Militant Organizations, 2012, www.stanford.edu/group/mappingmilitants/cgi-bin/groups/view/89; Michael Smith, «How Colombian FARC Terrorists Mining Tungsten Are Linked to Your BMW Sedan», Bloomberg, August 8, 2013, www.bloomberg.com/news/2013-08-08/terrorist-tungsten-in-colombia-taints-global-phone-to-car-sales.html; Patrick Stratton and David Henderson, «Tantalum Market Overview ММТА», January 31, 2013, www.mmta.co.uk/tantalum-market-overview; Araxá town officials, interview, May 13, 2013; Cam Simpson, «The Deadly Tin inside Your Smartphone», Businessweek, August 23, 2012, www.businessweek.com/articles/2012-08-23/the-deadly-tin-inside-your-ipad.

25. Barry Porter and Soraya Permatasari, «Lynas CEO Finds Social Media Hobbles Rare-Earths Plans», Bloomberg, July 1, 2012, www.bloomberg.com/news/2012-07-01/lynas-ceo-finds-social-media-hobbles-rare-earths-plans.html; Global Times, «Do Not Fo-

Сегодня основная проблема, связанная с недостатком инвестиций после финансового кризиса и длительным временем, необходимым для разработки проектов в области редких металлов, заключается в том, что рано или поздно наши взгляды на высокотехнологичное будущее столкнутся с той реальностью, что мы инвестировали не так много в обеспечение достаточных поставок критических материалов. Проблема в том, что темпы инноваций и, следовательно, наш спрос на редкие металлы будут расти гораздо быстрее, чем могут гарантировать поставки и строительство шахт.

В этом смысле производство редких металлов с нуля похоже на перегонку шотландского виски Johnny Walker или изготовление высококачественного чеддера. Пройдут годы, начиная со старта производства и до того дня, когда вы сможете получить готовый продукт. По данным правительства США и по опыту компании Tiomin, создание шахты редких металлов (и цепи поставок) может занять до пятнадцати лет с момента инвестирования до организации налаженного производства. Это означает, что редкие металлы, поступающие из некоторых шахт сегодня, были произведены в 2000 году. Для мира технологий, где находят применение многие из этих металлов, это целая вечность. Трудно представить, что руководители предприятий, которые выпускали материалы к 2015 году, имели какое-то представление о смартфоне или о многих других товарах, в которых используются их материалы. В то время они были сосредоточены на поиске решения «проблемы Y2K». Сегодня мы обращаемся к руководителям отрасли, особенно к тем, кто работает в «юниорских», или малых, компаниях, с просьбой о всеобъемлющем технологическом предвидении, потому что они занимаются поиском и оценкой новых месторождений полезных

ment Youngsters to Protest», July 7, 2012, english.peopledaily.com.cn/90780/7868299.html.

ископаемых. Именно они должны знать, где их материалы будут продаваться через пятнадцать лет.²⁶

Проблема в том, что малые горнодобывающие компании подобны стартапам в области биотехнологий: большинство из них, даже те, что имеют самые перспективные проекты, потерпят неудачу. Но без биотехнологий не появится на свет очередной мощный препарат против рака; без этих молодых горняков у мира не будет компонентов для нового «зеленого» источника энергии. И точно так же, как и биотехнологические компании, эти компании не смогут прожить без инвесторов.

В 2013 году, воскресным апрельским утром, около половины девятого Рон Макдональд, пленарный докладчик на саммите InvestorIntel Technology Metals, поднялся на сцену в конференц-зале отеля Sheraton Centre Toronto. Макдональд, бывший министр международной торговли Канады, в настоящее время — руководитель горнодобывающей компании по добыче ванадия и евангелист редких металлов. В этой роли он столкнулся с огромными проблемами, которые встали перед руководителями предприятий, занимающихся добычей редкоземов. Его цель заключалась в том, чтобы поднять дух руководителей малых горных предприятий, на чьих глазах цены на редкоземы (вместе с ценами на акции их компаний) за прошедшие полтора года рухнули на 80–90%.²⁷

После финансового кризиса горнодобывающим компаниям было трудно найти финансирование, а в 2013 году ситуация еще больше ухудшилась. В первом квартале 2013 года, впервые за почти десять лет, на горнодобывающей бирже Торонто не производи-

26. Neil Irwin, «What Bourbon Producers Can Teach the Oil Industry», New York Times, November 18, 2014, www.nytimes.com/2014/11/18/business/what-bourbon-producers-can-teach-the-oil-industry.html.

27. Metal-Pages, «Metal Prices, Rare Earths», 2014, www.metal-pages.com/metalprices/rareearth/.

лось никаких первичных публичных размещений акций. Все небольшие деньги, поступающие в этот сектор, приходились на крупные компании типа СВММ и не доставались людям в этом зале, которые посвятили свою карьеру поискам новых месторождений редких металлов.²⁸

В течение первых трех месяцев того года малые горнодобывающие компании привлекли менее 3% от всего объема финансирования на горнодобычу; это менее 102 000 долларов на каждую малую компанию в мире.²⁹ Поскольку большинство этих компаний еще не продавали металлы, они выживали только за счет инвестиций. Отсутствие инвестиций означало отсутствие рабочих мест. И будущее выглядело еще более мрачным.

Перед конференцией в Торонто компания IntierraRMG, ведущий поставщик данных для горнодобывающих компаний, заявила: «Отрасль переживает не лучшие времена». Консалтинговая компания PwC (PricewaterhouseCoopers) была еще менее оптимистичной: «Несется свирепый шторм, который уничтожит многие компании, играющие важную роль для горных разработок... Это окажет колоссальное воздействие на поставки новых ресурсов». Для того чтобы мир получил надежные источники критических материалов, необходимо было немедленно обес-

28. IntierraRMG, «Mining Sector Fund-Raising Drops 24%», May 14, 2013, intierrarmg.com/Libraries/Brochures_and_Flyers/Mining_sector_fund-raising_drops_24.sflb.ash. Investment in junior mining companies dropped 24 percent. Deloitte, «Tracking the Trends: The Top 10 Issues Mining Companies Will Face in the Coming Year», 2014, www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/dttl-er-Tracking-the-trends-2014_EN_final.pdf.

29. The report refers to internationally listed mining companies. Intierrarmg.com, «Exploration Report Reveals US\$1.49 Billion in Financing Deals», February 26, 2013, www.intierrarmg.com/articles/13-02-26/Exploration_report_reveals_US_1_49_billion_in_financing_deals.aspx.

печить финансирование этих компаний. Некоторые геологоразведочные компании находились в настолько отчаянном положении, что начали просить деньги через Twitter, LinkedIn и Facebook. А настроение было настолько мрачным, что организаторы конференции даже вставили в расписание выступление мотивационного оратора.³⁰

Как открывающий конференцию докладчик, Макдональд пытался разрядить атмосферу в аудитории. Он говорил с уверенностью и использовал броские фразы: «Забудьте о том, что происходит на рынке!», «Мы чувствуем приход новой волны!», «Мы говорим об индустрии стоимостью триллион долларов в год, которая вот-вот выйдет из пике!» Но он, должно быть, также осознавал ключевую проблему, которую видел я. Хотя я и заметил нескольких консультантов, одного правительственного чиновника и отраслевых аналитиков вместе с руководителями малых горнодобывающих компаний, на конференции для инвесторов не хватало самых важных участников — инвесторов.

Всеобщего возбуждения от заключения сделок не наблюдалось, мероприятие напоминало День благодарения у тещи. Каждый знал, как обстоят дела у других, и все они явно присутствовали здесь по обязанности, а не по своему желанию.

Даже в лучшие времена редкие металлы продавать очень сложно. Возьмите ванадиевую шахту Мак-

30. Компания добавляет: «Большинство разработчиков в реальности не могут собрать необходимые средства, чтобы перейти к этапу, когда они смогут начать зарабатывать на продаже металлов... Ни розничные, ни профессиональные инвесторы не имеют ни возможности, ни желания вкладываться в акционерный капитал». IntierraRMG, «Mining Sector Fund-Raising Drops 24%», PwC, Mine: A Confidence Crisis 2013, www.pwc.com/en_GX/gx/mining/publications/assets/pwc-mine-a-confidence-crisis.pdf; Justin Pugsley, «Junior Mining Companies Embrace Social Media to Reach Small Investors», Metal-Pages the Blog, July 23, 2012, blog.metal-pages.com/2012/07/23/junior-mining-companies-embrace-social-media-to-reach-small-investors/.

дональда. Прежде чем он смог убедить инвесторов дать деньги, он должен был снова и снова объяснять, что такое ванадий. Трудно дать краткую презентацию того, о чем никто никогда не слышал.

Макдональд мог похвастаться основным применением ванадия: при добавлении менее 0,2% ванадия в сталь, прочность стали удваивается, что позволяет снизить ее вес на 30%.³¹ (Ванадий отлично подходит для усиления строительного оборудования, тогда как ниобий — для сооружения нефтепроводов. Иногда они используются вместе). Кроме того, он мог бы рассказать о том, какую важную роль сыграл ванадий в нашем обществе. В 1905 году Генри Форд обнаружил, что французские автопроизводители использовали сплав из ванадиевой стали, который был легче, тверже и прочнее, чем тот, который он нашел в Америке. Он заимствовал эту технологию и использовал сплав в приводах, осях и валах при производстве 15 млн автомобилей модели Т. Материал был настолько важным, что Форд заявил: «Без ванадия не было бы автомобилей!»³²

Для Макдональда все это — история. Как и Карнейро, он сосредоточен на будущем своего металла, о котором, как правило, говорит на повышенных тонах. Компания Макдональда, American Vanadium, относится к своему материалу как к «Святому Граалю» еще из-за одного потенциального применения — высокочастотных систем хранения энергии. Макдональд говорит, что при хранении энергии, производимой из переменных источников энергии, таких как ветер и солнце, его ванадиевые блоки питания станут основным компонентом глобальной «зеленой» энергосети.³³

31. Bill Radvak, «American Vanadium», July 2013, www.americanvanadium.com/cms-assets/documents/125931-627924.americanvanadiumaug2013.pdf; U. S. Geological Survey, Vanadium (Reston, VA: U. S. Department of the Interior, 2012), minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/mcs-2012-vanad.pdf.

32. John Emsley, *Nature's Building Blocks* (Oxford: Oxford University Press, 2011).

33. David Wogan, «Vanadium Flow Batteries Could Become a Cost Ef-

Управление горнодобывающей компанией на ранней стадии чаще всего связано с умением продавать — убеждать других инвестировать в ваши идеи, — а не с геологией. Руководители тратят все свое время на поиск ресурсов, больше финансовых, чем минеральных. Даже те, кто, как Макдональд, добились успеха в обеспечении инвестиций, сталкиваются с гораздо более серьезными препятствиями, чем предыдущие поколения руководителей горнодобывающей отрасли: повышение экологических норм, более высокая стоимость добычи и роялти, а также более сложные геологические образования. Все это приводит к увеличению затрат. По мере роста издержек инвесторы становятся более пугливыми.

Однако инвесторы правы, проявляя осторожность: инвестиции в критические материалы — это крупная ставка. Действительно ли ископаемые, планируемые к добыче, находятся в земле? Сможет ли компания разработать технологию для извлечения металлов от руды? Найдут ли материаловеды новые применения для добытых ресурсов? И какие металлы производители комплектующих отберут для своих новых продуктов?

В то время как малые горнодобывающие компании говорят о том, чтобы стать очередной добывающей шахтой, большинство из них имеют более скромные цели, такие как сбор достаточного количества средств для перехода на следующий этап развития. Оценка геологической формации участка, получение необходимых правительственных разрешений и доказательство способности производства надежного продукта — подготовительные задачи, стоимость которых может составлять десятки миллионов долларов. Если компания способна заверить инвесторов в том, что у нее

fective Solution for Balancing Texas' Power Grid», Blog, Plugged In, October 21, 2013, blogs.scientificamerican.com/plugged-in/2013/10/21/vanadium-flow-batteries-could-become-a-cost-effective-solution-for-balancing-texas-power-grid/.

есть пригодная для производства шахта, а это высокая планка, ей необходимо найти состоятельных инвесторов и банки, чтобы получить сотни миллионов или миллиарды долларов (в зависимости от объема ресурсов) на строительство шахты, покупку технологического оборудования, прокладку дорог и линий электропередач.

Привлечение денег для публичной компании означает повышенное внимание к ней со стороны рынка и множество отвлекающих факторов. Руководителям приходится отвечать на бесчисленные вопросы инвесторов и аналитиков, вместо того чтобы заниматься разработкой месторождений. О подобных неприятностях Карнейро в СВММ, частной компании, не нужно беспокоиться, хотя он и признает, что, если бы ему пришлось отвечать на шквал запросов от инвесторов, руководить СВММ как публичной компанией сегодня было бы намного сложнее.³⁴

Более того, учитывая длительный период времени, необходимый для начала разработки, горнодобывающие компании пытаются предсказать будущий спрос, чтобы определить, существует ли вообще рынок для их ресурсов. СВММ же была на редкость удачлива, обладая долгосрочными инвестициями для исследования и поиска новых способов применения. Создание шахты с участием всего нескольких ученых и инженеров при необходимости постоянного сбора средств — неподъемная задача. Построение компании, подобной СВММ, в нынешних условиях представляет собой огромную проблему, особенно для публичных компаний. Реальность такова, что многие малые геолого-разведывательные группы все еще пытаются понять, что у них есть или как им достать это из-под земли.

Новой шахте гораздо сложнее выйти на рынок, чем уже сложившейся, при этом сложившейся шахте

34. Carneiro, interview, May 14, 2013.

проще производить больше. Но для стабильных каналов поставок и рентабельных ресурсов крайне важны новые шахты и высокая производительность. Многие из этих новичков, конечно, хотят достичь такого же успеха, как и СВММ. Но если делать прогнозы на основании прошлого опыта, большинство из этих проектов закончатся либо как у Tiomin, которая была вынуждена отказаться от своей мечты, либо столкнутся с проблемами, как в случае с Avalon Rare Metals в Северной Канаде, — при наличии хорошего плана — полное отсутствие денег.

Шахта на озере Тор компании Avalon Rare Metals — наглядный пример высоких затрат на запуск и поддержание производства. Озеро находится на расстоянии пятичасового перелета или почти 5 тыс. километров езды на машине на северо-запад от Торонто, примерно в пятистах километрах от Северного полярного круга, что увеличивает уровень сложности и издержек, поскольку разработка месторождения в тундре и очистка минералов водой при низких температурах требует больше времени. В 2000–2011 годах затраты на добычу опережали общий уровень инфляции почти в два раза, в основном из-за увеличения затрат на энергию. И издержки продолжали расти. Но проблемы компании типичны для редкоземельных проектов и горнодобывающей отрасли в целом, поскольку дни легкой добычи закончились. За последние сто лет содержание металлов в руде неуклонно снижалось, а в случае некоторых металлов, например меди, с 2001 по 2011 год — на 30%. Кроме того, по словам Пэта Тейлора, химика и металлурга из Колорадской школы горного дела, многие новые месторождения содержат «проблемные» элементы, такие как мышьяк или радиоактивный уран. Поиск способов их безопасного устранения повышает сложность и издержки. Сегодняшние новые проекты нуждаются в более дорогой инфраструктуре, что увеличивает затраты на запуск проектов, повышает эксплуатационные рас-

ходы и в конечном итоге приводит к более дорогому производству металлов.³⁵

Крупный проект компании Avalon обходится очень дорого, и его стоимость все время растет. Компания планирует добывать редкоземельные минералы на одном берегу реликтового озера, а затем переправлять руду, содержащую следы радиоактивных элементов, на перерабатывающее предприятие на другом берегу. Оттуда Avalon повезет минералы в Луизиану, на расстояние примерно в 2500 километров от озера, для окончательной переработки. Несмотря на то что производство начнется еще не скоро, цена продолжает расти: в 2009 году она составляла 400 млн долларов. Спустя несколько лет она подскочила до 1,5 млрд долларов. К счастью для Дона Бубара, генерального директора Avalon, если его нынешний редкоземельный проект не сработает, у его компании есть другие месторождения для разработки. Подобно другим малым горнодобывающим компаниям, Avalon не фокусируется исключительно на одном проекте.³⁶

В 1979 году, когда первые горняки провели исследование озера Тор на северо-западе Канады, они

35. CRU Strategies, «Trends in Capital Expenditure», presentation, Santiago, Chile, 2011. Received through e-mail correspondence with Andrew Leyland, November 7, 2011. United Nations Environment Programme, *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*, 2011, www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/decoupling_report_english.pdf; Ana Komnienic, «Copper Costs Up, Grades Down: Metals Economics Group», www.mining.com, July 23, 2013, www.mining.com/copper-costs-up-grades-down-metals-economics-group-99686/; Pat Taylor, interview by David Abraham, Golden, Colorado, July 12, 2013.

36. Avalon Ventures, Ltd., «The Thor Lake Heavy Rare Earth Deposit, Canada: Advancing to Feasibility», investor presentation, September 4, 2008; Brenda Bouw, «Rare Metals Bring Rare Opportunities to Mining», *Globe and Mail*, March 23, 2010, www.theglobeandmail.com/report-on-business/small-business/sb-growth/sustainability/rare-metals-bring-rare-opportunities-to-mining/article4259001/; Don Bubar, «The Thor Lake (Nechalacho) Heavy REE Deposit: Advancing to Feasibility», investor presentation, November 18, 2009.

обнаружили месторождение и надеялись наладить добычу бериллия. Позднее разработчики хотели добывать ниобий. Из-за удаленности, сложной геологической формации и низких рыночных цен на эти конкретные полезные ископаемые ранее ни одна компания не смогла начать разработку этого месторождения. Бубар пытается это изменить.³⁷

Естественно, компания Avalon, которая служит наглядным примером того, с чем сталкиваются стартапы, не одинока в первоначальных низких оценках и радужных перспективах. Несомненно, руководителям сложно долго удерживать инвесторов, особенно в условиях бесконечных перерасходов и задержек.

Многие редкоземельные компании балансируют на грани банкротства, даже несмотря на то, что цены на редкоземельные металлы сейчас выше, чем когда они прогнозировали ожидаемую доходность. Компании, уже начавшие производство, должны быть прибыльными исходя из своих собственных предварительных оценок. Многие компании, занимающиеся добычей редкоземельных металлов, еще в 2011 году планировали привлечь сотни миллионов долларов и к 2015 году начать производство, однако они все еще далеки от этого.³⁸ Некоторые из них так и останутся в том же положении, что и сейчас.

«Большинство руководителей занимаются разработкой рынка», — говорит Джефф Филлипс, президент компании Global Market Development и сам успешный инвестор в области малых металлов.³⁹ Отчасти это

37. C. K. Gupta and N. Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths* (Boca Raton, FL: CRC Press, 2005), 170; Alain Leveque, lecture, Pro-Edge Second Annual Technology Metals, April 21–22, 2013, Toronto.

38. Matt Gowing, *2011 Rare Earth Industry Update: We Remain Bullish*, Mackie Research Capital Corporation, www.slideshare.net/RareEarthsRareMetals/mackie-research-capital-corporation-rare-earth-industry-update.

39. Jeff Phillips, phone interview by David Abraham, November 8, 2013.

происходит из-за того, что вместо определения, какие металлы в их месторождении подходят лучше всего для производства, они находят «горячий» металл на рынке, то есть тот, который, вероятнее всего, будет привлекать финансирование для поддержки деятельности компании. Например, компания Quantum Rare Earth Developments в Небраске превратилась в Nio-Corr, когда ее владельцы решили заниматься добычей ниобия. Дадли Кингснорт, бывший руководитель горнодобывающего предприятия и востребованный эксперт в области редкоземельных элементов, рассказал мне, что глава проекта по добыче вермикулита относился к своему месторождению как к «пещере Аладдина», откуда он доставал любой металл, который, по его мнению, мог заставить инвесторов дать ему деньги.⁴⁰

Чтобы понять, почему компании могут добывать разные металлы из одного и того же месторождения, говорит он, нужно знать минералогию. Минеральные отложения, подобные тому, что находится на озере Тор, формировались в течение миллионов лет. Магма, жидкий расплав земной коры и мантии, поднялась из-под поверхности Земли и привела к образованию минералов. Уникальный состав магмы и среда, с которой она соприкасалась, определили разнообразие металлов — в каком месте на земной поверхности возникла магма, как долго она оставалась горячей, на какой глубине, под каким давлением и с какими веществами она сталкивалась на своем пути, например, с углекислым газом или водой.⁴¹ В богатых ресурсами районах часто встречается много минералов; поэтому,

40. Dudley Kingsnorth, interview by David Abraham, Shanghai, China, September 10, 2013.

41. В других местах, например, там, где дно океана опускается ниже континентальных плит, к примеру, вдоль горных хребтов западного побережья Северной и Южной Америки, магма образовала богатые месторождения полезных ископаемых (таких, как медь и малые металлы, включая селен и теллур), а также горы. Klaus Schulz, telephone interview by David Abraham and follow-up e-mail, November 7, 2013.

к примеру, там, где есть редкоземельные элементы, можно также найти торий, железо или ниобий. И поскольку для горнодобывающих компаний разработка каждого металла обходится недешево, они часто выбирают те, которые кажутся наиболее прибыльными.

Для оптимизма есть причина; простой финансовый расчет побуждает руководителей поддерживать каждый проект на плаву. Они могут вернуть деньги инвесторам и потратить годы на разработку нового месторождения либо остаться в текущем проекте, даже если перспективы не слишком радужные. Редко кто возвращает деньги. Столкнувшись с такими проблемами, некоторые горнодобывающие компании могут пойти слишком далеко в умении продавать. Некоторые используют усложненный язык, представляя свою деятельность в позитивном свете.

В 2013 году компания Avalon выпустила пресс-релиз, в котором говорилось, что «был разработан оптимизированный гидрометаллургический процесс для извлечения всех минералов во флотационный концентрат с возможностью эффективной регенерации тяжелых редкоземельных элементов до более чем 90% наряду с более эффективной регенерацией циркония, тантала и ниобия». Моя интерпретация: ученые компании придумали способ извлечения редкоземельных элементов и других минералов из руды, но им еще предстоит сделать немало, чтобы выяснить, работает ли их идея.⁴² Учитывая непонятный отраслевой жаргон, многие инвесторы часто не знают, на какие риски они идут.

Чтобы успокоить инвесторов, многие руководители представляют любые новости как хорошие. В конце концов все руководители гонятся за одними

42. Avalon Rare Metals, Inc., «*Avalon Reports Promising Initial Results from Nechalacho Project Metallurgical Process Optimization Work*», August 1, 2013, avalonraremetals.mwnewsroom.com/press-releases/avalon-reports-promising-initial-results-from-nech-tsx-av1-201308010889800001.

и теми же ограниченными средствами и пытаются опередить своих конкурентов. Из-за неизменно позитивных настроений бывает сложно отличить компании с реальными возможностями успеха от тех, кто просто пытается остаться на плаву. Частично проблема и в самих инвесторах, потому что они постоянно требуют хороших новостей для повышения акционерной стоимости компании.

Зачастую первой жертвой этого процесса становится объективность. «Надо отделять оптимистов от ловкачей», — говорит Джон Сайкс, научный сотрудник Университета Кёртина (Австралия). Но для обычного инвестора это трудная задача. Некоторые компании преуменьшают экологические, металлургические или экономические проблемы, чтобы довести шахту до уровня производства, и играют с ценами, которые они планируют установить на свою конечную продукцию. Пресс-релизы компаний содержат неточности. Как пишет Грэм Ламли, автор исследования «Проектировщики шахт врут в расчетах»: «Если у вас получится увидеть объективность в планах по разработке шахты, сможете ли вы найти в них также моего ручного единорога?»⁴³

Исследования, подобные Ламли, утверждают, что горнодобывающие компании слишком много обещают, но не оправдывают возлагаемых на них надежд; проекты превышают свою первоначальную расчетную стоимость и требуют больше времени на реализацию, чем планировалось. Компания Ernst&Young установила, что у тех компаний, которые действительно со-

43. John Sykes, telephone interview by David Abraham, April 20, 2014. Некоторые реальные планы разработки шахт включали в себя образцы самой богатой минералами руды для оценки ресурсов, выгодную ценовую политику для оценки затрат и чрезмерно оптимистичные коэффициенты извлечения, учитывая технологии, все еще находящиеся в стадии разработки. Graham Lumley, «Mine Planners Lie with Numbers», GBI Mining, 2011, www.scribd.com/doc/81005939/White-Paper-Mine-Planners-Lie-With-Numbers#scribd.

общали о перерасходе средств, проекты обходились в среднем на 70% дороже, чем было заложено в бюджете. Ламли обнаружил, что действительная доходность компаний оказывается на 80–90% ниже их первоначальных оценок. По подсчетам горнодобывающего гиганта ВНР Billiton, из тех объемов стали, которые в 2008 году компании обещали поставить через два года, менее половины фактически достигли рынка.⁴⁴

Хотя откровенное мошенничество встречается крайне редко, малые горнодобывающие компании подчас отличаются безответственным отношением к своим бизнес-планам, — практика, которая посеяла семена недоверия. В середине 1990-х небольшое геологоразведочное предприятие Bre-X, которое было основано Дэвидом Уолшем в 1987 году и которым он на первых порах управлял из подвала собственного дома, заявило, что получило доступ к одному из крупнейших месторождений золота в мире. Всего за несколько лет акционерная стоимость компании выросла с 30 центов до 250 долларов за акцию, прежде чем инвесторы поняли, что никакого месторождения на самом деле не было. После того как эта история получила огласку, президент биржи в Торонто Роулэнд Флеминг сказал: «Если кто-то лжет самым чудовищным и бессовестным образом, как это произошло с Bre-X, все правила раскрытия информации в мире не защитят не только доверчивого инвестора, но и, похоже, даже самого опытного».⁴⁵

44. Ernst & Young, «Effective Mining and Metals Capital Project Execution: The Drivers of Mining and Metals Project Execution Complexity», accessed December 29, 2014, www.ey.com/GL/en/Industries/Mining---Metals/Effective-mining-and-metals-capital-project-execution---The-drivers-of-mining-and-metals-project-execution-complexity; Lumley, «Mine Planners Lie with Numbers»; Tony Ottaviano, «Iron Ore: Industry Outlook», Presentation, AJM Global Iron Ore and Steel Forecast Conference, Perth, Australia Journal of Mining Iron Ore and Steel Forecast Conference, 2011, www.bhpbilliton.com/home/investors/reports/Documents/110322GlobalIronOreAndSteelForecastConference.pdf.

45. Anthony DePalma, «David Walsh, 52, Promoter Caught Up in Gold

Спустя несколько месяцев после конференции в Торонто, на которой выступал Рон Макдональд, я прибыл в Нью-Йорк на другую конференцию инвесторов, в пяти кварталах от компании Lehman Brothers, где я когда-то работал аналитиком. Пока умирающий инвестиционный рынок не спешит вкладываться в проекты, риторика становится все более красочной, и руководители хвастаются успехом продуктов, в которых используются их металлы, и вытекающим из этого потенциальным спросом. Производитель графита восторженно говорит об электромобиле Tesla, победителе конкурса «Автомобиль года» в 2013 году по версии журнала *Motor Trend*; редкоземельщик обращает внимание на современные ракетные системы, а производитель ванадия возвещает о великом будущем своего металла в системах хранения солнечной энергии. Вместо того чтобы заняться поисками холеных инвестиционных банкиров в дорогих костюмах, большинство участников представляло собой сборище, которое состояло из старых прихлебателей, все еще надеявшихся сделать себе имя, и поколения тридцатидвухлетних молодых людей, жаждавших сделать свои инвестиции на 30 000 долларов залогом раннего выхода на пенсию.

Однажды поздним вечером после конференции в Китае я разговаривал с несколькими отраслевыми аналитиками о характере инвесторов, которые занимаются поддержкой этих малых горнодобывающих компаний. Мы согласились, что все они очень раз-

Mine Scandal», *New York Times*, June 6, 1998, www.nytimes.com/1998/06/06/business/david-walsh-52-promoter-caught-up-in-gold-mine-scandal.html; Clyde H. Farnsworth, «Investing IT; Bre-X Has a Cinderella Story to Tell», *New York Times*, March 24, 1996, www.nytimes.com/1996/03/24/business/investing-it-bre-x-has-a-cinderella-story-to-tell.html; Howard Schneider, «A Lode of Lies: How Bre-X Fooled Everyone», *Washington Post*, May 18, 1997, www.washingtonpost.com/wp-srv/inatl/longterm/canada/stories/brex051897.htm.

ные люди, но можно выделить несколько основных типов. Чтобы защитить репутацию инвесторов, я использую карикатуры: немецкий дантист, сторонник Гленна Бека и игрок выходного дня. Все они хотят быстро разбогатеть, но причины для инвестирования у каждого свои. «Немецкий дантист», поясняет один аналитик, только что закончил читать в журнале *The Economist* статью о важной роли редкоземельных элементов в разнообразных «зеленых» технологиях. Он кое-что знает о некоторых редкоземельных элементах, таких как тулий и гольмий, потому что они используются в его стоматологических инструментах.⁴⁶ После небольшого изучения темы его начинают привлекать запал и стиль руководства какой-то конкретной горнодобывающей фирмы. У него есть привычка повторять ту же самую мантру, которую озвучивают руководители, подобные Карнейро из СВММ: «Это технологические, а не горнодобывающие компании».

Другой тип — «сторонник Гленна Бека». Он в основном занимается инвестициями в золото, но проявляет интерес и к другим сырьевым товарам. Он чувствует, что для валюты США скоро наступит час расплаты и что единственным безопасным способом хранения средств являются металлы. Он инвестирует в добывающие компании, потому что их акционерная стоимость зависит от цен на металлы в земле. Никакие рыночные изменения, даже падение стоимости золота с почти 1900 долларов за унцию в августе 2011 года до уровня ниже 1250 долларов за унцию менее двух лет спустя, не могут поколебать его инвестиционную веру.⁴⁷ Возможно, в свое время он окажется прав.

46. Rare Earth Elements, «The Rare Earth Elements: Chemistry and Applications», accessed December 28, 2014, www.rareearthelements.us/the_17_elements; Tracy Weslosky, «The 'Rarest of the Rare' Thulium, a Heavy Rare Earth Element», accessed December 28, 2014, thuliumfacts.com/.

47. BullionVault, «Gold Price Chart: Live Spot Gold Rates and Silver Prices», 2014, www.bullionvault.com/gold-price-chart.do.

Последний тип — «игрок». Он рискует, зная, что большая часть его ставок потерпит неудачу; но чутье ему подсказывает, что если он инвестирует в достаточное количество неудачников, есть вероятность, что один или два принесут ему успех. И это все, что ему нужно. Тысячу долларов инвестиций в акции, стоимость каждой из которых взлетит с 5 центов до 2 долларов, с лихвой покроет потери от 40 других неудачных ставок. Разумные игроки диверсифицируют свои инвестиции в другие отрасли, поэтому потерь не много. Они общаются с руководителями горнодобывающих компаний, навещают конечных пользователей и развивают инвестиционную теорию. Они не обязательно мудрее других потенциальных инвесторов, просто более информированы о рисках.⁴⁸

Большинство крупных компаний с Уолл-стрит не стремятся инвестировать в редкие металлы; рынок слишком волатилен, компании слишком маленькие, а задачи управления, связанные с подготовкой к разработке месторождений, слишком сложны. Посмотрите на ценовые всплески на редкоземельные элементы индий и рений за последние пятнадцать лет. У каждого из них были времена, когда цены взлетали более чем в десять раз, а затем снова резко падали.⁴⁹

Инвестиционный банкир одной крупной фирмы с Уолл-стрит рассказал мне, что менее 3% всех его инвестиций в добывающие компании приходится на малые металлы. Поскольку волатильность цен является отличительной чертой рынков редких металлов, он предпочитает иметь дело с более крупными фирмами, такими как СВММ, обладающими опытом, проверенными технологиями и базовыми металлами, чем с маленькой компанией из десяти человек с амбиция-

48. George Rapp Jr. and Christopher Hill, *Geoarchaeology: The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation*, 2nd ed. (New Haven, CT: Yale University Press, 2006).

49. Metal-Pages, «Minor Metals Prices», 2015, www.metal-pages.com/metalprices/minors.

ми и неприступными скалами в арктической тундре. Более того, инвестирование в эти рынки подобно гаданию на кофейной гуще: рынок этих металлов мал и непрозрачен, спрос на них зависит от новых технологий, а предложение часто скрывается за завесой коммерческой или государственной тайны.

«Это просто Лас-Вегас», — говорит Джефф Филлипс, инвестор в редкие металлы.⁵⁰ По его словам, он преуспел в 2010–2011 годах, когда его инвестиции принесли ему огромную прибыль, в некоторых случаях в двадцатикратном размере, поскольку стоимость его шахт резко возросла из-за теоретической ценности ресурсов, которые имелись в земле. Однако в то время число редкоземельных проектов выросло, по некоторым оценкам, до более чем четырехсот месторождений. «Им никогда не суждено было стать работающими шахтами», — говорит мне Филлипс. Даже если бы 10% из них заработали, это стало бы серьезной проблемой: они бы наводнили рынок, снизили цены и в конечном итоге обанкротили всех производителей.

Поскольку люди, не склонные к риску, даже близко сюда не подходят, будущее наших технологий находится в руках инвесторов, которые вкладывают миллионы или десятки миллионов долларов в горнодобывающие компании на начальных стадиях. Деньги Филлипса идут не на строительство шахты, а скорее представляют собой краткосрочный (в его понимании это около двух лет) капитал для финансирования геологоразведочных работ. В течение этого времени он дает рекомендации управляющим, как убедить в рентабельности компании более богатых инвесторов, которые охотнее инвестируют в горнодобывающие проекты с более высокой вероятностью успеха.

Немногие инвесторы соглашаются на долгосрочные инвестиции — они хотят получить быструю прибыль. Проблема обеспечения поставок редкоземель-

50. Phillips, phone interview, November 8, 2013.

ных металлов для нашего высокотехнологичного будущего заключается в том, что система финансирования критически важных материалов в большинстве стран мира основывается на рынке, который избегает рисков и сосредоточен на немедленной выгоде. У СВММ была долгосрочная, надежная поддержка, редкая для рынков капитала сегодня и все чаще доступная только от правительств. Хотя эти ресурсы имеют решающее значение для будущего, успешное инвестирование в какой-либо проект в долгосрочной перспективе требует понимания технологии, знания процесса добычи полезных ископаемых и геополитики, а также терпения, которым обладают немногие инвесторы, не связанные с государством.

Чтобы приступить к разработке месторождения, требуется время, особенно если речь идет о сложных проектах, таких как редкоземельные элементы, — это хорошо знает инвестор Джефф Филлипс. Необходимо проделать непростые шаги для доказательства того, что компания способна извлечь ресурсы из земли и продать их. Большинство компаний терпят неудачу.

Первым шагом на пути к разработке месторождения является оценка редкоземельной компанией ресурсов редкоземельных элементов в земле — процесс, который может занять от двух до пяти лет. Важна не только распространенность элемента в земле, но и достаточно высокая степень концентрации, позволяющая обеспечить выгодную добычу.

Как только компания находит ресурс, она разрабатывает технико-экономическое обоснование, чтобы показать инвесторам, что она понимает минералогию месторождения и имеет схему производства конечного материала. Проведение такого исследования может занять более пяти лет и стоить миллионы долларов. Далее компания строит демонстрационный завод — это непростая задача, касающаяся многих редких металлов, в особенности редкоземельных, из-за

сложного химического состава, необходимого для их производства. Компания также должна доказать, что может прибыльно производить редкоземельные материалы в больших объемах; она занимается поиском партнеров по проекту, как правило, конечных пользователей, например высокотехнологичных компаний, которые согласятся покупать произведенные металлы. В то же время компания производит оценку воздействия проекта на окружающую среду и занимается получением разрешений от правительства. Общие затраты на эти шаги могут составлять до 100 млн долларов, и это еще до начала этапа строительства.

Когда я начал посещать конференции по редким металлам, я восхищался многими руководителями, которые пытались добиться успеха там, где это казалось невозможным. Но также я испытывал сочувствие к ним. На каждой конференции они рекламировали свои проекты почти одной и той же группе людей, большинство из которых были такими же руководителями компаний, в надежде, что какой-то новый инвестор бросит несколько долларов в их сторону. Как заметил один представитель, они настолько хорошо знали проекты других, что с легкостью могли бы проводить презентации друг за друга.

Но многие в отрасли считают, что руководителей не нужно жалеть. Несмотря на нестабильное состояние отрасли в 2013 году, многие отдельные руководители делали неплохие — а некоторые даже очень неплохие — деньги, только лишь приезжая на эти конференции из года в год. Им требовалось всего несколько инвесторов для воплощения своей мечты. «Их бизнес заключается в том, чтобы продать рыночную капитализацию своих компаний, — говорит Дэнни Лерман из компании по торговле металлами Hudson Metals. — Они получают больше денег, имея полезные ископаемые в земле, чем в производстве».⁵¹

51. Danny Lehrman, interview by David Abraham, New York, November 14, 2013.

Бубар руководит своей компанией Avalon на протяжении почти двух десятилетий и еще не начал производить металлы в коммерчески продаваемых объемах. Но в 2013 году его базовый оклад составлял 400 тыс. долларов, не считая почти 400 тыс. долларов в акциях, которые он мог бы получить, если бы акционерная стоимость компании выросла.⁵² Поскольку малые горнодобывающие компании, такие как Avalon, ничего не зарабатывают, так как они еще ничего не продают, любой потраченный доллар поступает непосредственно из кармана инвестора. Именно поэтому инвесторы могут быть довольны, что Avalon не предложила Бубару бонус в размере 100 000 долларов, как это было в 2011 году, когда акции выросли на фоне роста цен на редкоземельные металлы. Но вы можете возразить, сказав, что реальный куш для руководителей вроде Бубара — это не зарплата, а возможность продать свои 1,5 млн акций Avalon, когда благосостояние компании изменится. С ним будет все в порядке, даже если он уйдет из фирмы; размер его золотого парашюта составит 1,2 млн долларов.⁵³

Если Бубару приходится каждый день убеждать рынок, что он на правильном пути, то у Карнейро из СВММ такой заботы нет. Карнейро занят сохранением доли компании на рынке. Поскольку Китай и Индия продолжают урбанизироваться и повышать качество своей стали, состояние СВММ вместе с рынком ниобия растет. В последние десятилетия спрос на новые здания наряду с бурным ростом строительства в таких странах, как Китай, привели к плохому качеству сооружений, которые нуждаются в перестройке. Непрочная сталь была причиной раз-

52. Avalon Rare Metals, Notice of Meeting, Information Circular, Management Discussion and Analysis and Consolidated Financial Statements for the Year Ended August 31, 2013, www.sedar.com.

53. Avalon Rare Metals, General Proxy Information, Management Information Circular, 2012.

рушения домов, в частности, во время землетрясения в провинции Сычуань в 2008 году.

Когда Карнейро рассказывает, как использование материалов его компании может сделать сталь более прочной и тем самым предотвратить смерти людей от землетрясений и сделать окружающую среду более экологически чистой, вы почти восхищаетесь им. При этом он не нуждается в серьезной поддержке. Один из конкурентов компании сообщил мне, что не может слишком настойчиво посягать на рынок СВММ, потому что у этой компании есть возможность снизить цены, увеличить свою долю на рынке и вытеснить конкурентов. Даже обладая преимуществом низкочатратной шахты, эффективным производством и способностью контролировать еще большую долю на рынке, есть определенная выгода в наличии конкурентов: они позволяют СВММ поддерживать более высокие цены, — такие же, как у конкурентов, — не вызывая при этом недовольства у своих клиентов.

Подобный разговор, похоже, вызвал раздражение у Карнейро. Он сказал, что обходит стороной тех, кто выдумывает «мифы», но не желает открывать свою компанию для пристального изучения, чтобы развеять их. «Мы не хотим попасть на страницы газет. Мы всегда полагали, что те, кому мы нужны, и так о нас знают», — объяснил он. Непрозрачность — одно из основных препятствий для надежного снабжения ресурсами. Чтобы обеспечить непрерывный поток инвестиций и поставки по справедливым ценам, нужна рыночная информация. А когда одна частная организация доминирует на рынке, как СВММ с ниобием, важнейшие рыночные данные о мировых поставках критических материалов отсутствуют, что сдерживает потенциальных инвесторов.

Наш разговор закончился внезапно. Прибыли следующие гости Карнейро. Я вышел из центра приема посетителей и ступил на новый приветственный коврик, белоснежнее того, на котором я ранее оста-

вил свой след. Я сел в машину, ожидая экскурсии по шахте, — обычно следующий шаг после такой дискуссии. Но в этот день у нас не было разрешения на посещение.

На обратном пути я заметил около ста белых флагштоков, выстроившихся вдоль въездной дороги. У входа развивался флаг Бразилии, а наверху холма — китайский флаг, за которым следовали флаги Японии и Кореи. Я не мог понять, были ли они расставлены в зависимости от величины доли собственности страны или от количества заказов из каждой страны. Но посчитал, что это не имеет значения. СВММ стала настолько успешной, что граница между клиентами и владельцами стерлась.

СВММ имеет неоспоримое преимущество, с которым никто не может сравниться, потому что ее рынок настолько мал, ресурсы настолько велики, а эксплуатационные расходы настолько низки. Но когда я уезжал из СВММ, я вспомнил о новой компании NioCorp, бывшей редкоземельной компании, которая еще несколько месяцев назад называла себя самой крупной редкоземельной компанией. Теперь она пытается угнаться за СВММ.⁵⁴

NioCorp не может конкурировать в цене. Компания планирует запустить разработку подземной шахты, которая намного дороже, чем открытое месторождение СВММ. Кроме того, NioCorp вынуждена закладывать расходы на содержание проекта в каждую тонну ниобия, который она продает. Чтобы преодолеть низкую рентабельность и доказать свою жизнеспособность, компания позиционирует себя на рынке в качестве единственного местного источника в США, как бы говоря, что полагаться исклю-

54. NioCorp, «Largest rare earth mine in the world discovered in Nebraska», Press release, May 6, 2010, www.niocorp.com/index.php/press-releases/media/50-largest-rare-earth-mine-in-the-world-discovered-in-nebraska. На сайте компании также отмечается: «Элк-Крик — единственное разрабатываемое месторождение ниобия в США».

чительно на СВММ рискованно. Победит ли этот аргумент («американский ниобий для американской стали»), покажет время. Но одно кажется несомненным: NioCorp продолжит мечтать об инвесторах и приносить доход руководству.

Когда мы возвратились в Арашу, я окинул взором холмы штата Минас-Жерайс (с португальского — «главные рудники»), названного так из-за его богатых месторождений. Вдалеке находится еще одна шахта, которая, подобно СВММ, производит богатый концентрат полезных ископаемых, но вместо того, чтобы обрабатывать элементы на месте, она отправляет их в концентрированном виде в далекий, холодный город с тысячами людей, о чьем существовании никто не знал на протяжении десятилетий. И это то место, где начинаются настоящие проблемы производства металлов.

Проблемы производства: кислотный душ и утечка талантов

В ОТЛИЧИЕ от других советских граждан, у жителей Силламяэ в Эстонии никогда не было недостатка в бананах. Кроме того, они обладали редкой привилегией иметь собственный автомобиль, но из-за ограничений в передвижении большинство не ездили дальше своего рабочего места в Silmet, или Завод № 7, — городского предприятия по переработке металлов, расположенного в конце улицы Центральной. Почти все жители города, который находится всего в тридцати километрах от российской границы, были русскоязычными, некоторые из таких республик, как Узбекистан. Коренные жители составляли менее 5% городского населения. Городу не хватало местной идентичности, но у этого была своя цель. Ученые, работавшие на заводе, занимались сверхсекретными металлургическими процессами — переработкой урана и редкоземельных элементов, ниобия и тантала.¹

Иосиф Сталин построил город в конце 1940-х годов — это была жемчужина Балтийского региона. Когда я посетил его в 2013 году, он по-прежнему блистал великолепием, но за семьдесят лет поизносился. Архитектура города была дерзкой и внушительной: бульвары, посаженные деревьями, двух- и четырехэтажные дома в неоклассическом стиле с величе-

1. Sillamäe town officials, interview by David Abraham, Sillamäe, Estonia, January 22, 2013.

ственными, потертыми фасадами и много зеленого пространства, включая парк с каскадной лестницей, украшенной урнами и горгульями.²

Силламяэ может похвастаться потрясающими видами на Финский залив. Но на протяжении десятилетий посещение города было под запретом. Когда строительство Силламяэ было завершено, на что потребовался труд 18 000 человек и примерно пять лет, Сталин велел стереть его с официальных карт. Имеющий свои собственные системы водоснабжения и электричества, город и его металлообрабатывающий завод стали государственной тайной. Сталин решил основать перерабатывающее предприятие в Силламяэ, поскольку, по данным геологов, город был богат ураном; частично он использовался для создания первой атомной бомбы в стране. Но, несмотря на тщательное планирование, Завод № 7, теперь известный как Silmet, был возведен не там, где нужно. Уран в Силламяэ закончился вскоре после начала добычи. В городе говорили, что ученые переоценили ресурсы, скрывающиеся в обширных запасах нефтяного сланца в регионе. Остается только догадываться, сколько несчастных потратили свои годы жизни в Сибири, размышляя над этой ошибкой.³

После того как руда закончилась, Silmet начал ее импортировать. Эта ввезенная урановая руда содержала примеси — другие металлы, которые усложняли процесс переработки. Вместо того чтобы избавляться от этих примесей, в частности ниобия и тантала, Советы создали еще две технологические линии производства для их извлечения. В процессе легирования ниобий и тантал повышают прочность других

2. Sillamäe, «History: Sillamäe Linn», accessed December 17, 2014, www.sillamae.ee/en/web/eng/history.

3. Sillamäe, «Secret Period: Sillamäe Linn», accessed December 18, 2014, www.sillamae.ee/en/web/eng/secret-period; Olaf Mertelsmann, «The Uranium Enrichment Factory in Sillamäe (Kombinat 7)», *Estonica*, January 28, 2009, www.estonica.org/en/The_Uranium_Enrichment_Factory_in_Sillam%C3%A4e_Kombinat_7/.

металлов и позволяют им переносить экстремальные температуры, что предотвращает их растрескивание, например, в турбинах самолетов. В то время, когда Silmet строил свои новые производственные линии, тантал начал приобретать значение важного компонента в конденсаторах, применяемых в электронике и военных проектах, благодаря своей уникальной способности сохранять электрический заряд.⁴

К несчастью для рабочих Silmet, редкие металлы не так легко отделяются от почвы, как галька от песка. Горнодобывающим компаниям приходится искать способы превращения песка и дробленой породы в металлы, потому что немногие из них находятся в земле в чистом виде. (Примечательное исключение составляет золото.) Добавьте обогащение, концентрацию, расщепление, экстракцию, аффинаж и металлургию, процесс превращения руды в металл путем флотации, обжига и разубоживания породы в кислоте, как мы кратко наблюдали в СВММ. Многие редкие металлы настолько технически сложны для химического производства, что их, скорее, стоит рассматривать как химические творения, а не как геологические минералы.

Обработка редких металлов — это всегда результат компромисса, какие металлы производить, а какие отбраковывать. Поскольку побочные металлопродукты производятся в небольших количествах и нуждаются в собственном технологическом оборудовании, ими часто пренебрегают. Но для многих редких металлов единственный способ производства — это производство в качестве побочных про-

4. «Tech Topics: The Leading Edge», *Kemet*, September, 2001, Vol 11, No. 1, www.kemet.com/Lists/TechnicalArticles/Attachments/143/V11No1%20Nb%20vs%20Ta%20Capacitors.pdf; David O'Brock, interview by David Abraham, Sillamäe, Estonia, January 22, 2013; Sally Lowder, «David Trueman: The Ups and Downs of Minor Metal Investing», *Gold Report*, July 5, 2011, accessed December 18, 2014, www.theaureport.com/pub/na/david-trueman-the-ups-and-downs-of-minor-metal-investing.

дуктов, поскольку их концентрация в земле настолько низка, что горнякам невыгодно заниматься их добычей напрямую.

Одна только организация металлургического процесса для переработки минералов из новой шахты может стоить сотни миллионов долларов. Но даже вложение таких больших сумм не гарантирует успеха. Каждая ступень должна быть усовершенствована путем корректировок и взятия проб до начала следующего этапа. Рафинирование редких металлов требует оптимального соотношения времени, температуры и жидкости. В этом нельзя ошибиться. И нет никаких гарантий того, что компании смогут удерживать затраты на переработку на достаточно низком уровне, чтобы новые шахты были выгодными. Некоторые компании, даже обладая минералами, в которых содержатся редкие металлы, не могут найти правильные сочетания тепла и жидкости для их извлечения. Обработка — это скрытая сторона добычи. Наличие руды — только начало.

Существует три основных этапа по переработке редкоземельных элементов, как и многих редких металлов: увеличение концентрации элементов, извлекаемых из руды; извлечение элементов из концентрированной смеси; выделение собственно редкоземельных металлов. Ни один из этих этапов не является ни дешевым, ни простым; если добавить слишком много серной кислоты, то растворится слишком много минералов, что затруднит извлечение редкоземельных элементов. И риски не только финансовые. «Если вы ошибетесь, вам конец», — говорит Ричард Хэммен, генеральный директор IntelliMet, технологической компании в области редкоземельных металлов. На самом деле обработка некоторых материалов может быть смертельной сама по себе в буквальном смысле этого слова. В Андовере (штат Массачусетс) взорвалась 55-тонная печь, в которой к металлам применялся нагрев и давление. В результа-

те почти три тонны осколков разлетелись вокруг на полкилометра.⁵

Нельзя просто открыть поваренную книгу металлов и изготовить неодим или диспрозий. «Не существует школы, в которой можно научиться извлекать металлы с помощью растворителей, — говорит Алан Левек, бывший директор по исследованиям и разработкам в области редкоземельных элементов в компании Rhodia (нынешней Solvay), рассуждая о химическом процессе выделения редкоземельных элементов. — Вам необходимо самостоятельно приобрести нужные навыки или заключить соглашение с теми, у кого они уже есть». Левек знает, о чем говорит. Компания Rhodia — автор многих технологий по обработке металлов, которые используются в настоящее время. Подробное руководство по обработке редкоземельных металлов под названием «Металлургическое извлечение редкоземельных элементов» пестрит блок-схемами и химическими формулами, но содержит предостережение: «Сведения о процессах, которые фактически практикуются в отрасли, держатся под строгим секретом». И те, кто обладает знаниями, не всегда готовы ими делиться.⁶

Редкоземельные металлы встречаются более чем в 160 различных минералах, но металлурги мастерски научились извлекать элементы только из некоторых. Более того, поскольку каждое месторождение руды уникально, по словам Хэммена, сочетание и количество химических веществ, используемых для производства концентрированных редкоземельных растворов из каж-

5. C. K. Gupta and N. Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths* (Boca Raton, FL: CRC Press, 2005), 352; Richard Hammen, telephone interview by David Abraham, June 10, 2014; Joseph Ogando, «News: Recovering from a Shattered HIP», *Designnews.com*, August 25, 2000, www.designnews.com/document.asp?doc_id=225930.

6. Gupta and Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, 170; Alain Leveque, Lecture, Pro-Edge Second Annual Technology Metals, Toronto, April 21–22, 2013.

дого месторождения, тоже уникальны, хотя в этом процессе и существует определенная стандартная последовательность шагов.⁷

На первом этапе происходит растворение измельченных минералов, породы, в которой содержатся элементы, в смеси кислот, например в хлористоводородной кислоте, для получения концентрированной смеси редкоземельных элементов. Перед такими учеными, как Хэммен, стоит задача отыскать уникальное соотношение кислот, чтобы растворить редкоземельные минералы подобно тому, как соль растворяется в стакане воды.

Иногда растворяется недостаточное количество редкоземельных элементов, что означает потерю большого процента элементов; в других случаях редкоземельная смесь превращается в вязкую массу, усложняя извлечение достаточного количества элементов или даже делая его невозможным. Поскольку большинство минералов, входящих в эту смесь, содержат менее 10% редкоземельных элементов, жидкий раствор не прозрачен. Во многих случаях смесь содержит в десять раз больше железа, чем редкоземельных металлов, из-за чего раствор превращается в богатый солевой настой, который может быть радиоактивным из-за естественным образом возникающих элементов в смеси. Только для того, чтобы дойти до этой стадии, могут потребоваться годы корректировок.⁸

Следующий этап заключается в том, чтобы отфильтровать загрязняющие вещества и экстрагировать элементы из концентрированной смеси с помощью центрифуги или фильтра. Цель состоит не столько в том, чтобы извлечь редкоземельные элементы из смеси, сколько в том, чтобы удалить из нее все остальное. После устранения примесей

7. Tasman Metals, «Rare Earth Elements Ores and Minerals», www.tasmanmetals.com/s/OresMinerals.asp; Gupta and Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, 59.

8. O'Brock, interview, January 22, 2013.

жидкость постепенно становится более прозрачной. Поскольку некоторые примеси, как и сами редкоземы, абсорбируются в кислотный настой, химики добавляют другие кислоты, чтобы изменить уровень кислотности смеси для превращения загрязняющих веществ обратно в твердое состояние. Затем примеси отфильтровываются, оставляя смесь из кислот и редкоземов. Далее кислота выпаривается, и на выходе получается концентрированный серый порошок, состоящий в основном из редкоземельных элементов. На заключительном этапе концентрат распределяется по отдельным порошкам редкоземельных элементов. Именно этим последним этапом компания Silmet, обрабатывающее предприятие в Силламяэ, занималась в советское время и продолжает заниматься сейчас.

Примерно в восьмистах километрах от Силламяэ около 230 лет тому назад, а именно в 1787 году, лейтенант шведской армии Карл Аксель Аррениус во время прогулки вокруг карьера полевого шпата в городе Иттербю нашел любопытный плотный черный камень. Судя по внешнему виду, он происходил не из той шахты. Будучи химиком, Аррениус провел анализ его состава и понял, что обнаружил «новый» минерал, который он назвал иттербитом (ныне гадолинит). Но только в 1789 году финский химик Йохан Гадолин извлек первый редкоземельный элемент из камня — иттрий. Однако поиск следующих элементов в камне оказался непростым. Прошло около десяти лет до того момента, как Йонс Дж. Берцелиус, профессор Аррениуса, открыл еще один редкоземельный элемент, а потом еще пятьдесят лет до обнаружения следующего. На самом деле эти металлы запутали ученых до такой степени, что на протяжении большей части XIX века физики полагали, что дидим представлял собой один элемент, пока в 1880-х годах Карл Ауэр фон Вельсбах не установил, что фактически их было два. Химикам пона-

добилось в общей сложности 150 лет, чтобы получить все 17 редких элементов, последним из которых в 1947 году был прометий.⁹

Сложность, с которой сталкиваются ученые при извлечении всех редкоземельных элементов, заключается в том, что они имеют сходную конфигурацию атомов, что делает идентификацию и размыкание прочных химических связей, которые элементы формируют между собой, непростой задачей. Для получения каждого последующего элемента ученым приходилось прибегать к длительным химическим и нагревательным процессам, чтобы отсечь известные элементы и выделить искомые. В настоящее время рабочие компании Silmet проделывают аналогичные шаги, чтобы получить те редкоземельные элементы, которые они производят.¹⁰

Исторически на долю Silmet приходилось 3% мирового производства редкоземельных элементов, что составляет несколько тысяч тонн в год. В начале 2000-х более этих 3% за пределами Китая никто не производил. Несмотря на уникальную позицию на рынке, Silmet столкнулся с экономическими трудностями, когда Китай начал производить редкоземельные металлы по более низким ценам.

С советских времен кирпичные здания на территории завода Silmet не сильно изменились. Трубы образуют спиралевидный орнамент, словно на картинах М. К. Эшера. Ржавчина и облупившееся изоляционное покрытие на трубах наводит на мысль, что они пришли в негодность, но мой проводник, Дэвид О'Брок, генеральный директор Silmet, заверяет, что они все еще служат своей цели, иначе их бы утилизировали.

9. American Chemical Society, «Separation of Rare Earth Elements — American Chemical Society», n. d., accessed April 11, 2015, www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/earthelements.html.

10. Gupta and Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, 7.

Одна из первых остановок на нашем пути — большая пустая диспетчерская с серыми квадратными панелями управления, заполненная световыми приборами, которые больше не излучают свет, и переключателями, которые больше не щелкают. В центре находится квадратный стол, на котором кнопки и переключатели расположены по обе стороны от места оператора и перед ним. Компания собиралась демонтировать диспетчерскую, но по ностальгическим причинам не сделала этого. Она слишком напоминает О'Броку фильмы про Остина Пауэрса или Джеймса Бонда с Шоном Коннери в главной роли, поэтому он хочет сохранить ее, чтобы компания не забывала о своих корнях.

На протяжении десятилетий социалистическая система награждала Silmet за производство, но не за сбыт, потому что непосредственным покупателем товаров компании выступало государство. Компания занималась производством металлов, но не знала, для чего они используются. О'Броку пришлось выяснять, каковы свойства производимых материалов и кто мог быть потенциальным покупателем.

О'Брок мало походит на руководителя бывшего советского секретного предприятия. Он вырос на ферме в Огайо и забавы ради в 1994 году приехал в Эстонию учиться. Теперь у него жена и двое детей, и он безупречно говорит на русском и эстонском языках. По его словам, компания наняла его для создания прочной финансовой базы.

Когда в 1999 году О'Брок пришел в Silmet, он быстро нашел новых клиентов и в конечном итоге в 2011 году организовал продажу Silmet американской компании Molycorp. Когда мы встретились, я быстро понял, почему клиенты к нему тянулись: он легок в общении и полон мальчишеского задора, когда говорит о своей компании.

После посещения старой диспетчерской мы отправляемся в одно из самых больших краснокирпичных зданий на территории завода. В нем семь

этажей. Передо мной лабиринт из больших стальных труб, которые поднимаются и опускаются над бесконечными рядами прямоугольных контейнеров из нержавеющей стали, похожих на огромные мусорные баки, которые стоят на металлических подмостках на расстоянии нескольких футов от цементного пола. Каждый из трехсот контейнеров пронумерован красными цифрами и имеет толстые приваренные металлические трубки, которые соединяют одну коробку с другой.

О'Брок объясняет мне, что внутри каждого из этих ящичков, называемых экстракторами, находится смесь редкоземельных элементов и кислоты. Поскольку редкоземельные элементы и вообще все элементы немного отличаются друг от друга по весу, редкоземельные сепарируются внутри экстракторов на разных уровнях. Затем экстракторы фильтруют жидкости на разных глубинах, чтобы собрать как можно больше необходимого элемента. Поскольку каждый отдельный экстрактор не особенно эффективен, Silmet приходится обрабатывать смесь триста раз, чтобы отделить жидкость от смеси первых двух редкоземельных элементов, которые производит компания, церия и лантана, самых распространенных и наименее затратных редкоземельных элементов.

Первоначальная партия обрабатывается еще триста раз для того, чтобы извлечь два других элемента, которыми торгует Silmet, — празеодим и неодим. Это может показаться очевидным, но Silmet может производить только тот набор элементов, который поступает в компанию в составе концентрированных минералов. Однако из-за того, что спрос на эти элементы не соответствует их распределению в земле, избыток одних элементов и нехватка других — обычное явление. Помимо этого несоответствия между спросом и предложением, производители, подобные Silmet, не могут заниматься просто извлечением дорогостоящих элементов, потому что существует утвержденная процедура извлечения элементов.

Как мы увидим, у компании Molycorp есть проблема, схожая с проблемами ряда других производителей редкоземельных элементов за пределами Китая; примерно 80% запасов редкоземельных металлов компании приходится на дешевые церий и лантан, которые необходимо произвести, чтобы получить доступ к более ценным элементам. Кроме того, на перерабатывающем предприятии Silmet компании Molycorp производится только один комплекс редкоземельных элементов, которые обычно называют «легкими» редкоземельными элементами, отсылая к их низким атомным номерам, но это также может относиться к количеству выручаемых за них денег. Другая группа редкоземельных элементов, «тяжелые», — более ценная и производится в очень малых количествах, почти все эти элементы происходят из Южного Китая благодаря благодатной геологии региона.¹¹

Производство высококачественных материалов, все более востребованных промышленностью для применения в высоких, «зеленых» и оборонных технологиях, является дорогостоящей и сложной задачей. На самом деле Силламяэ не может производить редкоземельные материалы высокого качества. Местный процесс очистки, хотя и хорош для производства больших объемов, не работает для извлечения и производства высокочистых легких редкоземельных элементов, которые востребованы на рынке. Эта технология применяется в Китае.¹²

Silmet тратит около двух недель на производство редкоземельных элементов в виде порошка, но для обработки многих редких металлов требуется гораздо больше времени. Производство лития — мягкого металла, встречающегося в растворенном виде в со-

11. James Hedrick, «Rare Earths», U. S. Geological Survey, 2004, accessed December 18, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/rareemyb04.pdf.

12. Gupta and Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, 93.

ляных отложениях и наиболее известного потребителям по его использованию в батареях, — может занять от двенадцати до двадцати четырех месяцев.¹³

Не всегда даже редкие металлы производятся путем переработки минералов, зарытых в земле. Германий получают из остатков угольной золы. Кроме того, ученые работают над новыми способами извлечения металлов из самых неожиданных источников, где концентрации металлов очень низкие, например из сточных вод и даже из придорожных растений, которые поглощают палладий из автомобильных выхлопов.¹⁴

Когда геологи говорят, что «качество руды важнее всего», они имеют в виду, что чем выше содержание металла в месторождении, тем больше прибыли принесет шахта. Как правило, это справедливо в случае золота или меди, потому что более богатая руда требует меньше работы по измельчению и переработке, самой дорогостоящей части производства. Но обращать внимание только на уровень содержания руды — значит недостаточно понимать экономику месторождения редких металлов и не осознавать важность этапа переработки. Чтобы понять эти проблемы, нужно обратиться к вопросам эффективности и производственных затрат.

13. Dwight Bradley, *A Preliminary Deposit Model for Lithium Brines*, U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey, 2013, pubs.usgs.gov/of/2013/1006/OF13-1006.pdf; Melissa Pistilli, «POSCO's Lithium Brine Processing Technology Could Be a Game Changer», *Lithium Investing News*, April 4, 2013, accessed December 18, 2014, lithiuminvestingnews.com/7146/posco-lithium-brine-processing-technology-extraction-li3-energy-simbol-chile-signumbox/; «Super Expensive Metals», Periodic Table of Videos, May 28, 2013, youtu.be/FG2WZCZKPYY. Необходимо шесть недель, чтобы произвести платину, и еще четырнадцать недель, чтобы произвести родий, который извлекается из той же руды.

14. Andrew Hunt, «Phytocat: Catalysing the Growth in Metal Recovery», paper presented at the 2nd International Workshop on Rare Metals, Materials Research Society, Boston, November 25, 2012.

Горнодобывающие компании лишаются материалов на каждом этапе переработки, начиная от извлечения минерала из земли до превращения его в металл. Минералы теряются еще до начала добычи, потому что инженеры не могут разработать экономически эффективный план горных работ, который позволял бы добывающему оборудованию извлекать минералы в месторождении из каждого закутка. Помимо этого, минералы утрачиваются во время взрывных работ и при транспортировке. На следующих этапах — дробления породы и помещения ее в кислотные ванны для превращения минеральной руды в концентрат — ценные материалы пропадают в еще больших количествах, равно как и при отделении редких металлов от других металлов в смеси.

Полезно посмотреть, как происходят эти потери. Компания Frontier Rare Earth планирует извлечь 20 млн тонн породы из редкоземельной шахты в Южной Африке под названием Zandkopsdrift, которая представляет собой безжизненный холм на желтовато-красной холмистой равнине. Но, по оценкам компании, она сможет восстановить только 620 000 тонн редкоземельного материала. Исходя из соотношения количества материала к руде, месторождение содержит 3% редкоземельных металлов. По сравнению с другими это бедное месторождение, хотя в нем много дорогостоящих металлов.

Не стоит полагать, что в конечном итоге компания продаст все 620 000 тонн. В дальнейшем Frontier потеряет около 10% редкоземельных элементов при добыче, 24% — при обогащении руды, а затем еще 10–12% — при извлечении и переработке минералов в порошки редкоземельных металлов. В конце концов в течение срока службы шахты компания сможет произвести всего 375 000 тонн порошков редкоземельных металлов — только 60% от общего числа редкоземельных элементов в грунте.¹⁵

15. John Sykes, e-mail, November 8, 2013.

Из-за этих проблем некоторые самые бедные месторождения редкоземельных элементов зачастую оказываются одними из самых прибыльных. В южно-китайской провинции Цзянси содержание редкоземов в руде чрезвычайно низкое — менее 0,2% руды приходится на редкоземельные элементы. Для сравнения: содержание редкоземов на руднике Mountain Pass компании Molycorp, единственной добывающей редкоземельной шахте в Соединенных Штатах, составляет 8,2%.¹⁶ Прибыльной добычу редкоземельных металлов в Цзянси делает глинистая почва, в течение миллионов лет подвергавшаяся воздействию жаркого, влажного климата. Благодаря погодным условиям связь минеральных отложений с глиной не слишком прочная. В результате образовалось мелкозернистое минеральное месторождение, которое легко разрабатывать. Еще более важным фактором являются низкие расходы на обработку руды. Местным жителям остается только снять почву со склона, поместить ее в кислоту и подвергнуть высоким температурам для получения редкоземельного концентрата. И поскольку исторически законодательство о защите окружающей среды здесь не слишком строгое, местному населению нет необходимости тратить на ее сохранение. Обработка редкоземельных элементов настолько проста, что крестьяне на юге Китая после работы на полях могут получить неплохой дополнительный доход.

В Северном Китае рядом с Монголией, в городском округе Баотоу, находится шахта Баян-Обо — крупнейшая в мире добывающая редкоземельная шахта. Только 6% ее руды содержат редкоземельные элементы. Несмотря на ее относительную бедность, это самый дешевый в мире производитель редкоземельных металлов. Большая часть редкоземельных элемен-

16. См.: www.molycorp.com/about-us/our-facilities/molycorp-mountain-pass/; Tony Mariano, telephone interview by David Abraham, November 12, 2013.

тов Баян-Обо смешана с теми же минералами, что и на шахте Молусогр. Но китайцы производят редкоземы дешевле, потому что Баян-Обо — не только редкоземельная шахта. Это шахта по добыче железной руды с очень выгодным побочным бизнесом редкоземельных элементов. Поскольку Баян-Обо уже занимается добычей и обработкой руды для извлечения железа, обработка редкоземов требует половины затрат на такую же работу в другом месте.¹⁷

На самом деле редкоземельные металлы, как и большинство малых металлов, часто являются побочными продуктами добычи других неблагородных металлов. Например, обработка алюминия и цинка дает галлий; никелевые и медные месторождения производят кобальт; при добыче цинка извлекается индий. В одной только меди около десятка следов редкоземельных металлов. Наличие побочных продуктов в месторождении в конечном итоге может оказаться благом для компании; однако многие компании так не считают. Для них эти редкие металлы скорее неприятность, примеси, от которых необходимо избавиться, что увеличивает металлургические затраты на переработку и приводит к утрате элементов, которые в других обстоятельствах считались бы ценными.¹⁸

В 2011 году на заводах было обработано только 585 тонн теллура — элемента, названного в честь римской богини земли Теллус. Отчасти это связано с его ограниченной доступностью: в земной коре содержа-

17. Keith R. Long et al., *The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States: A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective* (Reston, VA: U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey, 2010), available at pubs.usgs.gov/sir/2010/5220/; Luisa Moreno, «Demand Ahead: Metal Pages Rare Earth Conference in Shanghai», *Europac Commentary*, 2013, www.europac.ca/commentaries/demand_ahead_metal_pages_rare_earth_conference_shanghai.

18. Thomas Graedel, interview by David Abraham, New Haven, CT, April 8, 2013; U. S. Geological Survey, «Mineral Commodity Summaries 2013», January 24, 2013, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf.

ние теллура в четыре раза меньше, чем золота. Почти все текущие поставки приходится на отходы от меди, что вызывает экономическую проблему. Поскольку побочные металлы добываются не напрямую, они не слишком хорошо подчиняются законам спроса и предложения. Если у компаний нет легкого доступа к отходам от меди, обогащенной теллуrom, то высокая цена на теллур редко оказывается достаточным стимулом для горняков добывать больше меди. Он недостаточно ценен.¹⁹

Совместное исследование Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии США и Колорадской школы горного дела показало, что стоимость медной руды в шахте в тысячи раз превышает стоимость теллура. Авторы отмечают, что предложение теллура, особенно в краткосрочной и среднесрочной перспективе, соответствует спросу не на теллур, а скорее на медь. За десять лет, с начала 2000-х годов, цены на теллур выросли в десять раз, однако производство теллура в медной промышленности застопорилось.²⁰

Этот редкий металл восстанавливается с целью переработки только из высокосортной медной руды. Таких источников все меньше, потому что качество

19. AZO Materials, «Tellurium Dioxide (TeO₂): Properties and Applications», accessed December 18, 2014, www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5817; Martin Lokanc, Roderick Eggert, and Michael Redlinger, «The Availability of Indium: The Present, Medium Term, and Long Term», Technical Report NREL/SR-6A20-62409, July 2014. This is from a National Renewable Energy Laboratory technical report prepublication version; Laura Talens Peiro et al., «Rare and Critical Metals as By-Products and the Implications for Future Supply», working paper, 2011, www.insead.edu/facultyresearch/research/doc.cfm?did=48916.

20. John Peacey, e-mail, March 1, 2014; Martin Lokanc, Roderick Eggert, and Michael Redlinger, «The Availability of Indium: The Present, Medium Term, and Long Term», Technical Report NREL/SR-6A20-62409, July 2014. Hans Imgrund and Nicole Kinsman, «Molybdenum: An Extraordinary Metal in High Demand», *Stainless Steel World*, September 2007, www.imoa.info/download_files/molybdenum/Molybdenum.pdf.

медной руды снижается. Изменение системы переработки низкосортной меди для максимизации извлечения теллура означало бы создание целой новой системы обработки, которая принесла бы в жертву производство меди. Горнодобывающие компании даже не рассматривают такое решение; теллур — низкодоходный элемент по причине маленького рынка — в 2012 году сотни тонн произведенного теллура имели рыночную стоимость около 100 млн долларов, тогда как 17 млн тонн меди стоили 136 млрд долларов.²¹

Более того, восстановление из вторичных источников неэффективно. К примеру, перерабатывающие компании восстанавливают только 20% индия из связанного с ним металла — цинка. Это происходит из-за потерь индия на каждом этапе процесса переработки цинка, поскольку экономический стимул обеспечивать высокий уровень индия ничтожно мал. Авторы из Национальной лаборатории возобновляемой энергии США обнаружили, что из-за специфики производства побочных продуктов поставки таких металлов, как индий и теллур, реагируют на повышение цен поэтапно, а не постепенно, как в случае с такими сырьевыми товарами, как нефть или уголь. Для стимулирования нового, более дорогого способа производства цены должны пересечь определенные пороговые значения.²²

Например, авторы подсчитали, что, если бы цена на индий составляла около 300 долларов за килограмм, нынешние перерабатывающие предприятия могли бы прибыльно производить от 1800 до 2900 тонн. Это значит, что более высокая цена может быть стимулом для некоторых компаний производить больше с минимальным повышением цен.

21. Michael W. George, «Tellurium», U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2014, accessed December 18, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/selenium/mcs-2014-tellu.pdf; U. S. Geological Survey figures, Metal-Prices, author's estimates.

22. Lokanc, Eggert, and Redlinger, «The Availability of Indium», 4.

Тем не менее для производства 3000 тонн цена индия должна была бы вырасти до 600 долларов за килограмм, потому что компаниям пришлось бы делать значительные инвестиции в производство. Более того, авторы пришли к выводу, что по крайней мере в течение пяти лет на рынке не появится дополнительное производство, а это означает, что, если, например, спрос на солнечные батареи или плоские экраны с использованием индия возрастет, предложение иссякнет.²³

Пока мы ходим в этот поздний январский полдень под слабыми лучами заходящего зимнего солнца по территории обветшалой фабрики советских времен, О'Брок рассказывает мне, как налаживание производства редких металлов — порошков редкоземельных тантала и ниобия — помогло Silmet выжить в постсоветском мире. Разнообразие его продуктов гарантирует, что один из металлов всегда находится на достаточно высокой ценовой отметке, чтобы субсидировать производство остальных.

Суровые выражения лиц на эстонском заводе довольно сильно отличаются от улыбок в Араше, шахтерском городе в Бразилии, в котором добывают ниобий. Несмотря на географические и культурные различия регионов, заснеженный Силламяэ и покрытые зеленью холмы Бразилии находятся друг от друга на расстоянии одной остановки — на грузовом судне — в линии поставок ниобия. Измельченная руда, из которой О'Брок производит свои металлы, поступает из той же области Бразилии, что и ниобиевая шахта гиганта СВММ.

Поскольку из-за низких издержек СВММ удовлетворяет 85% потребностей ниобия в мире, компания может задушить таких производителей ниобия, как Silmet. Однако Silmet нашла свою небольшую выгодную нишу. Эстонское перерабатывающее предприя-

23. Ibid., 3.

тие продает специализированный высокосортный ниобий в небольших объемах не гигантским международным компаниям, а университетам и мелким производителям. Металлы компании Silmet используются в магнитно-резонансных томографах, телевизорах и даже электромагнитах, которые управляют потоками протонов вокруг Большого адронного коллайдера в Европейском центре ядерных исследований (CERN), самого мощного ускорителя частиц в мире, который базируется в Швейцарии.²⁴

О'Брок не любит показывать, что происходит на начальной стадии обработки ниобия из бразильских поставок. Он гордится безопасностью своего завода, но отмечает, что здание все же представляет угрозу, так как при производстве образуется много летучей пыли. «Каждый год в Китае взрывается какая-нибудь фабрика», — говорит он мне, добавляя, что в 2009-м из-за нарушений в производственном процессе произошел пожар на одном из заводов-конкурентов в Бразилии.²⁵

Тем не менее О'Брок приводит меня в помещение, где на стальном стеллаже стоят двухметровые блестящие металлические блоки. На заводе Silmet смешивается порошок, содержащий 94% ниобия, с 6% алюминия для более легкого превращения ниобия в металл. В то время как редкоземам нужна смесь кислот для производства металла, высококачественному ниобию требуется интенсивный нагрев.

Рабочие загружают ниобиево-алюминиевые слитки в длинную голубую емкость печи, в которой ме-

24. Tia Ghose, «New Atom-Smashing Magnet Passes First Tests», Live Science, July 12, 2013, www.livescience.com/38129-large-hadron-collider-magnet-passes-tests.html; Lynn Yaris, «Successful Test of New U. S. Magnet Puts Large Hadron Collider on Track for Major Upgrade», News Center, July 11, 2013, newscenter.lbl.gov/2013/07/11/new-magnet-for-lhc/.

25. «Molycorp-Silmet AS, David O'Brock's interview», Ruslan TV, April 16, 2011, www.youtube.com/watch?v=JMZMJICWUJA; O'Brock, interview, January 22, 2013.

талл подвергается воздействию белого электронного луча, нагревая его до 2300 °С. При такой температуре испаряется почти все, кроме ниобия, который превращается в жидкость и собирается в нижней части печи.

Производство металла высокой степени очистки является дорогостоящим часто из-за длительного процесса чередования применения высоких температур и кислот. Помимо того что оборудование стоит десятки миллионов долларов, производство при такой высокой температуре требует огромного количества электроэнергии. И, несмотря на все усилия сотрудников компании, посторонние примеси распространяются повсюду — они содержатся в кислоте, в печах и даже в воздухе. В конечный продукт все время проникают нежелательные элементы, такие как кислород, дестабилизируя усилия по производству высококачественного дорогостоящего материала, в котором нуждаются клиенты Silmet.²⁶

Во время нашей экскурсии меня поразил возраст некоторого оборудования Silmet. Например, в ниобиевой печи имеется панель управления советской эпохи, которая напоминает систему видеоигр Atari. Несмотря на устаревшие инструменты, О'Брок гордится тем, что его металлурги производят качественный материал эффективнее, чем компании с более новым оборудованием.

Расстояние от Силламяэ до провинции Цзянси на юге Китая, сердца редкоземельных тяжелых металлов страны, — 7000 километров, но немногие места на планете могут показаться столь удаленными друг от друга. Когда я приблизился к входу в большой бетонный барак, расположенный на покатом склоне холма, меня обдало волной горячего воздуха, превосходящего по интенсивности и без того удушающую влажную летнюю жару. Войдя, я поднял глаза и увидел пере-

26. Gupta and Krishnamurthy, *Extractive Metallurgy of Rare Earths*, 296.

плетение из толстых ветвей деревьев, поддерживающих жестяную крышу. Если бы стены этого здания были из глины, я бы подумал, что это церковь в бедной африканской деревне. По всей длине здания были расставлены десять небольших печей, из отверстия над каждой из которых виднелось пузырящееся оранжевое свечение. За каждой печью на крючке висел ламинированный бумажный знак с красными буквами — NO или DY (гольмий и диспрозий), обозначающими конкретный металл, кипящий в печи.

На этом заводе, расположенном на холмах недалеко от места добычи материалов, почти все рабочие носили легкие серебристо-бежевые брюки и куртки с молниями, которые многие действительно использовали. У большинства рабочих на лице были маски, но не такие, которые действительно защищают от вредных токсинов, а как у стоматологов: для того, чтобы не забрызгаться. У тех, кто был без маски, изо рта торчали сигареты. Поскольку их руки были заняты, при работе молотком для проставления клейма на металле или при выливании порошка из металлического ковша в котелок размером с кофейную чашку, который затем помещали в печь, — курить им все время что-то мешало. На присутствие иностранных гостей они не обращали внимания.

За исключением небольшого естественного сквозняка, в здании почти не было вентиляции. Вдоль верхней части стены над печами висела длинная вытяжка. Она больше походила на импровизированный дымоотвод, чем на эффективное средство для поддержания чистоты воздуха. Если Silmet можно было охарактеризовать как низкотехнологичный, то этот завод был доисторическим.

Но, несмотря на кажущийся недостаток технического оснащения, этот плавильный завод в Цзянси и другие предприятия поблизости поставляют материалы для самых передовых технологий в мире. Смартфон в моем кармане появился благодаря одному из этих низкотехнологичных котлов, на кото-

рые я смотрел. Пытаясь понять ДНК моего гаджета, я ощутил жжение в горле и носу. Японский коллега сказал мне, что все дело во фтористых газах. По его словам, некоторые люди могут ощущать негативное влияние фтора, что плохо сказывается на здоровье. Позже я узнал, что фтор может нанести серьезный вред глазам, коже и дыхательной системе. В некоторых случаях возможен смертельный исход.²⁷

Мы быстро покинули здание и отправились в другие плавильные помещения поблизости. В некоторых из них печи были больше, а рядом с ними пустовали бетонные пространства. Директор сказал, что ждет прибытия дополнительного оборудования для увеличения мощности компании. Эти здания выглядели такими же устаревшими, как и остальные, но он попросил меня не фотографировать.

В нескольких километрах от металлообрабатывающего завода находилось предприятие по извлечению редкоземелов. Оно было похоже на то, что я видел в Силламяэ, но с несколько более современным оборудованием, которое размещалось на складе с жестяной крышей. Самым поразительным в этом месте было не его оснащение, а то, что оно лежало мертвым грузом. Такое количество мощностей по переработке в Китае появилось потому, что компании строили с запасом, и в сочетании с попытками правительства по борьбе с незаконной добычей полезных ископаемых это привело к снижению производства редкоземельных минералов. В 2013 году производство редкоземельных металлов в Китае страдало именно от избытка, а не от нехватки производственных мощностей.

Начинающие компании по добыче редкоземельных металлов, желающие конкурировать с Китаем, должны понимать, что даже если они смогут привлечь

27. T. S. S. Dikshith, *Hazardous Chemicals Safety Management and Global Regulations* (Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2013).

сотни миллионов долларов для запуска нового предприятия, китайские производители в любой момент могут открыть законсервированные производственные линии и снизить цены по всему миру, поставив под угрозу все инвестиции. Молодые горнодобывающие компании могут иметь все передовые технологии, которые только можно приобрести, но если они не в состоянии конкурировать с операционными издержками китайских предприятий, это им не поможет. У Китая было множество причин принять меры по сокращению незаконного производства металлов — от обеспечения соблюдения компаниями правил охраны окружающей среды и труда до сокращения предложения с целью повышения цен на редкоземельные элементы. Когда я ходил по заводу, я увидел разрушенный холм с вырытой перед ним ямой в непосредственной близости от предприятия. Директор рассказал мне, что планирует удвоить возможности обработки для получения большей прибыли и поэтому нуждается в дополнительном пространстве.

Несмотря на важное умение превращать минералы в металл, к сожалению, опытных практикующих геологов и металлургов становится все меньше, особенно на Западе. В Соединенных Штатах средний возраст рабочих в горнодобывающей отрасли приближается к пятидесяти годам; большинство из них уйдет на пенсию в ближайшие десять — пятнадцать лет. Точно так же в Канаде, по данным источников отрасли, к 2020 году почти 60 000 рабочих могут выйти на пенсию, в то время как сектору могут потребоваться 100 000 новых работников. У компании Avalon Rare Metals ушло два года на то, чтобы найти вице-президента по металлургии, а во время поисков исполняющими обязанности были два металлурга семидесяти и восьмидесяти лет.²⁸

28. Clifford N. Brandon III, «Emerging Workforce Trends in the U. S. Mining Industry», Society for Mining, Metallurgy and Exploration,

«Все дети — геологи, — сказала мне Миа Боириди. — В какой-то момент они все приносят домой камни». Боириди, директор программы Dynamic Earth в образовательной организации Science North в Канаде, рассказывает детям о чудесах, которые скрывают в себе окружающие нас минералы. На пути к взрослой жизни большинство детей теряют интерес к камням. Жизнь набирает темп, и люди тратят больше времени на то, чтобы смотреть в будущее, а не под ноги. «Этим искусством занимается мало людей», — сетует Корби Андерсон, профессор металлургии Колорадской школы горного дела и сам горняк в третьем поколении. У этого есть серьезные последствия.²⁹

Отсутствие компетентной рабочей силы даже в таких странах с внушительной историей горной добычи, как Австралия и Канада, приведет к медленному развитию местных шахт в западных странах и к растущей зависимости от месторождений в Китае, России и Бразилии, разрабатываемых китайскими, русскими и бразильскими инженерами. Кроме того, это означает, что число наставников на Западе, необходимых новым молодым ученым для совершенствования своих навыков и получения важной информации, будет снижаться.³⁰

Стив Юэ, декан факультета горного дела и материаловедения в Университете Макгилла, отмечает, что становится все труднее привлечь студентов в металлургию и очень сложно найти новых профессоров.³¹ Учитывая недостаточный набор студентов

January 3, 2012, accessed December 18, 2014, www.smenet.org/docs/public/EmergingWorkforceTrendsInUSMiningIndustry1-3-12.pdf; Deloitte, «Tracking the Trends 2011: The Top 10 Issues Mining Companies Will Face in the Coming Year», 2010, www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/international-business/ca-en-ib-tracking-the-trends-2011.pdf; various Interviews with Avalon employees, 2012, 2014.

29. Mia Boiridy, e-mail, September 23, 2014; Corby Anderson, phone interview by David Abraham, September 2011.

30. Brandon, «Emerging Workforce Trends».

31. Steve Yue, e-mail, December 20, 2013.

в сочетании с тем, что инженерия и металлургия — настолько же опытные области исследования, насколько и научные, может оказаться так, что на первый план в проблеме производства редкоземельных ресурсов, особенно на Западе, выйдет не геологический или экономический фактор, а человеческий. Корби Андерсон считает, что дефицит подготовленных горных инженеров и металлургов может сказаться на нашей способности производить материалы, необходимые нам в ближайшее время.

Однако клан Андерсона оказывает помощь. Сын Андерсона, Кейлен, работает с отцом в одном здании и на одном этаже. Кейлен рос, копая землю на медном руднике, и быстро понял, что предпочел бы проектировать шахты, а не рыться в них. Он — многообещающий гидрометаллург, химик, который для извлечения металлов использует жидкость, а не тепло. По его словам, он один из немногих будущих докторов гидрометаллургии, которые западные университеты произведут в течение следующих пяти лет, а это означает, что большой конкуренции при поиске работы у него не будет.

Проблема в том, что малоизвестное искусство металлургии получает недостаточно поддержки, даже на ухоженных газонах Колорадской школы горного дела, где горнодобыча буквально присутствует в названии учебного заведения. Витринное здание кампуса, в котором находится факультет технологии нефтедобычи, не имеет ничего общего с камнями. Согласно доске попечителей школы, компании ConocoPhillips, Hess и Schlumberger пожертвовали по меньшей мере по 1 млн долларов на оснащение этого современного здания плоскими экранами и конференц-залами, заставленными маленькими восточными вазами в стеклянных шкафах-витринах. Названия компаний мелькают повсюду: Halliburton и Hess спонсировали поточные аудитории; Marathon Oil финансировала создание передового центра исследований нефтеносного пласта. Даже светодиодная подсветка

перил, ведущих навверх из трехэтажного застекленного вестибюля, говорит о том, что школа понесла немалые расходы.

Металлургический факультет, где работают Кейлен и его отец, находится на противоположной стороне кампуса в непримечательном бежево-кирпичном здании. На самом деле это несколько беспорядочно расположенных строений. Офис темный даже в дневное время, но функциональный и явно на порядок современнее изношенного факультета экологии, в котором все еще громко гудят белые флуоресцентные лампы, а много раз перекрашенные стеклянные окна ждут, когда их заменят на энергосберегающие.

Но Кейлену повезло: он работает в единственном горном институте в стране, где изучают редкоземельные металлы.³²

Сложная задача в деле производства редких металлов, необходимых миру, заключается в том, что отпрыскам Андерсона и их коллегам будет требоваться больше поддержки. Чтобы открыть секреты извлечения элементов из тысяч минералов, а не только из тех, которые добываются сейчас, миру нужны хорошие металлурги.

Компания Silmet делает свою работу превосходно, но я бы отметил, что настало время для обновления — не только для более совершенного оборудования, но и для новых идей. Инновации в процессах переработки, предлагаемые грамотными и квалифицированными рабочими, могут принести на рынок гораздо больше материалов по более низким ценам, чем усилия горнодобывающих компаний, которые просто ищут новые месторождения. Новые источники металлов, будь то новые минеральные месторождения, отходы добычи или даже сточные воды,

32. Valerie Bailey Grasso, «Rare Earth Elements in National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress», Congressional Research Service, 2013, www.fas.org/sgp/crs/natsec/R41744.pdf.

могли бы помочь снизить мировую зависимость от ограниченного числа открытых месторождений.

Но политики, академические институты и даже инвесторы часто не обращают внимания на проблемы производства, как будто компаниям нужны одни только минералы, чтобы быть продуктивными. Пока металлурги не найдут более эффективные способы обработки редких металлов, Silmet будет продолжать свою металлургическую традицию, которая восходит к советской эпохе. К счастью для О'Брока, он знает, что у его продукта есть покупатели. Тем не менее из-за сети трейдеров, которые выступают в роли невидимой связи между производителями и продуктом, он, возможно, никогда не узнает, куда пойдут его редкие металлы.

Торговые сети: контрабандисты и перебой в поставках

«**В**Ы ВСТРЕЧАЛИСЬ с Супер Марио? — спросил меня руководитель аналитического отдела японской торговой фирмы. — Вы должны встретиться с ним». Он пояснил, что Супер Марио, известный итальянский водопроводчик из видеоигры Nintendo, — это прозвище главного поставщика редкоземельных металлов для японских компаний Сигео Накамура. Он один из невоспетых героев японской индустрии, тот, на чьих плечах лежит ответственность за доставку в страну высокотехнологичных редкоземельных элементов, используемых производителями камер для полировки стекла, и фосфоров для плоских экранов. Он служит связующим звеном между обрабатывающими предприятиями, такими как Silmet, и японскими производителями высокотехнологичных товаров. Накамура — часть небольшого, сплоченного братства (трейдеры — почти все мужчины), где люди зарабатывают огромные деньги, просто торгуя металлами вроде индия или феррониобия.

Большинство крупных японских торговых домов, таких как Mitsui, Marubeni и Sumitomo, стараются избегать малых металлов. Торговым компаниям, поставляющим миллионы тонн недрагоценных металлов, неудобно заниматься несколькими тоннами неодима, одного из редкоземельных металлов, или сотнями килограммов тантала, к тому же это гораздо менее выгодно. Из-за нежелания больших корпораций торговать этими материалами образовалось пространство для

Super Mario/Сигео Накамуры, который основал свою компанию Advanced Materials Japan как специализированный металлоторговый дом, ставший ведущим в стране поставщиком редкоземельных элементов. Он входит в сеть небольших специализированных компаний, которые формируют костяк глобального рынка редких металлов.

Накамура получил это прозвище благодаря своим пышным черным с проседью усам, похожим на усы героя Nintendo, и своей веселой манере. Накамура сам по себе интересный персонаж; существует множество комиксов, романтизирующих его подвиги по возвращению ресурсов в Японию, — капитан японской промышленности в стране, которая сделала национальным приоритетом для отечественных торговцев импорт 50% используемых ею редких металлов.¹

Источники основных продуктов компании Advanced Materials Japan — это холмы Южного Китая или степи Внутренней Монголии. Но некоторые трейдеры достают металлы отовсюду, где только можно; иногда это означает, что материалы, поступающие из Вьетнама, могли быть вывезены контрабандой из Китая. Многие клиенты не хотят знать о происхождении металлов; для них важна бесперебойная поставка дешевых ресурсов, соответствующих их спецификациям. Такая позиция невмешательства дает возможность торговцам поставлять металлы с разной степенью законности.

Прежде чем попасть из шахты в ваш ноутбук, редкие металлы проходят сквозь темную сеть из торговцев, обрабатывающих предприятий и производителей комплектующих. Трейдеры — это посредники, которые не просто покупают и продают редкие металлы: они регулируют информацию и являются невидимым связующим звеном, средством сообщения

1. Ministry of Economy, Trade and Industry, «Strategy to Secure Rare Metal», 2009, Tokyo.

между металлургическими заводами, такими как Silmet, и компонентами наших ноутбуков.

Хотя личные отношения, надежность и качество имеют значение, побеждает в конечном итоге цена. Непрозрачность рынка редких металлов в сочетании с ограниченным количеством шахт и переработчиков обуславливает нестабильные каналы поставок ресурсов и колебание цен. Никто не знает истинного размера этих рынков. Даже Геологическая служба США, которая отслеживает объем рынка каждого металла, не берет на себя ответственность оценивать рынки некоторых малых металлов. Это отсутствие прозрачности способствует волатильности рынков и позволяет слухам занять место информации и анализа.

Более того, большинство критически важных материалов должны отвечать настолько строгим требованиям, что они больше похожи на продукцию, в которой они используются, например микропроцессоры, чем на сырье вроде меди или железа. В отличие от товаров, которые беспрепятственно продаются в стандартных количествах на биржах, сделки с редкими металлами совершаются в результате закулисных переговоров, часто в небольших объемах и исходя из нужного качества для конкретных целей. В некотором роде система торговли малыми металлами настолько устаревшая, что напоминает времена, когда сырьем торговали до возникновения бирж.

В странах со слабой правоприменительной практикой контрабанда может быстро прижиться, в некоторых случаях подпитывая конфликт. Одно слабое звено в цепочке поставок способно спровоцировать паралич всего рынка: цены либо взлетят, либо резко упадут. Способность торговцев малыми металлами ориентироваться в этом непрозрачном рынке — и в то же время поддерживать его — делает трейдеров, подобных Ноа Лерману, незаменимыми.

Ноа Лерман рассуждает об экономических реформах в Китае с уверенностью и непринужденностью

аналитика с Уолл-стрит. Однако неряшливая рыжая борода и волосы до плеч выдают в нем того экзистенциального исполнителя песен, которым гордятся его промоутеры. Он, вероятно, единственный человек в истории, который поет на сцене Jewish Grateful DeadFest и одновременно является советником Конгресса США в области безопасности ресурсов. Лерман — владелец семейного бизнеса и входит в ту же сеть компаний малых металлов, к которым принадлежит и Накамура, где хорошие межличностные отношения означают стабильный бизнес.

Помимо этого Лерман — представитель США в Торговой ассоциации малых металлов, главной организации для торговцев редкими металлами. Сорок лет назад, на заре эпохи редких металлов, примерно в то время, когда калькуляторы стали первыми электронными карманными компьютерами, группа молодых трейдеров начала продавать отработанные металлы с заводов. Их продавали ученым и компаниям по производству электроники просто в попытке заработать дополнительные деньги для своих производителей. Они объединились, чтобы создать Торговую ассоциацию малых металлов. Мария Кокс, нынешний исполнительный директор ассоциации, рассказала мне, что инициатива создания организации, вероятно, появилась, подобно другим аналогичным профессиональным группам, как возможность выпить с друзьями, а теперь она является основным органом, представляющим трейдеров, и насчитывает 140 компаний-членов во всем мире.

Офис Лермана по-домашнему уютный, несмотря на то что находится на восемнадцатом этаже здания, расположенного неподалеку от Центрального вокзала Нью-Йорка. Стены увешаны янки-атрибутами, а в деревянном книжном шкафу расставлены образцы металлов и литые модели самолетов, в том числе British Airways Concorde, который последний раз поднялся в воздух в 2003 году. Все это указывает не только на характер клиентов компании, но и на то, как

долго она занимается этим бизнесом. Администратор офиса трудится здесь уже двадцать лет.

«В разгар холодной войны к моему отцу приходили на обед люди из Коммунистического Китая и Советского Союза», — говорит мне Лерман. Его отец, Дэнни, родился в Боливии и имеет немецко-венгерские и французские корни. Он участвовал в открытии рынков малых металлов по всему миру, когда работал в фирме своего дяди. В конце 1970-х он отправился в Китай и Советский Союз и стал первым человеком, который привез хром из этих стран. Спустя нескольких успешных лет работы в фирме дяди Дэнни основал собственную компанию Hudson Metals.

Как и Накамура в Японии, семья Лерманов обеспечивает связь между китайскими поставщиками вольфрама и российскими поставщиками титана и компаниями, которые производят авиационные двигатели и медицинские приборы. Поскольку Ноа специализируется на Азии, звонки после полуночи на мандаринском диалекте китайским торговцам — обычное для него дело. Но возникает ощущение, что даже если бы ему не нужно было работать так поздно, он все равно бы не спал в это время.

Каждые несколько месяцев Ноа совершает путешествие в отдаленные места Китая, куда добираются немногие иностранцы. У него есть связи, не ограничивающиеся деловыми отношениями. У одной китайской семьи, которая знает, что Ноа соблюдает кашрут, но плохо понимает, что это в реальности значит, есть специальный набор кастрюль, в которых они готовят ему пищу, когда он их навещает. Поддержание таких отношений очень важно для бизнеса, который зависит от репутации, когда речь идет о поставках качественных металлов.

Когда я задал вопрос Ноа о низком технологическом уровне обрабатывающего оборудования, которое я видел в Цзянси, он заверил меня (учитывая, что он проводит в Китае несколько месяцев в году), что оборудование соответствует технологическим задачам:

«Мы нагреваем вещи и измельчаем их». Для этого, по его словам, нет необходимости в самом современном оборудовании. Подобно Дэвиду О’Броку, главному исполнительному директору Silmet, Лерман склонен больше полагаться на мастерство рабочих, которые производят эти металлы, чем на новейшие инструменты. Они оба считают, что металлурги понимают этот процесс так, как этого не может сделать механизированное оборудование. Для Лерманов важнее всего способность бесперебойно поставлять высококачественные металлы.

«Мы полностью ориентированы на конкретные характеристики», — говорит мне Дэнни Лерман. В отличие от торговцев другими товарами, вроде нефти, которые сидят за экранами компьютеров, анонимно продавая баррели одного и того же сорта нефти на биржах, Дэнни должен отвечать повышенным требованиям своих клиентов. Он не может просто торговать металлом стандартного качества; металл должен соответствовать качеству, необходимому его клиентам. Одна партия ненадлежащего качества способна испортить отношения. На этот риск он не может пойти. Поддержание долгосрочных отношений с поставщиками и проведение выборочных проверок снижает риск того, что клиентам достанется плохая партия. Как гласит русская поговорка: «Доверяй, но проверяй».

Рынок жесток, особенно в Азии. По рассказам многих трейдеров, китайские фирмы оказываются сложными партнерами. Формы контрактов более свободные, и условия могут меняться, особенно когда завязываются новые торговые отношения. По словам Майкла Рапапорта, торговца редкими металлами, когда-то сотрудничавшего с Лерманами, «китайцы могут менять правила, особенно если рынок благоволит вам». Они могут отказаться от контракта. Рапапорт избегает долгосрочных соглашений и сразу же принимает поставку. Таково распространенное мнение в отрасли.²

2. Michael Rapaport, telephone interview by David Abraham, January 7, 2014.

В отличие от недрагоценных металлов и товаров наподобие нефти, торгуемых на биржах с четко обозначенными ценами и объемами, для большинства редких металлов не существует общепринятых базовых цен. На рынке многих малых металлов, таких как ниобий, доминируют несколько производителей, которые хранят свои данные в секрете, что создает трудности при определении реальной цены. В условиях закулисной торговли Лерманы — лучший источник получения информации о динамике цен и тенденциях в производстве материалов, которыми они торгуют.³

На веб-сайте медиакомпании *Metal-Pages* находится один из самых надежных прејскурантов в отрасли, но он основан на сообщениях покупателей и продавцов — едва ли незаинтересованных источников — о своих ценах. В этом процессе несложно увидеть возможности для манипуляций. Если банки по всему миру всю занимают незаконными манипуляциями с ценами на золото и ставкой LIBOR (процентная ставка, которую банки используют для кредитования друг друга, подкрепляемая сотнями триллионов долларов в виде займов и других ценных бумаг) ради собственной выгоды, трудно представить, что у трейдеров в Лондоне или Ганьчжоу не возникнет соблазна сообщать недостоверные цены с пользой для себя.⁴

По словам члена Торговой ассоциации малых металлов (ММТА), многие трейдеры вполне довольны непрозрачностью рынка, несмотря на сложность закулисных сделок. Они находятся в привилегированном положении. В отличие от тех, кто просто покупает или продает на рынке, трейдеры знают ис-

3. Лондонская биржа металлов недавно начала торговать кобальтом и молибденом, но результаты пока не позволяют сделать однозначные выводы об успехе.

4. Chad Bray, «Regulator Fines Barclays Over the Pricing of Gold», *New York Times*, May 23, 2014, dealbook.nytimes.com/2014/05/23/barclays-fined-43-9-million-in-setting-price-of-gold/?hp&_r=0.

тинные рыночные цены, а также владеют информацией о транзакциях. И поскольку они поддерживают личные отношения как с продавцом, так и с покупателем, им проще купить материалы по низкой цене, придержать их, а затем продать по более высоким ценам. Эти преимущества имели в виду члены ММТА, когда в 2009 году они отказались от предложения работать с Лондонской биржей металлов на основе «онлайн-системы ценообразования», — 60% проголосовали против этого предложения.⁵

Один член ММТА объяснил это нежеланием менять характер бизнеса. Открытые цены лишили бы их конкурентных преимуществ. Торговля на бирже могла бы позволить производителям снизить свои риски за счет хеджирования, по сути, покупки будущих объемов сырья по фиксированной цене, так называемых «фьючерсов». Но в то же время биржа может подорвать личные отношения конечного пользователя со своим трейдером, обеспечивающим надежную доставку, что в конечном итоге может быть более важным фактором для долгосрочной безопасности ресурсов клиента, чем хеджирование и экономия 5%. Лерманы обеспечивают эту безопасность поставок наряду с рыночным консультированием своих клиентов. В этом отчасти кроется причина, по которой они считают себя негоциантами (merchants), а не «торгашами»-трейдерами (traders), — это слишком уничижительный термин.

Сейчас Дэнни Лерман рассказывает своим клиентам, что он наблюдает изменения на рынке. Хотя торговля малыми металлами происходит на основе разного типа договоренностей, по словам Найджела Тунны, руководителя информационной службы *Metal-Pages* и бывшего торговца сурьмой, в 75% случаев

5. «*Metal Bulletin*, 60% of voters rejected MMTA-LME online pricing proposal», November 30, 2009, accessed October 30, 2014, www.metalbulletin.com/Article/2350149/60-of-voters-rejected-MMTA-LME-online-pricing-proposal.html.

закключаются долгосрочные контракты. Дэнни видит, что компании все чаще предпочитают сделки на долгосрочной основе — от пяти лет и дольше.⁶ «В настоящее время они выбирают фиксированные цены», — говорит он. Они устали от проблем с цепью поставок и готовы пожертвовать ценой ради надежности.

Ввиду тенденции роста цен на многие малые металлы, некоторые внешние инвесторы пытаются завладеть частью рынка. Для них сложность заключается не в покупке редких металлов — они могут с легкостью приобрести их онлайн на китайском веб-сайте *alibaba.com*.⁷ Трудность заключается в продаже, поскольку для этого нужны отношения. Корпорация Boeing не станет покупать титановые сплавы у случайного инвестора, в распоряжении которого несколько килограммов или сотен граммов этого металла. Не только отдельные инвесторы пытаются получить долю рынка, но и банки, такие как *Woun Brothers Harriman*, становятся членами ММТА и пытаются найти способы взаимодействия с трейдерами. Но ни одна из групп не сумела добиться такого успеха в получении прибыли, как китайские биржи, которые меняют способ торговли малыми металлами. Их бизнес-модель, однако, вызывает озабоченность по поводу стабильности рынка.

Эти множющиеся биржи редких металлов, ориентированные на китайских инвесторов, которые изо всех сил пытаются найти выгодные внутренние ин-

6. Nigel Tunna, interview by David Abraham, Ganzhou, China, August 11, 2013.

7. В 1992 году несколько телемаркетинговых компаний из Канады осуществили продажу индия по завышенным ценам напрямую инвесторам, прежде чем выйти из бизнеса несколькими годами позже после проведения полицейского расследования в США и Канаде. Robert D. Brown Jr., «Indium», in *Minerals Yearbook*, Vol. 1, Metals and Minerals (Washington, DC: U. S. Bureau of Mines and U. S. Department of the Interior, 1996), accessed October 30, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/490494.pdf.

вестиционные возможности, стали новым повальным увлечением. Поскольку у богатых китайцев нет больших возможностей для инвестиций из-за ограничений правительства на зарубежные инвестиции, спекулятивный капитал на рынке редких металлов выступает альтернативой инвестиций в недвижимость и фондовый рынок. Если эти рынки будут работать хорошо, это приведет к более прозрачным сделкам с редкоземельными металлами и придаст уверенность компаниям в обеспечении долгосрочного предложения по разумной цене. Если рынки будут работать плохо, то это может вызвать огромные колебания цен, которые подорвут рынок и оставят компании без материалов.

В 2011 году в Куньмине, столице отдаленной юго-западной провинции Юньнань в Китае, открылась биржа металлов Fanua, типичная для новых бирж. Она была невероятно успешна в привлечении инвесторов, хотя и была похожа на штат Арканзас в Соединенных Штатах, поскольку находится далеко и от шахт, и от инвесторов. Всего за три года с момента начала торговли индием на бирже было накоплено в четыре раза больше запасов этого металла, чем весь объем индия, потребляемый в мире за год. Fanua превратила Китай, крупнейшего в мире поставщика индия, из чистого экспортера в импортера, когда инвесторы заполнили рынок.⁸

Этот всплеск покупательской активности вызвал подозрение у опытных трейдеров и по многим причинам стал горячей темой на международных конференциях. Во-первых, цена на бирже была почти вдвое выше рыночной цены покупки. Это породило опасения, что налицо схема быстрого обогаще-

8. Kotaro Itsuki, «China's Rare-Earths Exchange Feeding Price Spikes», *Nikkei Asian Review*, October 2, 2014, asia.nikkei.com/Markets/Commodities/China-s-rare-earths-exchange-feeding-price-spikes; Amy C. Tolcin, «Indium», in *Mineral Commodity Summaries (2014)*: 74–75, accessed December 8, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/mcs-2014-indiu.pdf.

ния, не основанная на реальном рынке. (Например, в мае 2013 года цена индия на Fanya составляла более 900 долларов за килограмм, тогда как цена, установленная реальными трейдерами, колебалась на отметке в два раза ниже этого уровня — 540 долларов за килограмм.⁹) Во-вторых, рынок хорошо функционировал в условиях роста цен; многие трейдеры считают, что если цены упадут, это может спровоцировать волну продаж, которая повлияет на стоимость индия, торгуемого на рынке.

В-третьих, в то время как большинство сырьевых бирж созданы для того, чтобы регулировать торговые риски между анонимными, но кредитоспособными контрагентами, задачи Fanya выглядят более националистическими. «Цель биржи — увеличение стоимости отраслевой цепочки малых металлов Китая и укрепление переговорной позиции Китая при определении цен на международном рынке с использованием ресурсных преимуществ Китая и новых современных электронных торговых инструментов», — сообщил ресурсу *Metal-Pages* в 2013 году Ян Гохун, вице-президент Fanya.¹⁰ Его комментарии отражают намерения Цзян Яна, заместителя председателя Комиссии по регулированию ценных бумаг Китая, который четыре года назад высказал мнение, что будущие торги могут помочь китайским импортерам това-

9. «Indium and the Investment Industry: Strategic Metal Report», May 13, 2013, Strategic-metal.typepad.com; Metal-Pages, «Analysis: Fanya Metal Exchange Changes Character of Indium Market, Other Metals Could Follow», www.metal-pages.com, December 30, 2013, accessed October 30, 2014, www.metal-pages.com/news/story/76200/analysis-fanya-metal-exchange-changes-character-of-indium-market-other-metals-could-follow. На Fanya продается низкокачественный индий, который сложно переработать в индий, необходимый для плоских экранов и смартфонов.

10. Metal-Pages, «Interview: Fanya Metals Exchange — An Introduction and Its Relation to the Global Market», September 17, 2013, accessed October 30, 2014, www.metal-pages.com/news/story/73762/interview-fanya-metals-exchange-an-introduction-and-its-relation-to-the-global-market.

ров «закключать более справедливые сделки» в рамках «долгосрочной стратегии увеличения нашего [китайского] влияния на ценообразование». ¹¹

Такие цели вызывают на рынке опасения, что правительство может манипулировать инвестициями для решения других внутренних задач. Например, растущие цены на индий помогли снизить продажи как легальных, так и нелегальных металлов за рубежом. «Контрабанда перестала быть проблемой с тех пор, как Гапуа начала работу», — сказал источник в отрасли ресурсу *Metal-Pages* через два года после открытия биржи. Контрабандисты «просто продают все на бирже; контрабандное сырье больше не появляется». ¹²

Продажа металлов инвесторам, которые складируют материалы в ожидании более высоких цен, имеет негативные последствия для производителей, которые могли бы использовать эти материалы. Но гораздо более тревожным может быть отсутствие металла на бирже, который, по ее утверждениям, у нее имеется. В таком случае это значит, что у людей есть бумажная квитанция за поставку, которой не существует. Это именно тот вид мошенничества, который китайские власти раскрыли в порту Циндао в 2014 году. Несколько крупнейших мировых банков пострадали от действий нескольких китайских торговых компаний, которые получили займы, используя в качестве обеспечения несуществующие металлы. В 2014 году правительство подсчитало, что только за первые три квартала года компании привлекли около 10 млрд долларов в результате мошен-

-
11. James T. Areddy, «China Nurtures Futures Markets in Bid to Sway Commodity Prices», *Wall Street Journal*, October 12, 2009, accessed October 30, 2014, online.wsj.com/news/articles/SB125529874012778991.
 12. Metal-Pages, «No Impact from Cut in China Indium Duty, but It May Point to Future Intentions», December 17, 2013, accessed October 30, 2014, www.metal-pages.com/news/story/76011/no-impact-from-cut-in-china-indium-duty-but-it-may-point-to-future-intentions.

нической торговли, включая потери в Циндао. Некоторые банки опасаются, что их потери могут быть только началом.¹³

Мин (псевдоним, который я буду использовать для бывшего руководителя бирж в Китае) обладает уверенностью человека, который видел все махинации на сырьевых рынках этой страны. Он был частью команды по созданию биржевой торговли и, таким образом, находился на передовой государственной политики, которая в настоящее время заключается в стимулировании роста, обусловленного развитием рынка, в отличие от роста, управляемого государством. По его оценкам, за последние несколько лет произошел биржевой бум — появилось от трехсот до тысячи различных платформ для всевозможных продуктов. Несмотря на такое бурное развитие, нормативно-правовая среда несовершенна, и «реальная цель [этих бирж] состоит в том, чтобы делать деньги», сказал он мне.¹⁴ Эти биржи не способны давать точную информацию о ценах рынку, хотя в этом состоит одна из основных целей любого рынка.

Он считает, что многие проблемы, связанные с регулированием, обусловлены борьбой за власть между государственными ведомствами, регулирующими биржи. «Комиссия по регулированию рынка ценных бумаг Китая настолько глубоко поглощена своими собственными интересами, что по ее правилам невозможно создать биржу, которая делала бы цены прозрачными», — говорит мне Мин. Частично его оза-

13. Neil Gough, «Lawsuit Adds to Concern over China Commodities Fraud», *New York Times*, June 27, 2014, accessed October 30, 2014, dealbook.nytimes.com/2014/06/27/lawsuit-adds-to-concern-over-china-commodities-fraud; Chanyaporn Chanjaroen, «ABN Amro Unmoved by Qingdao Boosting China Commodity Finance», *Bloomberg News*, September 29, 2014, accessed December 1, 2014, www.bloomberg.com/news/2014-09-29/abn-amro-commits-to-china-commodity-finance-growth-post-qingdao.html.

14. Anonymous trader, interview by David Abraham, April 14, 2014.

боченность объясняется тем фактом, что китайские правовые нормы не допускают в явной форме торговлю фьючерсами на большинстве бирж, несмотря на давние корни этой практики в Китае. Одна из основных сложностей в регулировании китайских бирж состоит в том, что их работа определяется в большей степени политическими установками, нежели строгими законами и правилами. В ответ недобросовестные трейдеры стали участвовать в торговых отношениях, выходящих за рамки проводимой политики, либо полностью игнорировали ее в надежде на то, что политика изменится и их практика будет учтена. Но даже руководители бирж нарушали установленные нормы.

Для участия в торговле фьючерсами, по словам Мина, ему приходилось «подстраивать торговую модель». «Если сырьевые фьючерсные контракты запрещены в соответствии с десятью правилами, вы подгоняете эти правила так, чтобы нарушить только девять из них», — поясняет он. Затем, лоббируя местные власти, вы получаете от них подтверждение, что не нарушаете *все* правила. Таким образом, вы играете на борьбе за власть между различными агентами — федеральным правительством, желающим осторожно расширить торговлю с помощью регулирующего надзора, и более амбициозными местными органами власти.

У Пекина есть основания для беспокойства относительно торговли фьючерсами. Хотя фьючерсные контракты в Китае были в ходу еще 4000 лет назад, когда люди платили за поставку риса до начала посевного сезона, всего несколько десятилетий назад финансового сектора в стране не существовало. Вся банковская деятельность и торговля металлами находилась под контролем государства. Первые крупномасштабные эксперименты с фьючерсными сырьевыми биржами в стране начались в конце 1980-х с запуска пилотной программы, которая быстро вышла из-под контроля. Число бирж увеличивалось, и вскоре об-

разовалось пятнадцать официальных сырьевых бирж и еще тридцать менее официальных. Власти с трудом справлялись с незаконной торговлей по мере того, как масштабы торговли росли. По сути, это были узаконенные спекуляции.¹⁵

По рассказам Вана (псевдоним другого трейдера того времени), все его друзья, с которыми он в 1990-х занимался торговлей на сырьевой бирже Чжэнчжоу, попали в тюрьму. По его словам, крупные институты и сыновья высокопоставленных чиновников монополизировали некоторые рынки незаконным и коварным способом. Руководство биржи манипулировало ценами так, чтобы определенные инвесторы получали прибыль. «Это была ситуация доминирования сильных над слабыми, как по законам джунглей, было много бандитов и разбойников». Практика стала настолько вопиющей, что заместитель председателя Верховного народного суда в конечном итоге назвал сырьевую биржу Чжэнчжоу «большим семейством судебных тяжб» из-за потока судебных исков, вызванного недобросовестной торговлей.¹⁶

К середине 1990-х годов китайские власти запретили почти всю торговлю фьючерсами вместе с многими биржами. Прошло десять лет, прежде чем в стране стала постепенно разрешаться торговля на государственных биржах. Ван обвиняет в сложившейся ситуации регулирующие органы, в том числе Комиссию по регулированию рынка ценных бумаг Китая и На-

15. Victor L. Hou, «Derivatives and Dialectics: The Evolution of the Chinese Futures Market», *New York Law Review* 72 (1997): 175; «Derivatives Exchanges: The Mung Bean and Its Adventures», *Economist*, May 27, 1995, 70; Joseph Kahn, «China Ends Clean-Up Campaign by Licensing Commodity Markets», *Asian Wall Street Journal*, October 27, 1994.

16. Anonymous trader, e-mail, December 8, 2014; Zhu Sanzhu, «The Role of Law and Reform in Financial Markets: The Case of the Emerging Chinese Securities Market», in *Law Reform and Financial Markets*, ed. Kern Alexander and Niamh Moloney, 145–194 (Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2011).

родный банк Китая, которые, по его мнению, проявили беспомощность и выступили соучастниками событий. «Надзор был недостаточным, и это помогло замаскировать сговор между этими институтами и некоторыми участниками рынка. Размеры взяток были огромными. Подобная практика еще не изжила себя. [Те взятки] ничто по сравнению с нынешними», добавляет Ван.¹⁷

Несмотря на то что торговля широким спектром сырьевых товаров в Китае снова начала расти, регуляторы по-прежнему испытывают беспокойство. По заявлению Цзян Яна из Комиссии по регулированию рынка ценных бумаг Китая в 2013 году, «законы и нормативные акты не исполняются должным образом, и то и дело происходят нарушения».¹⁸ Такие комментарии вызывают большую тревогу, учитывая центральную роль страны на рынках редких металлов и ее стремление оказывать влияние на це-

17. В 1995 году правительство приняло более решительные меры после громкого скандала, когда крупнейшая брокерская компания страны Shanghai International Securities наводнила фьючерсный рынок ордерами на продажу в возмутительной попытке нажиться на его падении. Kahn, «China Ends Clean-Up Campaign»; Seth Faison, «Trader Sentenced in China Bond Scandal», *New York Times*, February 4, 1997, www.nytimes.com/1997/02/04/business/trader-sentenced-in-china-bond-scandal.html; «China Reopens Government Bond Futures Market», *Financial Times*, September 6, 2013, accessed October 30, 2014, www.ft.com/intl/cms/s/0/94600a40-16cf-11e3-9ec2-00144feabdco.html; Helen Sun, «China to Start Bond Futures Trading Next Week after 18-Year Halt», *Bloomberg News*, August 30, 2013, accessed October 30, 2014, www.bloomberg.com/news/2013-08-30/china-to-start-bond-futures-trading-next-week-after-18-year-halt.html; Douglas J. Elliott and Kai Yan, «The Chinese Financial System: An Introduction and Overview», Brookings Institution, July 2013, www.brookings.edu/~media/research/files/papers/2013/07/01-chinese-financial-system-elliott-yan/chinese-financial-system-elliott-yan.pdf; Kahn, «China Ends Clean-Up Campaign».

18. Jiang Yang, «Speech by CSRC Vice Chairman Jiang Yang», Caixin Summit China Securities Regulatory Commission, December 19, 2013, www.csrc.gov.cn/pub/csrf_en/Informations/phgall/201402/t20140211_243679.html.

нообразование металлов в будущем. «Китайцы играют, — говорит Мин. — Когда есть казино, в нем собираются люди». Мин воспользовался этой тенденцией: «Наши торговые правила были разработаны как будто для игры в казино».¹⁹

В 2012 году Hong Kong Exchanges и Clearing Limited купили Лондонскую биржу металлов, ведущую в мире биржу металлов, которая представляет собой площадку для покупки и продажи недргоценных металлов и малых металлов (кобальта и молибдена). Банкиры Morgan Stanley подытожили мнение на рынке, назвав сделку в 2,2 млрд долларов «чрезвычайно дорогостоящей». Гонконгское предложение в 180 раз превышало чистую прибыль биржи; для сравнения: сумма предыдущей самой дорогой сделки для сопоставимой биржи была в 66 раз выше ее чистой прибыли, когда в 2007 году Чикагская товарная биржа купила Чикагскую торговую палату.²⁰

Новые покупатели отметили, что после переезда биржи в Гонконг она привлечет новых китайских торговцев благодаря ее близости к Китаю. По их мнению, благодаря большому числу китайских трейдеров биржа станет гораздо более прибыльной в долгосрочной перспективе. На выстраивание азиатской бизнес-модели новой биржи уйдет время; до 2015 года результаты были не слишком впечатляющими. Но рентабельность, возможно, не была единственной целью владельцев.²¹

19. Anonymous trader, interview by David Abraham, February 14, 2014.

20. Agnieszka Troszkiewicz and Maria Kolesnikova, «HKEx Shares Tumble as LME Purchase May Clear Regulator», Bloomberg News, June 18, 2012, accessed October 30, 2014, www.bloomberg.com/news/2012-06-17/hong-kong-lme-bid-faces-regulator-as-32-billion-in-deals-killed.html.

21. HKEx, «HKEx Makes Recommended Cash Offer for the London Metal Exchange», press release, June 15, 2012, accessed October 30, 2014, www.hkex.com.hk/eng/newsconsul/hkexnews/2012/Documents/120615news.pdf. «The LME deal is so far acting as a drag on profits for HKEx, as the London exchange's contribution of a

Когда вы руководите биржей, у вас есть доступ к большому количеству рыночной информации — ценам и объемам торгов. Подкованный аналитик данных может узнать гораздо больше: торговые модели, позиции и сроки. Обычно эта информация не выходит за пределы биржи, но Мин и некоторые другие обеспокоены тем, что Пекин использует эту информацию в интересах страны.

«То, что в эту минуту происходит на заседаниях совета в Гонконге, будет мгновенно передано в Народный банк Китая», — говорит Мин. Он опасается, что все более тесные отношения между Гонконгом и Китаем, как было продемонстрировано в китайском решении от 2014 года отбирать кандидатов на пост руководителя острова, а не давать жителям Гонконга самим выбирать своих лидеров, приведет к размыванию границ между правительством и отраслью. А это, в свою очередь, превратит корпоративную информацию в государственные разведданные. «Нет абсолютно никаких перегородок», — говорит мне Мин. И в стране, где граница между государством и его крупнейшими компаниями крайне расплывчата, по его опасениям, эта информация может дать китайским компаниям преимущество. «Эта [покупка] была частью геополитической игры», — поясняет Мин.

В моей папке со спамом помимо сообщений от Christianmingle.com и финансовых фирм, рекламирующих обратную ипотеку, есть и письма от китайских металлообрабатывающих компаний. Отправитель — Делла или Алиса, обычно с англоязычным именем, редко с фамилией — не соблюдает правильный интервал между абзацами, структуру предложения

HK\$326 million profit in 2013 was offset by its addition of operating expenses of HK\$783 million». Lawrence White and Saikat Chatterjee, «Rpt-Update 2: Hkex Bets on Tech Spend, Yuan Push As 2013 Profits Disappoint», Reuters, February 26, 2014, www.reuters.com/article/2014/02/26/hkex-earnings-idUSL3N0LQ13E20140226.

и правила использования прописных букв. Один отправитель даже забыл свой псевдоним; письмо было от Алисы, но сообщение начиналось со слов: «Привет, я Кэндис».

Эти письма похожи — они расписывают своевременные, дешевые поставки редкоземельных материалов или других продуктов из редких металлов, используя ту же тактику продаж, что и производители, рекламирующие таблетки для лечения эректильной дисфункции. Это то, что отличает производителей редких металлов от более крупных игроков, таких как Glencore, торгового сырьевого гиганта, которые не заваливают потенциальных клиентов спамом.

В 1980-х и начале 1990-х годов китайские чиновники подталкивали развитие ресурсной базы страны — от редкоземельных элементов до индия — для удовлетворения растущего внутреннего спроса. Но как только производственные мощности стали опережать спрос и наводнили мировые рынки продукцией, в стране был введен экспортный контроль в виде квот, налогов и минимальных цен. Возникло несоответствие между низкими ценами на минералы внутри страны и более высокими на мировых рынках. Создав достаточную норму прибыли для нелегальных торговцев, это стало стимулировать контрабанду. Усилия правительства по сокращению незаконной торговли редкоземельными металлами привели к неоднозначным результатам.²²

К примеру, китайские власти подсчитали, что в 2011 году нелегальный экспорт редкоземельных металлов на 20%

22. Organisation de Coopération et de Développement Économiques, «Steelmaking Raw Materials: Market and Policy Developments», October 11, 2012, accessed October 30, 2014, www.oecd.org/sti/ind/steelmaking-raw-materials.pdf; Tao Xu, *The Development and Restructuring of China's Metal Mining Industry* (Kingston, ON: Centre for Resource Studies, Queen's University, 1991). Китай публикует свои экспортные квоты и налоги, но некоторые торговцы жалуются на минимальные цены, которые они должны платить на границе.

превышал легальный. И эти незаконные торговцы активно продолжают искать новых клиентов. Очевидно, что немногие из тех компаний, от которых я получал рекламную рассылку, имеют экспортные льготы в рамках китайской правительственной системы квот. Однако, как заверяла меня одна женщина, которую я встретил на отраслевой выставке: «У нас есть квота».²³

Контрабанда встречается не только в секторе редкоземов; на самом деле многие редкие металлы имеют свою историю уклонения от регулирования производства и экспорта в Китае — от сурьмы, важного элемента для огнестойких товаров, до индия, который обсуждался ранее и используется в телевизорах с плоским экраном. Контрабанда этих ресурсов иногда настолько распространена, что даже в специализированных журналах упоминаются цены на них.

Незаконно добытые редкие металлы в Китае нелегко распознать. Например, на складах во Вьетнаме они очень похожи на своих легально добытых и обработанных собратьев. Фактически нелегальные контрабандные редкоземы из Китая вполне легальны во Вьетнаме, в отличие, скажем, от слоновой кости, торговля которой запрещена почти повсеместно. Внутри страны они не приветствуются, а за пределами — поощряются.

Существует много способов уклонения от экспортного контроля. При содействии коррумпированных чиновников нелегальные материалы вывозятся из страны на соседние территории, такие как Гонконг и Вьетнам, прежде чем их отправят дальше. В других случаях, по свидетельствам торговцев, в корабельных бумагах компании записывают редкоземельный порошок как тальковый порошок или другой материал, а в таможенных формах при доставке клиенту он пре-

23. Zhang Yan and Qian Wang, «Smuggling Blights Rare Earths Industry», *China Daily*, December 10, 2012, accessed October 30, 2014, usa.chinadaily.com.cn/epaper/2012-12/10/content_16002928.htm.

вращается в порошок церия. Контрабанда — это одна из основных причин, по которой показатели экспорта и импорта страны никогда не совпадают, из-за чего сложно составить верное представление о потоке материалов.

«Я знаю, что мои клиенты постоянно покупают материалы, которые „выпали из грузовика“, через Вьетнам, или на входе записываются как что-то одно, а на выходе как что-то другое» — так Дэвид О’Брок, эстонский производитель редкоземов, описывает процесс неверной маркировки материалов контрабандистами для преодоления мер контроля. По его словам, этот поток стабилен. Он указывает на белый порошок редкоземельных оксидов на своем заводе и говорит: «Это может быть сухое молоко».

Как часть стратегии уменьшения стимулов для контрабандистов Китай снизил свои экспортные налоги на несколько металлов, включая индий, с 15% в 2009 году до 2% в 2014-м. Как заметил один трейдер: «Это хорошая новость, так как более низкие экспортные пошлины сократят ценовой разрыв между нами и контрабандистами». Но незаконная торговля в Китае носит системный характер.²⁴

Несмотря на осуждающую риторику Пекина в адрес нелегальной торговли, многие предприятия и местные власти в реальности извлекают из этого выгоду. Местные чиновники, которых вынуждали поддерживать рост, не хотят закрывать прибыльные отрасли добычи полезных ископаемых и металлообработки, особенно потому, что, как сообщают средства массовой информации, они лично заинтересованы в этом.²⁵ Однако Китай не одинок в попытке бороться с нелегальными потоками редких металлов.

24. Metal-Pages, «China Cuts Indium Export Duty to 2% from 5%», December 17, 2013, accessed October 30, 2014, www.metal-pages.com/news/story/75966/china-cuts-indium-export-duty-to-2-from-5.

25. Peter Foster, «Rare Earths: Why China Is Cutting Exports Crucial to Western Technologies», *Telegraph*, March 19, 2011, accessed Oc-

«Я инвестор», — говорит Юди, торговец незаконно добытыми минералами, когда мы пьем кофе в кафе Пангкалы Пинанги — городе на индонезийском острове Банка, где добывается треть всего мирового олова. Юди (тоже псевдоним) еще нет тридцати лет, он одет в черно-белую клетчатую рубашку, а на его левом мизинце длинный ноготь — знак богатства. Его уверенность в себе не соответствует его возрасту.

«Когда я начинал три года назад, я зарабатывал 30 млн [3000 долларов] в неделю. — У него в руках два смартфона BlackBerry, которые он перетасовывает во время своей речи. — Но конкуренция выросла, и теперь я получаю эти деньги за месяц». И 3000 долларов в месяц — это огромная удача по сравнению с его предыдущей зарплатой в 150 долларов, когда он подрабатывал турагентом. Для страны, где более 100 из 250 млн человек живут менее чем на 2 доллара в день, он живет неплохо.²⁶

Его задача проста: он нанимает людей для покупки касситерита, оловосодержащей руды, у нелегальных шахтеров для продажи местным плавильным заводам. Касситерит служит основным источником олова и вторичным источником других металлов. Юди не единственный торговец; другие, в основном китайцы, торгуют еще монацитом. В отличие от оловянной руды, монацит не обрабатывается на острове, поэтому полезно иметь международные связи. Не секрет, что некоторые редкоземосодержащие минералы на острове Банка, а также материалы из других стран Юго-Восточной Азии, часто находят свой путь в Ки-

tober 30, 2014, www.telegraph.co.uk/science/8385189/Rare-earths-why-China-is-cutting-exports-crucial-to-Western-technologies.html.

26. Iin P. Handayani, «Beyond Statistics of Poverty», *Jakarta Post*, February 13, 2012, accessed October 30, 2014, www.thejakartapost.com/news/2012/02/13/beyond-statistics-poverty.html; Joe Cochrane, «New Leader Takes Oath of Office in Indonesia», *New York Times*, October 20, 2014, accessed October 30, 2014, www.nytimes.com/2014/10/21/world/asia/joko-widodo-is-sworn-in-as-indonesian-president.html.

тай через Сингапур в обход индонезийских законов, ограничивающих экспорт необработанных полезных ископаемых.²⁷

Нелегальная торговля минералами — рискованная работа. В начале рабочей недели Юди получит 100 000 долларов от инвестора из Джакарты, столицы Индонезии, или из Китая. (Юди считает, что многие из этих инвесторов — производители электроники.) Затем он потратит деньги на покупку касситерита у шахтеров и торговцев, а через неделю продаст минералы местному переработчику. К концу недели он вернет своим инвесторам 110 000 долларов, тем самым обеспечив 10%-ную прибыль. «Инвесторам все равно, как я получаю минералы, мне просто нужно за семь дней осуществить их доставку», — говорит он мне. Юди не заключает соглашений с инвесторами; сделка основывается на доверии — редкий товар на острове Банка. Но Юди принимает меры предосторожности, потому что некоторые могущественные люди держат его на крючке.

Юди придерживается нескольких правил для снижения риска: никогда не носит с собой наличные и находится в контакте с полицией на случай, если что-то пойдет не так. Он наводит справки о потенциальных субподрядчиках, которые отвечают за покупку олова у отдельных шахтеров, расспрашивая о них соседей и других деловых партнеров. «Маленький ребенок может дать деньги кому угодно, а мне нужны те, кто разбирается в олове», — говорит он, демонстрируя, как важно иметь компетентных субподрядчиков. В отличие от своих инвесторов, от субподрядчиков он требует подписания договоров. Помимо этого, он откупается от полиции, давая небольшие

27. Melanie Burton, «China Boosts Tin Ore Exports from Myanmar as Indonesian Supply Dries Up», Shanghai Metals Market, September 9, 2013, accessed October 30, 2014, www.metal.com/newscontent/52859_china-boosts-tin-ore-exports-from-myanmar-as-indonesian-supply-dries-up; Anonymous source, interview by David Abraham, September 8, 2013.

взятки «мелким рыбешкам», новичкам в силовых структурах. Более высокопоставленным чинам нужны крупные суммы. Он отправляет им банковские переводы или доставляет деньги в конвертах лично. «Полиция работает на меня», — хвастается он. Полезно иметь такую «легальную» поддержку и защиту. Один субподрядчик, которого он называет коллекционером, сбежал с его деньгами; Юди говорит, что теперь он владеет документами на право собственности домом этого коллекционера.

Юди также подкупает ученых на заводах за 100 долларов или около того, чтобы обеспечить надлежащую сертификацию качества материалов, которые он продает, — чем ниже сорт, тем меньше денег. Около 70% прибыли он оставляет себе, 30% идут на взятки или «сборы», что поразительным образом соответствует налогам на прибыль организаций во многих частях мира. Настоящий риск для таких людей, как Юди, и для рынка заключается в том, что если власти всерьез начнут бороться с его деятельностью, цены на металлы вырастут, а Юди останется без работы. Но во время его визита на Банка в 2013 году эта ситуация казалась крайне маловероятной, поскольку препятствия, стоящие на пути закрытия незаконной торговли, велики.

По западным меркам деньги, которые зарабатывает Юди, может быть, и небольшие, однако деньги от всей нелегальной сети растеклись по всему острову — около 30–40% жителей связаны с торговлей минеральными ресурсами, — включая некоторых очень важных лиц, получающих весьма большие суммы. Юди говорит, что даже доходы его друзей сейчас достаточно высоки для того, чтобы инвестировать в дома по всей Индонезии. Не без доли сарказма он сообщает, что рынок коррумпирован. Он устал иметь дело с большинством торговцев, потому что они «жулики». Юди хочет, чтобы рынок изменился: «Я хочу прозрачности».²⁸

28. Reuters, «Tin Miners Demand Revised Indonesian Mining Law», published on Shanghai Metals Market site, February 22, 2010, ac-

Несмотря на ироничность желания иметь больше правил в своих незаконных торговых операциях, он согласен с большинством других отраслевых аналитиков, которые считают, что рынок функционировал бы более эффективно, если бы его участники знали, что происходит. Процесс торговли многими малыми металлами становится еще менее прозрачным после того, как Юди доставляет минералы переработчикам.

В результате переплавки олова и многих других металлов остается достаточно большое количество отходов или «шлака». Ведь после того, как вы отожмете сок из апельсина, у вас остаются семечки и кожура. Эти отходы ценны, но не на Банка, где возможности для их дальнейшей переработки ограничены, а за пределами острова. В 2010 году Toyota Tsusho, торговое подразделение Toyota Group, объявила, что станет покупать шлак и намеревается построить плавильный завод на острове Банка для переработки редкоземов. Теперь же индонезийское правительство стимулирует местную государственную оловянную шахту производить редкоземы.²⁹

Больше всего в вопросе ресурсов обескураживает то, что многие шахтеры и перерабатывающие предприятия попусту растрачивают редкие металлы. Поскольку не все полезные ископаемые можно легко продать, минералы либо выбрасываются шахтерами, либо от отходов, которые остаются после очист-

cessed October 20, 2014, www.metal.com/newscontent/6775_tin-miners-demand-revised-indonesian-mining-law; Matteo Fagotto, «Indonesia: Tin Men», Caravan, June 1, 2014, accessed October 30, 2014, www.caravanmagazine.in/letters/indonesia-tin-men.

29. Kyodo News International, «Toyota Tsusho to Develop Rare Earth Mineral Business in Indonesia», Free Library, November 19, 2010, accessed October 30, 2014, www.thefreelibrary.com/Toyota+Tsusho+to+develop+rare+earth+mineral+business+in+Indonesia.-a0242607002; Linda Yulisman, «Govt to Develop Rare Earth Processing», Jakarta Post, July 11, 2014, accessed October 30, 2014, www.thejakartapost.com/news/2014/07/11/govt-develop-rare-earth-processing.html.

ки олова и других материалов, избавляются на этапе переработки. В результате ценные ресурсы пропадают, что требует дополнительных операций по добыче полезных ископаемых где-то еще. Нелегальные и неэффективные рынки используют только те ресурсы, которыми можно легко торговать, и растрачивают впустую остальные.

В отличие от средств, вырученных от добычи на Банга, которые пополняют карманы богатых индонезийцев и китайцев, в некоторых частях Восточной Африки и в других местах деньги от торговли минералами зачастую спонсируют конфликты. В Конго боевики продают минералы, содержащие золото, вольфрам, тантал и олово.³⁰ На самом деле примерно четверть всего тантала, произведенного в 2011 году, поступало из шахт Конго, но, как подчеркивает Патрик Страттон, эксперт по танталу в консалтинговой компании Roskill, никто точно не знает, сколько тантала производится в зонах конфликтов.³¹

Путь, который эти минералы проделывают из шахты, легко проследить. Он начинается в разработанных областях густых джунглей, где на многоярусных склонах рабочие выкапывают густую, обогащенную жижу, или в скальных нишах, где люди с фонариками на голове работают без усталости во влажной темноте. Из этих рудников в западных приграничных районах Конго торговцы доставляют мешки с минералами на велосипедах или стареньких автомобилях в главные региональные центры, такие как Буния. Оттуда

30. В торговлю вовлечено несколько повстанческих групп, в том числе те, которые связаны с ополчением хуту, которое несет ответственность за геноцид в Руанде в 1994 году. Cecilia Jamasmie, «Tantalum: A Bloody Future?» *mining.com*, September 1, 2009, accessed October 30, 2014, www.mining.com/tantalum-a-bloody-future-52898.

31. Patrick Stratton and David Henderson, «Tantalum Market Overview», *Minor Metals Trade Association*, January 31, 2013, accessed October 30, 2014, www.mmta.co.uk/tantalum-market-overview.

торговцы везут материал на грузовиках через Танзанию, Руанду или Уганду, где продают другим торговцам или отправляют его напрямую на одно из десяти танталовых перерабатывающих предприятий, почти все из которых находятся в Китае. После того как продукция прибывает, она проходит очистку на плавильных заводах. Затем ее продают другим торговцам, которые занимаются ее дальнейшей обработкой. Либо продают производителям комплектующих, которые добавляют этот материал в специальные сплавы, чтобы в конечном итоге они стали частью компонентов плоских экранов или автомобильных систем подушек безопасности.³²

В Колумбии повстанцы ФАРК, которые с 1987 года ведут борьбу с правительством и признаны Европейским союзом и Соединенными Штатами террористической организацией, торгуют вольфрамом, добытым из недр национального парка в джунглях Амазонки.³³ Торговцы транспортируют мешки с измельченной породой вверх по реке Инирида через такие непроходимые пороги, что приходится тащить узкие, длинные деревянные лодки вдоль берега. После почти недельного путешествия по джунглям, торговцы ФАРК передают измельченную породу другим торговцам, которые на грузовиках доставляют мешки в Боготу. В Боготе торговые фирмы продают породу на международные рынки, где трейдеры и переработчики превращают ее в вольфрам. Сплавы или порошки, которые они производят, используются в компо-

32. Ibid.; «Tantalum: Raw Materials and Processing», Tantalum-Niobium International Study Center, accessed October 30, 2014, tanb.org/tantalum.

33. Michael Smith, «How Colombian FARC Terrorists Mining Tungsten Are Linked to Your BMW Sedan», *Bloomberg News*, August 8, 2013, accessed October 30, 2014, www.bloomberg.com/news/2013-08-08/terrorist-tungsten-in-colombia-taints-global-phone-to-car-sales.html; Martha Crenshaw, «Revolutionary Armed Forces of Colombia — People's Army», Mapping Militant Organizations, Stanford University, updated July 29, 2014, accessed October 30, 2014, web.stanford.edu/group/mappingmilitants/cgi-bin/groups/view/89.

нентах компаний BMW, Hewlett-Packard и Samsung Electronics. После статьи о колумбийской торговле, вышедшей в *Bloomberg News* в 2013 году, многие трейдеры перестали покупать эти материалы. Однако до тех пор, пока колумбийское правительство не вмешалось, чтобы прекратить эту сомнительную практику, эти материалы продолжали свой путь к поставщикам.³⁴

Иностранные правительства, многие некоммерческие группы и даже сами компании хотят остановить использование этих незаконных материалов. Они видят, как доходы от этих минералов стимулируют нарушения прав человека, спонсируя бандформирования, вовлеченные в конфликт. Но проблема в том, что современные цепочки поставок настолько длинны, что компании не знают, откуда берутся их ресурсы. Например, у корпорации Philips более 10 тыс. поставщиков и около 7 тыс. из них сами не занимаются разработкой месторождений. Дополнительная сложность заключается в том, что большинство компаний используют сотни, если не тысячи компонентов в своих продуктах. «Многие компании понятия не имеют, поступают их минералы из зон конфликтов или нет», — отмечает Лиза Райсман, основатель ресурса MetalMintel и специалист по минералам в конфликтных зонах. Даже компания Apple призналась, что не располагает достаточной информацией для определения страны происхождения минералов, которые она использует.³⁵

34. Smith, «How Colombian FARC Terrorists Mining Tungsten Are Linked».

35. Philips Corporation, *Annual Report*, 2012, www.philips.com/shared/assets/Investor_relations/pdf/Annual_Report_English_2012.pdf. Как заявил пресс-секретарь компании Compaq, Арк Кюрид отраслевой прессе: «Большинство компонентов, которые мы получаем, [поступает] от сторонних поставщиков, поэтому откуда они получают свое сырье, нам определить трудно». Jamasmie, «Tantalum: A Bloody Future?»; Lisa Reisman, interview by Brian Sylvester, «The Conflict over Conflict Metals: Lisa Reisman», *Metals Report*, April 6, 2013, accessed October 30, 2014, www.theaureport.com/pub/na/15333; Apple, Inc., Form SD2014: Conflict Minerals Report, 2014, cdno.vox-cdn.com/assets/4531041/AppleConflictMinerals.pdf.

Установить источники компонентов коммерческих товаров — задача гораздо более сложная, чем думает большинство государственных чиновников в Вашингтоне или Брюсселе. «У политиков есть свое ошибочное представление о прозрачности компаний, о том, что они знают, из чего состоит их продукция, — говорит Рэнди Кирчейн, материаловед в Массачусетском технологическом институте (MIT). — Их плохая информированность обусловлена значительными изменениями, произошедшими за последние несколько десятилетий в мировой обрабатывающей промышленности».³⁶ Когда-то производители автомобилей сами изготавливали большую часть своих компонентов, сегодня же компании отдают это на аутсорсинг. По словам Кирчейна, компания Ford составляет технические требования для качества звука и размера магнитолы своих автомобилей, но не определяет, какие именно элементы должны использоваться в микропроцессорах магнитолы для ее работы. Даже Бас ван Абель, основатель Fairphone — компании, которая была создана специально для «использования исходных материалов, добываемых в приемлемых гуманных и экологических условиях», — не знает источников всех своих материалов. И, возможно, никогда не узнает.³⁷

В 2010 году правительство США приняло закон, обязывающий компании указывать происхождение материалов, используемых в их продукции, в случае их поставки из шахт, контролируемых конголез-

36. Randolph Kirchain, interview by David S. Abraham, Cambridge, MA, February 22, 2013.

37. Caroline Winter, «Why It's Hard to Make an Ethically Sourced Smartphone», *Bloomberg Businessweek*, September 20, 2013, accessed April 12, 2015. www.bloomberg.com/bw/articles/2013-09-20/why-its-hard-to-make-an-ethically-sourced-smartphone; Victoria Knowles, «How Fairphone is dialed in on supply chain sustainability», *Greenbiz*, August 13, 2014, accessed April 12, 2015, www.greenbiz.com/blog/2014/08/13/how-fairphone-dialed-supply-chain-sustainability; Karien Strouken, «Choosing the right materials for your Fairphone», Fairphone Blog, November 5, 2012, www.fairphone.com/2012/11/05/choosing-the-right-materials-for-your-fairphone/.

скими военачальниками. Затем в 2014 году со схожей, хотя и выхоленной инициативой выступил Европейский союз (ЕС). Этот закон был довольно беззубым, поскольку не предполагал преследования за использование материалов из районов конфликтов, и программа ЕС вообще была добровольной. Но из-за нежелания крупных корпораций создавать впечатление у своих клиентов, что их продукция способствует насилию и убийствам, многие международные компании вынуждают трейдеров покупать материалы в других местах.³⁸

В результате стоимость полезных ископаемых, добываемых в Конго, снижается, что делает эти более дешевые материалы доступными для компаний, которых не слишком заботят права человека. А это немалое количество компаний, особенно в Азии. Для безымянных брендов на рынке с ограниченными свободными средствами, права человека занимают невысокое место в списке закупочных критериев. У компаний, обслуживающих эти рынки, больше возможностей для поиска наиболее дешевых материалов. А найти эти материалы несложно. Один трейдер рассказал мне, что ему предложили купить большую партию касситерита из Уганды, но в Уганде не развита горная добыча и в то же время у нее есть плохо контролируемая граница с Конго.³⁹

Кроме того, согласно законодательству США, компании обязаны сообщать только о новых источниках поставок металлов из зон конфликта. Растущий

38. European Union/European Commission, «Setting up a Union System for Supply Chain Due Diligence Self-Certification of Responsible Importers of Tin, Tantalum and Tungsten, Their Ores, and Gold Originating in Conflict-Affected and High-Risk Areas», Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council, Brussels, March 3, 2014, accessed October 30, 2014, trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2014/march/tradoc_152227.pdf.

39. Enough Project, «2012 Conflict Minerals Company Rankings», Raise Hope for Congo, 2012, accessed October 30, 2014, www.raisehopeforcongo.org/companyrankings.

объем танталовых отходов на самом деле является первичным материалом, замаскированным под отходы для уклонения от соблюдения законодательства. Хотя нет точных данных о количестве отходов, поступающих на рынок таким путем, по оценкам Лизы Райсман из ресурса MetalMiner, процент тантала измеряется «возможно, даже в „высоких“ двузначных показателях».⁴⁰

В других случаях, особенно в Азии, недобросовестные торговцы и переработчики смешивают минералы из зон конфликтов с легально добытыми металлами, чтобы обеспечить достаточное количество поставок для сохранения своей прибыли. «Я уверена... что китайские фирмы обходят закон, где это возможно», — прокомментировала Райсман. Подобно тому, как одна капля сточной воды может испортить литр питьевой воды, частицы незаконно добытых минералов, смешанных с законными, в глазах Toshiba, Samsung и других корпораций, заботящихся о своем имидже, «заражают» всю партию.

На самом деле нелегальный поток материалов продолжает расширяться. Согласно отчетам, нелегальная добыча уже приносит торговцам больше прибыли, чем нелегальная торговля наркотиками в Южной Америке. В конце 2013 года чилийская газета *El Mercurio* сообщила, что в Перу в районе Амазонки этот бизнес уже на 15% прибыльнее весьма активной торговли наркотиками в стране. И с ростом цен на эти минералы металлов из зон конфликта будет становиться все больше. Но многих поставщиков риск использования минералов из зон конфликтов беспокоит менее всего.⁴¹

40. Lisa Reisman, e-mail correspondence, December 30, 2013; Patrick Stratton, «Outlook for the Global Tantalum Market», paper presented at the Metal Events Ltd. Second International Tin and Tantalum Seminar, New York, December 11, 2013.

41. Cecilia Jamasmic, «Illegal Mining Is Latin America's New Cocaine», mining.com, December 23, 2013, accessed October 30, 2014, www.mining.com/illegal-mining-is-latin-americas-new-cocaine-73332/.

Йоси Шеффи, эксперт по системам снабжения в MIT, объясняет, что для поддержания устойчивости цепочек поставок компании, у нее в распоряжении должно быть достаточно много поставщиков; каждый из этих поставщиков, в свою очередь, полагается на множество собственных поставщиков, так что нехватка материалов от одного поставщика будет компенсироваться другим. Если вы изобразите это в виде схемы, поместив конечного пользователя наверху, а каждый ряд поставщиков расположите ниже, полученная диаграмма будет напоминать пирамиду с обширной базой производителей компонентов и горнодобывающих компаний, обслуживающих одного производителя компьютеров, такого как Toshiba.⁴²

Но широкое основание этой пирамиды и стабильность всей цепочки могут быть фикцией. Возьмем, к примеру, использование Toshiba редкоземельных магнитов в компьютерных жестких дисках, динамиках и моторчиках в высокотехнологичных товарах компании. Toshiba располагает множеством источников для изготовления своих магнитов, но эти производители в конечном итоге зависят только от нескольких провинций Китая, откуда поступают сплавы редких металлов для производства этих магнитов. С точки зрения Toshiba, цепочка поставок редкоземельных элементов имеет вид пирамиды с компанией на вершине и сетью поставщиков внизу, но структура может иметь скорее форму ромба, поскольку поставщики Toshiba, а на самом деле и все мировые производители, исторически полагаются в конечном итоге только на один источник — Китай. Шеффи говорит, что компании «обнаруживают этот ромб, когда случается катастрофа». Он имеет в виду то, что в случае перебоев в поставках, несмотря на многочисленных поставщиков компании, Toshiba, как и ее

42. Yossi Sheffi, interview by David Abraham, Cambridge, MA, February 22, 2012.

конкурентам, неоткуда будет взять необходимые материалы, потому что все поставщики зависят от одного источника.

Для снижения риска, связанного с ограниченным количеством поставщиков, и для обеспечения доступа к надежным поставкам редких металлов некоторые компании заключают сделки напрямую с горнодобывающими компаниями. В конце 2010 года компания Boeing вступила в партнерские отношения с крупнейшим в мире производителем титана — корпорацией ВСМПО-АВИСМА. В 2011 году компания Toshiba подписала соглашение с казахстанским «Казатомпромом» о создании совместного предприятия по выпуску редких металлов, включая редкоземы и рений. Аналогичным образом Mitsubishi, Daido Steel и редкоземельная компания Molycorp (США) объединились для производства редкоземельных магнитов. Организация прямых каналов ради обеспечения бесперебойных поставок обходится недешево.⁴³

В то же время горнодобывающие компании не стоят на месте. Сделка Molycorp — Daido — Mitsubishi повышает эффективность реализуемой в настоящее время стратегии Molycorp по производству магнитов — дополнительной к добыче редкоземов деятельности. Такие стратегии чреваты рисками, поскольку

43. Boeing, «Boeing and Russian Technologies/VSMPO-AVISMA Sign Titanium Agreement», Boeing News Releases/Statements, June 24, 2010, accessed October 30, 2014, boeing.mediaroom.com/index.php?s=20295&item=1278; Lisa Reisman, «HC Starck Changes Game with Conflict-Free Tungsten Supply», *Metal Miner*, August 6, 2013, accessed October 30, 2014, agmetalmminer.com/2013/08/06/hc-starck-changes-game-with-conflict-free-tungsten-supply. «Toshiba and Kazatomprom Establish JV for Rare Metals», Toshiba Corporation Press Release, September 29, 2011, accessed October 30, 2014, www.toshiba.co.jp/about/press/2011_09/pr2901.htm; Molycorp, «Molycorp, Daido Steel, & Mitsubishi Corporation Announce Joint Venture to Manufacture Sintered NdFeB Rare Earth Magnets», Molycorp News Release, November 28, 2011, accessed October 30, 2014, www.molycorp.com/molycorp-daido-steel-mitsubishi-corporation-announce-joint-venture-to-manufacture-sintered-ndfeb-rare-earth-magnets.

компании начинают заниматься не своим делом; фермеры умеют выращивать помидоры, но это не значит, что они владеют необходимыми навыками для открытия пиццерии. Многие компании все же предпочли бы оставить эту работу трейдерам.

Сигео Накамура очень хорошо знаком с махинациями на рынке, и они его уже больше не удивляют. Он повидал на своем веку искусственно раздутые цены на редкоземельные элементы, которые он сравнивает с ежегодным приходом сезона тайфунов — для кого-то разрушительного, но неизбежного. Во время своей многолетней торговли редкими металлами он был свидетелем и того, как цены на индий и рений подсакивали в двадцать раз.⁴⁴

Эта волатильность иногда становится большой проблемой и приводит к финансовым затруднениям для конечных пользователей, таких как компания General Electric, которая в 2006 году испытывала перебои в поставках рения, когда цены на этот металл выросли в десять раз.⁴⁵ Для Накамуры и его коллег-трейдеров волатильность — это лишь часть их работы, ее прибыльная часть. «Мы ждем перебоев; мы молимся на них», — говорит Дэнни Лерман из Hudson Metals в Нью-Йорке. В то время как недопоставки поселя-

44. Statement of Robert Jaffe, professor of theoretical physics, Massachusetts Institute of Technology, Strategic and Critical Minerals Policy Domestic Minerals Supplies and Demands in a Time of Foreign Supply Disruptions: Oversight Hearing before the Subcommittee on Energy and Mineral Resources of the Committee on Natural Resources, U. S. House of Representatives, 112th Congress, First Session, Tuesday, May 24, 2011 (Washington, DC: General Printing Office, 2011), available at www.gpo.gov/fdsys/pkg/CHRG-112hhrg66649/html/CHRG-112hhrg66649.htm.

45. *Energy Critical Elements: Identifying Research Needs and Strategic Priorities: Hearing Before the Subcommittee on Energy and Environment Committee on Science, Space, and Technology*, U. S. House of Representatives 112th Congress, First Session, on S. 112–56, December 7, 2011 (Washington: General Printing Office, 2011), accessed October 30, 2014, available at www.gpo.gov/fdsys/pkg/CHRG-112hhrg72167/html/CHRG-112hhrg72167.htm.

ют страх в «сердца» компаний, они дают возможность трейдерам увеличить свою прибыль.

Накамура полон надежд. «Началась революция материалов», — заявляет он. И те, кто знает, как доставить редкие металлы туда, где они нужны, преуспеют, тем более что мировой спрос на такие металлы для высокотехнологичных нужд скоро взлетит, как мы это сейчас увидим.

Потребности технологий: все становится электронным

ДРЕВНИЕ вавилоняне поддерживали гигиену полости рта на высоком уровне. Они удаляли зубной налет и остатки еды между зубов расщепленной с одного конца палочкой. Их практика, хотя и примитивная, ознаменовала появление стоматологии. В XVI веке китайцы усовершенствовали вавилонскую палочку изобретением зубной щетки из резной кости и бамбука, с прикрепленными на ней щетинками с шеи свиней. Четыреста лет спустя изготовители бытовой продукции отказались от свиной щетины и костей в пользу пластика и нейлона. В 1960 году щетка стала электрической, когда компания Вгохо, основанная в 1956 году, стала продавать вращающиеся зубные щетки, предлагая их покупателям как современный стоматологический продукт. Рынок электрических зубных щеток вырос настолько, что у одной только компании Royal Philips Sonicare насчитывается 22 млн клиентов. Сегодня на рынке можно купить зубные щетки с аккумуляторным питанием и чистящие средства с поддержкой приложений, которые собирают данные о вашей гигиене.¹

1. Известно, что египтяне уже в пятом тысячелетии до н.э. использовали зубную пасту; Colgate Oral and Dental Health Center, «History of Toothbrushes and Toothpastes», June 12, 2006, www.colgate.com/app/CP/US/EN/OC/Information/Articles/Oral-and-Dental-Health-Basics/Oral-Hygiene/Brushing-and-Flossing/article/History-of-Toothbrushes-and-Toothpastes.cvsp; Valerie Strauss, «Ever Wondered How People Cleaned Their Teeth

Если китайцы и вавилоняне обходились материалами из соседнего леса или со скотного двора, производителям вроде Royal Philips требуются ресурсы с равнин Северного Китая или холмов Южной Америки, откуда поступают нужные им металлы для производства десятков компонентов их электрических зубных щеток. Когда люди думают о глобальной экономике, им, как правило, приходят на ум футбольные мячи из Пакистана или майки из Индонезии, но, в отличие от этих простых товаров, для производства электрических зубных щеток требуется намного больше ресурсов, поэтому мест их происхождения насчитывается в разы больше, чем тех, куда мы совершали путешествия в предыдущих главах.²

При изготовлении зубной щетки используются печатные платы с танталовыми вкраплениями в конденсаторе, который необходим для хранения энергии; для этого требуется магнит из неодима, диспрозия, бора и железа, а также материалы из Юж-

before They Had Toothbrushes?» *Washington Post*, April 12, 2009, www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/04/12/AR2009041202655.html; Colgate, «Brushing & Flossing: Use, Replacement & Technique of the Right Dental Products | Colgate® Oral Care Articles», 2014, www.colgate.com/app/CP/US/EN/OC/Information/Articles/Oral-and-Dental-Health-Basics/Oral-Hygiene/Brushing-and-Flossing/article/History-of-Toothbrushes-and-Toothpastes.cvsp; American Dental Association, «Mouth Happy: Toothbrushes», www.ada.org/en/Home-MouthHealthy/az-topics/t/toothbrushes; Philips, «Building a Global Oral Healthcare Brand», Annual Report 2011, www.annualreport2011.philips.com/content_ar-2011/en/proofpoints/global_oral_healthcare_brand.aspx; Eben Pingree, Haley Gilbert, Alex Nadas, Ciatlin Blodget, and Dan Esdorn, «The Electric Toothbrush: Ecosystem Management Lessons in Consumer Products», faculty.tuck.dartmouth.edu/images/uploads/faculty/ron-adner/21The_Electric_Toothbrush.pdf. С появлением на рынке новых товаров цена на зубную щетку упала. Базовая вращающаяся модель была изобретена в 1939 году, но не была коммерчески успешна. Broxo, «The Leaders in Oral Health since 1956», www.broxo.com/about-us.

2. Ralf Hoppe, «Globalization: The Global Toothbrush», *Der Spiegel*, January 31, 2006, www.spiegel.de/international/spiegel/globalization-the-global-toothbrush-a-398229.html.

ного Китая, чтобы обеспечить мощность вращения щеток, которая составляет свыше 31000 оборотов в минуту. Помимо этого, нужны батареи из никеля и кадмия или лития. Чтобы приобрести все тридцать пять металлов, необходимых для производства электрической зубной щетки, требуется обширная цепочка поставок малых металлов: горнодобывающая компания вроде бразильской *Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração* (СВММ) для поставки металлов, эстонская компания *Silmet* для обработки металлов и семья Лерманов из Нью-Йорка для снабжения сплавами производителей комплектующих, которые продают свои товары изготовителям зубных щеток. Эта сеть охватывает шесть континентов. Одни только эти компоненты проходят свой путь через семь стран — Китай, Конго, Чили, Россию, Корею, Индонезию и Турцию. А количество важнейших материалов, необходимых для создания всего нескольких крошечных компонентов, делает эту цепочку еще длиннее. По оценкам Райана Кастильо из консалтингового агентства *Adamas Intelligence*, для одних только батареек требуется более 500 тонн редкоземельного материала в следовых количествах.³

3. В японской зубной щетке не использовался кадмий, как в щетке *Sonicare*. Японцы не хотели использовать кадмий из-за примесей, которые в 1930-х годах привели к неблагоприятным последствиям для здоровья. Hoppe, «Globalization»; Philips, «Why Sonicare: Results You Can See and Your Patients Can Feel», www.sonicare.com/professional/en_us/WhySonicare/WhySonicTechnology.aspx; «Sonicare Features: Types of Batteries / Multi-voltage Chargers / Traveling Cases», www.animated-teeth.com/electric_toothbrushes/b-sonicare-battery-charger.htm; U. S. Geological Survey and the U. S. Department of the Interior, «U. S. Mineral Commodity Summaries 2012», minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/ and minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2012/mcs2012.pdf. По подсчетам японского правительства, для электрической зубной щетки нужно примерно тридцать пять металлов, двадцать четыре из которых — малые металлы. Shinsuke Murakami, e-mail, November 25, 2014; Ryan Castilloux, interview by Gareth Hatch, «Rare Earth Market Outlook: Supply, Demand and Pricing From 2014–2020», November 28, 2014, www.techmetalsresearch.com/rare-earth-market-outlook-report.

Хотя в своих истоках электрическая зубная щетка восходит к свиной щетине и кости, ее технологическая составляющая (а на самом деле и большинства продуктов электронного века) связана с теми местами, где совершаются научные прорывы, такими, как лаборатория Texas Instruments.

Джек Килби пришел в Texas Instruments на должность инженера-электрика в 1958 году, всего за несколько недель до сезона летних отпусков. Поскольку Килби, который во время Второй мировой войны работал в Управлении стратегических служб, только что присоединился к фирме, он не мог уйти в отпуск. Поэтому когда коллеги оставили его, как нового сотрудника, в офисе одного, он не знал, что именно ему надо делать. Компания производила транзисторы, резисторы и конденсаторы, и Килби подумал, что может попытаться сделать их более эффективными.⁴

В то время сотни (если не тысячи) транзисторов, диодов, выпрямителей и конденсаторов — компонентов, модулирующих мощность в электронике, — приходилось паять вручную. Это ручное производство было дорогостоящим, повышало вероятность того, что одно неудачное соединение подорвет всю систему, и мешало развитию новой электроники, так как сложность схемы стала помехой для протекания тока. Килби хотел создать единую интегральную схему, чтобы компаниям не нужно было заниматься спайкой отдельных частей. Поскольку все его коллеги были на каникулах, у него было время попробовать свои силы.⁵

4. Hayden Dingman, «The Legend of Jack Kilby: 55 Years of the Integrated Circuit», *PCWorld*, September 12, 2013, www.pcworld.com/article/2048664/the-legend-of-jack-kilby-55-years-of-the-integrated-circuit.html; Texas Instruments, «What If He Had Gone on Vacation», www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/vacation.shtml.

5. Nobelprize.org, «The History of the Integrated Circuit», May 5, 2003, www.nobelprize.org/educational/physics/integrated_Circuit/history/; Dingman, «The Legend of Jack Kilby».

Успех идеи Килби зависел от выбора правильного материала. Ему нужен был металл, который бы проводил электричество, что позволило бы регулировать электрический ток в интегральной схеме. Килби быстро нашел решение, выбрав редкий металл германий. Всего через месяц после возвращения его коллег из отпуска у него был готовый прототип. Это изобретение выглядело как кусочек жевательной резинки, прикрепленный к квадратному коричневому стеклышку с торчащими из него проводами. Но оно было гениальным. Его работа принесла ему Нобелевскую премию по физике в 2000 году, а микрочип лег в основу микропроцессоров и нашей электронной жизни. Это был один из важнейших моментов, определивших сегодняшнюю эпоху редких металлов.⁶

Менее чем через десять лет интегральная схема Килби стала фундаментальным элементом в электронном мире и легла в основу самого передового на тот момент чуда настольной техники — калькулятора. Начиная с конца 1960-х и начала 1970-х годов Texas Instruments вместе с другими компаниями начала производить калькуляторы, которые умели чуть больше, чем складывать, вычитать, умножать и делить. По сегодняшним меркам они были обычными канцелярскими принадлежностями для офиса, — то есть до тех пор, пока сэр Клайв Синклер не выпустил элегантно простой и эстетически привлекательный Sinclair Executive. В 1973 году *Design*

6. Джек взял кусочек германия в качестве «полупроводникового» материала и прикрепил его тем, что выглядело как тонкая полоска жевательной резинки, к большому прямоугольному предметному стеклу микроскопа с торчащими из него проводами. *Nobelprize.org*, «The History of the Integrated Circuit»; *Nobelprize.org*, Nobel Media AB2014, May 5, 2003, www.nobelprize.org/educational/physics/integrated_Circuit/history/, accessed April 6, 2015; Jack S. Kilby—Biographical, *Nobelprize.org*, Nobel Media AB2014, in *Les Prix Nobel: The Nobel Prizes 2000*, ed. Tore Frängsmyr (Stockholm: Nobel Foundation, 2001), available at www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2000/kilby-bio.html; Dingman, «The Legend of Jack Kilby».

Journal назвал семидесятиграммовый калькулятор сэра Клайва Синклера «изящным сочетанием современного стиля и передовой электроники, [который] сумел создать для себя нишу на рынке. Это одновременно и оригинальный предмет интерьера, и игрушка для состоятельных людей, и функциональный рабочий инструмент».⁷

В основе калькулятора находился полупроводник Texas Instruments — потомок работы Килби, но спрятанный в гладкий черный корпус размером с современный iPhone. У него был тонкий черный полупрозрачный экран, который показывал результаты расчетов на красном светодиодном дисплее, в состав которого входил редкий металл галлий.

При стоимости в 79 фунтов стерлингов (или около 190 долларов) калькулятор Синклера был относительно дешевым и дал толчок развитию офисных игрушек, которые сочетали в себе функциональность, стиль и удовольствие. Но у него были свои слабые места. Мощности аккумулятора хватало всего на несколько часов, а при включенном питании он иногда взрывался. Вскоре после выхода калькулятора модель сгорела в кармане рубашки советского дипломата, что, по сообщениям, заставило Советы расследовать, был ли он объектом зловещего заговора. Эти недостатки не мешали росту продаж калькулятора, ведь более новые модели становились стабильнее и отличались большей функциональностью.⁸ К 1986 году они стали настолько распространены, что Кеннет Кукиер и Виктор Майер-Шонбергер в своей книге *Big Data* отмечают, что около 40% вычислений широкого назначения в мире производились на этих карманных устройствах — они обладали большей суммар-

7. David Rowlands, «The Push-Button Abacus», *Design* 290 (February 1973): 36–37, available at vads.ac.uk/diad/article.php?title=2&year=37&article=d.290.27.

8. Alice Rawsthorn, «Farewell, Pocket Calculator?» *New York Times*, March 4, 2012, www.nytimes.com/2012/03/05/arts/design/farewell-pocket-calculator.html.

ной мощностью, чем все персональные компьютеры на планете в то время.⁹

По словам одного отраслевого аналитика тех дней, калькулятор Синклера способствовал созданию «первого бездонного рынка дешевых электронных гаджетов со времен транзисторного радио». Это был интеллектуальный предшественник простых, элегантных и многофункциональных гаджетов, который со временем вырос до Sony Walkman и iPad. Синклер понял, что будущее высокотехнологичных гаджетов — это компактность, мощность и стиль. По сути, Клайв Синклер был Стивом Джобсом до Стива Джобса. Хотя гений заключался в дизайне продукта, именно целое новое многообразие редких металлов, начиная с тех, которые использовались Килби, помогло воплотить старые идеи в новом электронном творении.

«Многие устройства, которые ранее не были электронными, теперь содержат в себе электронные механизмы», — считает Уолтер Алкорн из Ассоциации бытовой электроники. Эти механизмы как будто оживляют их.¹⁰ Взять, к примеру, медвежонка по имени Teddy Ruxpin. Когда в 1985 году медведь попал на полки магазинов, он быстро стал самой продаваемой игрушкой года. Вместо мягкого рыхлого наполнителя у медвежонка были моторчик, динамик и кассетная дека, помещенные в пластиковую оболочку. То, чего Тедди не хватало в качестве мягкой игрушки, он восполнял своей индивидуальностью. Когда в него вставляли кассетную пленку, его рот начинал шевелиться, глаза моргать, а лапы — двигаться.

9. Viktor Mayer-Schönberger and Kenneth Cukier, *Big Data: A Revolution that Will Transform How We Live, Work, and Think* (Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2013).

10. Rowlands, «The Push-Button Abacus»; David A. Bell, «Napoleon in the Flesh», *MLN*120, no. 4 (September 2005): 711–715; «Pocket Calculators Add up to a Big Market», *New Scientist*, Google Books, July 20, 1972, books.google.co.uk/books?id=iRLS1Pz9xJwC&pg=PA144#v=onepage&q&f=false; Walter Alcorn, telephone interview by David Abraham, January 30, 2014.

Более того, Тедди умел разговаривать. Для многих детей это была всего лишь одна из любимых кукол, а для индустрии игрушек это был ключевой момент. В Тедди не было такого количества редких металлов, которыми напичканы современные электронные гаджеты, но он был первой коммерчески доступной живой куклой. И имея десятиллионные продажи, он стал огромным шагом вперед в области электронификации наших игрушек.¹¹

В период с 1980 по 1989 год только две самые продаваемые игрушки в канун Рождества работали на батарейках — Teddy Ruxpin и Lazer Tag, игра с электронными игрушечными пистолетами. До этого популярностью пользовались карточные игры, такие как Trivial Pursuit, или куклы вроде Cabbage Patch Kids. Но за десять лет подарочный мешок Деда Мороза стал намного тяжелее, а количество редких металлов в нем прибавилось. К началу первого десятилетия нового тысячелетия почти все топовые рождественские подарки имели электронную начинку. Это были не просто незатейливые игрушки, вроде медвежонка Тедди, а игровые системы наподобие Xbox и iPad. Они быстро стали самыми передовыми техническими товарами в мире. Когда-то игрушки по своему внешнему виду и форме походили на машины и кухонную утварь, но в последнее время все большее значение начинают иметь функциональность и интерактивность, и поэтому в игрушках появляется все больше редких металлов, таких как редкоземельный элемент фосфор, отвечающий за цвет на экране. Как отметила в 2013 году Эмбер Пьетробоно из компании

11. Worlds of Wonder, Teddy Ruxpin online, www.teddyruxpinonline.com/worldsof wonder.html; Douglas Martin, «Ken Forsse, Who Brought a Toy Bear to Life, Dies at 77», *New York Times*, April 8, 2014, www.nytimes.com/2014/04/09/business/ken-forsse-who-brought-a-toy-bear-to-life-dies-at-77; Michael Pollick, «This Fuzzy-Wuzzy Takes Messages „Wabi“», *Herald Tribune*, September 11, 2003, www.heraldtribune.com/article/20030911/NEWS/309110400; Walter Alcorn, telephone interview, January 30, 2014.

Fisher-Price, благодаря таким игрушкам дети в возрасте от трех до десяти лет являются крупнейшим растущим сегментом пользователей планшетов и первым поколением эпохи редких металлов.¹²

О нашем спросе многое говорит то, что наши потребности в ресурсах выражены сходящимися траекториями. Поколение назад калькулятор и Walkman, игрушки для взрослых, весьма отличались от плюшевого мишки и G.I. Joe, солдатиков моей юности. Сегодня детские и взрослые игрушки практически одинаковы. Мы все нависаем над экраном: высокотехнологичные гаджеты теперь вмонтированы в следующее поколение. Это лишь одна из причин, по которой использование малых металлов возрастает.

В 1983 году, за несколько лет до появления медвежонка Тедди, Motorola представила свой первый мобильный телефон стоимостью 3995 долларов. Этот кирпич весом почти в килограмм был скорее чем-то вроде показного атрибута бизнесмена, нежели серьезным средством коммуникации; качество связи было низким, а покрытие — слабым. Но по мере того как Motorola и ее конкуренты совершенствовали внутренние компоненты телефона, многие из которых изготавли-

12. Linda Wells, «The Toys at the Top of Children's Gift Lists», *New York Times* November 29, 1986, www.nytimes.com/1986/11/29/style/the-toys-at-the-top-of-children-s-gift-lists.html; TheCHIVE, «The Best Selling Christmas Gifts from 1980 to 2011 (31 Photos)», December 17, 2012, thehive.com/2012/12/17/the-best-selling-christmas-gifts-from-1980-to-2011-31-photos/; «The Most Popular Christmas Toys by Year since 1960», *Geek in Heels*, November 4, 2009, www.geekinheels.com/2009/11/04/the-most-popular-christmas-toys-by-year-since-1960.html; Amber F. Pietrobono, interview by Joanna Stern, New York, February 12, 2013, Joanna Stern, «At Toy Fair 2013, the iPad Is the Real Plaything», ABC News, February 12, 2013, abcnews.go.com/Technology/barbie-digital-makeover-mirror-idollhouse-nerf-cyberhoops-toy/story?id=18477909; Stern, «Supertoy Teddy: The Teddy Ruxpin for the Smartphone and Siri Generation», ABC News, July 29, 2013, abcnews.go.com/Technology/supertoy-teddy-teddy-ruxpin-smartphone-siri-generation/story?id=19806856.

вались с использованием редких металлов, качество приема и звука улучшалось. Сегодня, спустя тридцать лет, мобильный телефон представляет собой насыщенную концентрацию редких материалов: на 60% он состоит из металлов и керамики.¹³

Подобно игрокам в баскетбольной команде, каждый металл играет важную роль. Все элементы выполняют определенные задачи. Для антенны нужны титан и бор, для передатчиков — титан и барий, в конденсаторах используются тантал и стронций, в динамиках и микрофоне — самарий и кобальт, в соединительных разъемах — бериллий; а в усилителях мощности — галлий. Уберите редкоземельный элемент фосфор, и экран станет тусклым. Выкиньте тантал, и телефон станет больше, а звонки будут чаще срываться. Удалите галлий, и прием ухудшится.¹⁴

-
13. K. Hodgkins, «IntoMobile Perspective: How Motorola Went from the Car, to the Moon and Finally Your Pocket», IntoMobile, October 2, 2014, www.intomobile.com/2012/10/02/intomobile-perspective-motorola-then-and-now; Motorola, «What Better Way to Discover Motorola's Heritage Than by Exploring the Stories Behind Some of Our Biggest Innovations?» www.motorola.com/us/consumers/about-motorola-us/About_Motorola-History-Timeline/About_Motorola-History-Timeline.html; «History of the Cellular (Cell/Mobile) Phone — Handsets — DynaTAC8000X», History Cell (Mobile) Phone, www.historyofthecellphone.com/phones/motorola-dynatac-8000x.php; Ellen MacArthur Foundation, «In Depth — Mobile Phones», 2014, www.ellenmacarthurfoundation.org/business/toolkit/in-depth-mobile-phones; Whatsinmystuff.org, «Key Facts — What's In My Stuff», 2014, www.whatsinmystuff.org/key-facts/; Environmental Protection Agency, «The Life Cycle of a Cell Phone», 2004, www.epa.gov/osw/education/pdfs/life-cell.pdf. A phone is made of roughly 40 percent plastic; the rest is metals and ceramics.
14. Благодаря своей электрической проводимости и упругой «памяти» — способности быстро принимать исходную форму — бериллий служит в качестве соединителя между мобильным телефоном и зарядным устройством. «Beryllium: The Miracle Metal», *Materion*, materion.com/~media/Files/PDFs/Corporate/Beryllium-The%20Miracle%20Metal; Prachi Patel-Predd, «The Trouble with Touch Screens», *IEEE Spectrum*, January 1, 2009, spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/the-trouble-with-touch-screens; Akio Shibata, «Marubeni Corporation: A View of Rare Metals in the Natural Resource Market», Marubeni Research

Причина, по которой в телефонах используется так много металлов, заключается в том, что стоимость каждого отдельного металла в расчете на единицу товара настолько низка, а их свойства настолько полезны, что по соображениям экономии нет необходимости заменять их на что-либо другое. С развитием новых технологий затраты становятся еще ниже, а производительность растет.

Эволюция от сотовых телефонов к смартфонам открывает возможности для использования редких металлов, особенно учитывая то, что к 2017 году их число, по оценкам, приблизится к 1,5 млрд. По сравнению со своими предшественниками, в смартфонах содержится больше металлов, в больших количествах и часто более высокого качества. Например, в смартфонах 4G используется в шесть — десять раз больше галлия, чем всего несколько лет назад было в обычном сотовом телефоне. Использование материала в расчете на единицу продукции может быть небольшим, но оно суммируется на рынках малых металлов в значительные объемы. В аккумуляторе одного мобильного телефона используется в среднем всего 6 граммов кобальта. Это количество кажется незначительным, но из него складывается потребление около 7500 тонн кобальта ежегодно для одних только смартфонов.¹⁵

Institute Presentation, 2007; National Academies Press, «Minerals, Critical Minerals, and the U. S. Economy», 2008, www.nap.edu/catalog/12034/minerals-critical-minerals-and-the-us-economy; Claire Cain Miller, «More Power to You», *Forbes*, July 3, 2008, www.forbes.com/forbes/2008/0721/048b.html.

15. Fuji Film, «Value from Innovation», Annual Report 2014, www.fuji-filmholdings.com/en/investors/annual_reports/2013/feature/v80_keybusinesses.html; Roger Entner, «Roger's Recon: State of Wireless Union 2014, Part Two», *Recon Analytics*, February 13, 2014, reconanalytics.com/2014/02/rogers-recon-state-of-wireless-union-2014-part-two. По подсчетам Oko Institute, в каждом аккумуляторе смартфона содержится около 6,3 грамма кобальта. Согласно исследованию компании Gartner, в 2014 году было продано около 1,2 млрд смартфонов. Matthias Buchert, Andreas

Конечно, в некоторых новых товарах используется меньше редких металлов, чем в их предыдущих версиях. Например, в светодиодных дисплеях применяется намного меньше редкоземельных элементов в расчете на одну лампу, чем в их люминесцентных собратьях. А в ноутбуках на замену жестким дискам пришли новые твердотельные накопители, которые хранят данные на микросхемах флеш-памяти. Поскольку на жестких дисках используются два редкоземельных магнита, один из которых способствует вращению магнитных металлических пластин, а другой кодирует данные на них, переход на флеш-накопители на 10 000 тонн в год уменьшает потребляемое количество редкоземельных магнитов, необходимых для хранения фотографий и файлов.¹⁶

Тем не менее, хотя флеш-накопители быстрее и меньше, их цена в 2014 году была почти в восемь раз выше, чем на жесткие диски для того же объема памяти. Поэтому такие компании, как Acer, делают свои компьютеры, в частности Chromebook, с меньшим размером флеш-памяти. Чтобы компенсировать недостаток памяти, пользователи прибегают к облачному хранилищу, в котором основой удаленного хранилища служат жесткие диски со своими редкоземельными магнитами. Поэтому, хотя мы и наблюдаем

Manhart, Daniel Bleher, and Detlef Pingel, «Recycling Critical Raw Materials from Waste Electronic Equipment», e-report, Darmstadt, Oeko-Institut e.V., 2010, www.oeko.de/oekodoc/1375/2012-010-en.pdf; Gartner, «Gartner Says Sales of Smartphones Grew 20 Percent in Third Quarter of 2014», 2014, www.gartner.com/newsroom/id/2944819; Whatsinmystuff.org, «Key Facts».

16. Joel Santo Domingo, «SSD vs. HDD: What's the Difference?» *PC Magazine*, February 20, 2014, www.pcmag.com/article2/0,2817,2404258,00.asp. Molycorp, компания, которая выпускает большой процент магнитов для жестких дисков, называет их копейными магнитами из-за их низкой стоимости. Stan Trout, telephone interview by David Abraham, February, 5, 2014; Suzanne Shaw and Steve Constantinides, «Permanent Magnets: The Demand for Rare Earths», paper presented at the eighth International Rare Earths Conference, Hong Kong, November 13–15, 2012.

сокращение использования редкоземельных элементов в ноутбуках, мы видим значительное увеличение использования редкоземельных магнитов в жестких дисках в облачных центрах хранения данных.¹⁷

Как продемонстрировал Клайв Синклер, редкие металлы помогают уменьшить размеры и вес продукции, но они также делают товары мощнее, тоньше, ярче, сильнее и во многих случаях дешевле. И чем лучше становится эта потребительская электроника, тем она становится более распространенной, и мы начинаем считать ее трансформирующие свойства чем-то само собой разумеющимся.

В своем недавнем перелете из Шанхая моя подруга сетовала на отсутствие личного экрана в спинке впереди стоящего кресла самолета. Она напрягала глаза, чтобы смотреть фильмы на основном телевизионном экране, который находился на расстоянии нескольких рядов от нее. Полеты без экрана в спинке кресла становятся редкостью на дальних рейсах. Мэри Кирби, редактор журнала *Airline Passenger Experience Association*, отмечает, что всем авиакомпаниям, совершающим рейсы на дальние расстояния, необходимо заказывать самолеты с индивидуальными экранами в креслах; без них «это почти как покупка автомобиля без радио».¹⁸

Мы забываем, что экраны когда-то были только телевизионными. Теперь мы привыкли к обычным или сенсорным экранам в метро, такси и даже в писсуарах. Одна из основных технических трудностей при раз-

17. Steve Constantinides, e-mail, June 13, 2014; Steve Constantinides, unpublished research, 2014; Santo Domingo, «SSD vs. HDD».

18. Virgin Atlantic, «In Flight Entertainment, Fact Sheet», www.virgin-atlantic.com/tridion/images/factsheet_ife_tcm4-426058.pdf. Прошло чуть более двадцати лет (с 1991 года) с тех пор, как Virgin Atlantic стала первой авиакомпанией, предлагающей экраны на спинках кресел самолетов на воздушном судне. Sam Schechner, «Airlines Entertain Tablet Ideas», *Wall Street Journal*, September 27, 2012, www.wsj.com/articles/SB10000872396390443916104578020601759253578.

работке технологии плоских экранов состояла в том, чтобы найти материал, который позволил бы фотоэлементам позади экрана светить через него, продолжая при этом проводить электричество, образуя, таким образом, замкнутую цепь (и снижая необходимость в громоздкой электронно-лучевой трубке).¹⁹ Проблема в том, что проводящие металлы непрозрачны, поэтому, если поместить их перед фотоэлементами, они затемняют экран.

Взять порошок индия, который при смешивании с оловом становится уникальным прозрачным проводником и к тому же хорошо держится на стекле. Проводящие свойства этого материала и его способность пропускать свет стали важнейшим фактором в развитии технологии плоских экранов. Но для экрана в спинке кресла самолета не требуется много индия — даже в плоском телевизионном экране с диагональю 42 дюйма содержится всего щепотка этого металла на сумму в 3 доллара, что на треть меньше его количества в смартфоне. (На самом деле индиево-оловянное покрытие работает так же хорошо, как чистый проводник, в настоящее время его применяют в качестве противотуманного средства на окнах самолетов и для предотвращения образования наледи на дверцах морозильных камер в супермаркетах.) Свойства этого металла настолько уникальны, что ни одной промышленной замене до сих пор не удалось пошатнуть доминирующую роль индия в плоских экранах, несмотря на его недостатки — хрупкость и негибкость, которые стали причиной многих разбитых экранов смартфонов. И поскольку экраны полу-

19. Экраны представляют собой запатентованное сочетание, состоящее из слоев стекла, индия, пластика и проводов, которые передают электрический ток. Caleb Denison, «OLED vs. LED | Digital Trends», Digital Trends, August 20, 2013, www.digitaltrends.com/home-theater/oled-vs-led-which-is-the-better-tv-technology/; EIZO GLOBAL, «How Can a Screen Sense Touch? A Basic Understanding of Touch Panels», www.eizo.com/global/library/basics/basic_understanding_of_touch_panel/.

чают все большее распространение, — ожидается, что в период между 2013 и 2017 годами их станет в четыре раза больше, — то же произойдет и с индием.²⁰

Современные смартфоны, планшеты и компьютеры, основанные на плоских экранах, принципиально отличаются от таких автономных продуктов, как Sinclair Executive. Примерно 2,6 млрд этих товаров, выпущенных в 2015 году (невероятное число, учитывая, что всего лишь 65 лет назад население мира составляло 2,6 млрд человек), лучше всего работают, когда они подключены друг к другу. И именно эта скрытая сеть, каркас цифрового века, служит также и кровом для редких металлов.²¹

Создание беспроводной сети базовых телефонных и радиорелейных станций произошло только благодаря достижениям в области материаловедения в 1970-х годах с использованием таких металлов, как индий, титан и тантал. Важнейшие материалы, такие как керамика, изготовленная из бария и титана, позволили базовым станциям передавать телефонные сигналы с вашего телефона в сеть.²²

20. Carol Gowans, «Indium Tin Oxide», Indium Corporation Blogs, February 4, 2013, blogs.indium.com/blog/indium-tin-oxide; John D. Jorgenson, «Indium», U.S. Geological Survey, 2002, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/indium/indimyo2.pdf. По оценкам исследовательской фирмы IHS Global, к 2018 году доля рынка индия будет составлять 66%. См.: press.ihs.com/press-release/design-supply-chain-media/itos-dominance-touch-screens-challenged-alternative-technology; Fuji Film, «Value from Innovation», highly functional materials section. Growth is from 2012 through 2018.

21. U.S. Census Bureau, «World Population: Total Midyear Population for the World: 1950–2050», www.census.gov/population/international/data/worldpop/Table_population.php.

22. Fujitsu Laboratories, «Fujitsu Develops Transmitter Power Amplifier Circuit Technology with Industry-Leading Power Efficiency», September 26, 2013, www.fujitsu.com/global/news/pr/archives/month/2013/20130926-01.html; National Academies Press, «Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy»; National Institute of Standards and Technology, «Overcoming Barriers to Innovation», February 14, 2012, www.nist.gov/public_affairs/factsheet/over

Сегодня оптоволокно, которое представляет собой стеклянные струны, передающие закодированные световые сигналы, лежит в основе интернета, поскольку переносит информацию по всему миру буквально со скоростью света. Для успешной работы оптических волокон необходимо, чтобы свет все время двигался вперед; это сложная задача, потому что по мере распространения свет теряет свою интенсивность. Германий — один из многочисленных редких металлов, используемых в волоконно-оптической сети. Изготовители покрывают оптические волокна тетрахлоридом германия толщиной в несколько микрон для образования уплотнения вокруг сердцевины волокна. Этот редкий металл служит одновременно и смазкой, и изолятором; он помогает направлять свет вперед и препятствует его рассеиванию. Германий составляет около 4% от общего веса оптического провода, но это, казалось бы, незначительное применение оказывает серьезное влияние на небольшой рынок такого малого металла, как германий, — около сорока из ста тридцати тонн германия, производимого ежегодно, идет на поддержание работы интернета. Однако рынок готов взорваться; по оценкам ЕС, к 2030 году рынок волоконной оптики вырастет в восемь раз.²³

comingbarriers.cfm. Японские исследования привели к тому, что были найдены новые применения оксида титанита бария.

23. Umicore, «High Purity Germanium», com.umicore.com/en/high-purity/products/highPurityGermanium/. Согласно Umicore, «тетрахлорид германия GeCl_4 используется в качестве легирующего агента в сердцевине кварцевого стекловолокна для увеличения показателя преломления, что позволяет управлять оптическими данными через волокно. Для обеспечения оптимальной передачи важна высокая степень очистки GeCl_4 ». W. C. Butterman and J. D. Jorgenson, «Mineral Commodity Profiles: Germanium», Open-File Report 2004-1218 (Reston, VA: U. S. Geological Survey, 2005); Raw Materials Supply Group, Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials, July 30, 2010, ec.europa.eu/eip/raw-materials/en/community/document/annex-v-report-ad-hoc-working-group-defining-critical

На самом деле спрос на межсетевое взаимодействие настолько велик, что Международное энергетическое агентство прогнозирует к 2022 году удвоение роста информационных технологий, связи и бытовой электроники, а за пятнадцать лет — их трехкратное увеличение. И быстрее всего этот рост происходит в Азиатско-Тихоокеанском регионе, где в 2014 году увеличение численности среднего класса и его спрос на эти товары выросли примерно на 20%. Этот кажущийся необузданным рост может в корне изменить рынки малых металлов.²⁴

Санни — типичная представительница китайского молодого поколения. Во время нашей встречи в 2011 году она радовалась своему новому iPhone 4, пока мы ели гамбургеры в новом ресторане в фешенебельном районе Саньлитунь в Пекине, где она жила. Санни свободно говорила по-английски и была далека от поколения своих родителей, отпрысков Культурной революции, которых учили не поддаваться влиянию иностранных идей. Несмотря на медленную скорость интернета в Пекине и отсутствие Facebook и YouTube, она была взбудоражена. «Я всю ночь ждала этот телефон», — говорила она. Трудно представить, что эта стильно одетая женщина целую ночь провела в очереди на улице в ожидании телефона.

Покупка нового телефона была не просто сложной задачей для Санни — это было опасно. В 2011 году в флагманском магазине Apple в Пекине во время старта продаж iPad 2 начались драки, а затем то же

tical-raw-materials. The EU predicts the market will grow eightfold from 2012 to 2030.

24. Mark Scott, «Emerging Markets Expected to Drive Device Sales», *New York Times*, January 7, 2014, bits.blogs.nytimes.com/2014/01/07/emerging-markets-expected-to-drive-device-sales DisplaySearch, «Global Tablet PC Shipments to Reach 455 Million by 2017», www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/140206_global_tablet_pc_shipments_to_reach_455_million_by_2017.asp. By 2017, it is predicted that 455 million tablets will come off the assembly.

повторилось в 2012 году с выпуском iPhone 4.²⁵ Но были случаи и похуже. В китайской провинции Аньхой восемнадцатилетний мальчик Ван Шанкун, мечтая о лучшей жизни, использовал средства, вырученные от продажи своей почки, для покупки iPad и iPhone, но в итоге оказался в больнице с почечной недостаточностью.²⁶

Продажа органов и даже ожидание открытия магазина на улице ночью — крайние примеры поведения людей ради желанного гаджета, но в то же время это иллюстрация того, что спрос на высокотехнологичные товары не знает экономических границ; это подчеркивает потенциальную проблему наступающей эпохи редких металлов: что, если жители развивающихся стран, таких как Индонезия, не просто будут копировать склонность Запада к гаджетам и коммуникации, а намного превзойдут ее?

Сеса-Опас, который предпочитает, чтобы я связывался с ним через *Twitter* для сохранения легкой завесы анонимности, говорит, что не будет отвечать мне во время своих перемещений по Джакарте на скутере. Но этот тридцатилетний индонезиец использует *Twitter* за рулем, на беговой дорожке — везде и всякий раз, когда у него выдается свободная минута. Хотя он пользуется только несколькими приложениями (в основном *Twitter*, *Facebook* и *PATN* — популярное в Индонезии приложение для обмена сообщениями), по его словам, он проводит более половины своего активного времени в социальных сетях.

25. Jake Smith, «Flagship Beijing Apple Store Cancels Selling iPhone 4S after Fight Breaks Out», 9 To 5 Mac Apple Intelligence, January 12, 2012, 9to5mac.com/2012/01/12/flagship-beijing-apple-store-halts-selling-iphone-4s-after-fight-breaks-out/; Scott Baker, «Customers Left Bloody in Scuffle at Apple Store iPad Launch in Beijing», May 8, 2011, www.theblaze.com/stories/customers-left-bloody-in-scuffle-at-apple-store-ipad-launch-in-beijing.

26. CNN Wire Staff, «9 on Trial in China over Teenager's Sale of Kidney for iPad and iPhone», August 10, 2012, edition.cnn.com/2012/08/10/world/asia/china-kidney-ipad-trial.

Статистика Сеса-Опаса подтверждает его страсти. За последние пять лет он отправил более 142 000 твитов. Это более 500 твитов в неделю, около 74 твитов в день, каждый день на протяжении пяти лет. «Пользоваться Twitter — все равно что смотреть телевизор, — говорит он мне. — Повсюду можно найти новости, скандалы и обсуждения. Если вы подпишетесь на нужных людей, доступ к развлечениям на вашем мобильном телефоне будет непрерывным». Каждое утро после отключения будильника на своем смартфоне он проверяет уведомления в Twitter. «У меня зависимость», — говорит он. В течение пяти лет он не отрывался от своего «ТВ» больше чем на 36 часов. Когда командировка привела его в отдаленную часть страны, он оказался без Twitter. «В течение первых трех-четырёх часов я чувствовал СИЛЬНОЕ беспокойство, — говорит он. — Когда я потом вошел в систему, мне казалось, что я пропустил все самое интересное». Ему потребовалось несколько часов только для того, чтобы наверстать упущенное.

Сеса-Опас не одинок. Повсюду в кафе в Джакарте молодые индонезийцы сидят втроем, вчетвером или вшестером за одним столиком с iPhone или Samsung в одной руке и едва теплым сладким чаем — в другой. Нередко можно увидеть целые семьи, каждый из членов которых уставился в свой портативный экран. В Индонезии второе по величине сообщество Facebook в мире, и третье — по численности активных пользователей Twitter. Согласно исследованию Semio-cast, которое проводилось в 2012 году на протяжении одного произвольно взятого месяца, в Джакарте более активные пользователи Twitter, чем в Нью-Йорке или Токио. Даже из Бандунга, индонезийского города с населением в 2,5 млн человек, было отправлено больше твитов, чем из Парижа, Лос-Анджелеса или Чикаго. Такая активность оказывает влияние на глобальный диалог. Когда индонезиец Эянг Субур развелся с четырьмя из восьми своих жен, эта новость широко освещалась в Twitter, что побудило

английскую актрису Эмму Уотсон послать недоуменный твит своим 6 млн подписчиков: «Серьезно, кто этот парень?»²⁷

Ощутимое присутствие индонезийцев в интернете тем более поразительно, что только четверть из почти 250 млн человек в стране имеют доступ к сети. Многие не могут позволить себе гаджеты для выхода в интернет, а до некоторых мест еще не дотянулась соответствующая инфраструктура вроде оптоволокну и телефонных башен. Но ситуация меняется. В 2013 году количество абонентов мобильной связи в течение года увеличилось почти вдвое — до 58,7 млн человек. При этом мобильных телефонов на архипелаге больше, чем людей: на каждого человека приходится примерно 1,2 телефона. Десять лет назад, когда я путешествовал по индонезийским городам, мне было трудно найти надежное интернет-соединение. Теперь почти в каждом кафе предлагается wi-fi, и множество людей, подобно Сеса, пьют кофе, не отрываясь от своих гаджетов. Глядя на Сеса, можно предположить, что он будет одним из первых покупателей носимой электроники. Несколько лет назад этого сегмента не существовало вовсе, но ожидается, что к 2018 году будут реализованы более 110 млн единиц такого рода товаров.²⁸

27. Indonesia Investments, «Internet Penetration in Indonesia: Rising but Slower than Wanted», January 16, 2014, www.indonesia-investments.com/news/todays-headlines/internet-penetration-in-indonesia-rising-but-slower-than-wanted/item1524; SlideShare, «Indonesia. The Social Media Capital of the World», December 11, 2013, www.slideshare.net/OnDevice/indonesia-the-social-media-capital-of-the-world#btn. A previous study quotes SemioCast data from July 2012, Indonesia. Zakir Hussain, «4 Too Many: Indonesian Spiritual Guru Splits Up with Half His 8 Wives», *Straits Times*, May 29, 2013, www.stasiareport.com/the-big-story/asia-report/indonesia/story/4-too-many-indonesian-spiritual-guru-splits-half-his-8-wives; Emma Watson, Twitter post, May 29, 2013, twitter.com/EmmaWatsonIndo/status/339996137161383936/photo/1.

28. Indonesia Investments, «Internet Penetration in Indonesia»; Mariel Grazella, «Mobile Data Use Skyrocketing», *Jakarta Post*, January 22, 2014, www.thejakartapost.com/news/2014/01/22/mobile-da

Такой запрос от потребителей представляет собой большую проблему для ресурсов. Томас Грейдель из Йельской школы леса и экологических исследований считает, что, если спрос на ресурсы будет расти в соответствии с экономическими прогнозами, общий объем металлов, необходимых для удовлетворения спроса, будет в пять — десять раз больше в сравнении с сегодняшним уровнем.²⁹ Это означает, что нам понадобится в пять — десять раз больше сырья для удовлетворения appetites растущего и богатящего индонезийского и мирового населения. Спрос на ресурсы, особенно на малые металлы, может превзойти даже самые смелые ожидания Грейделя. Это касается не только товаров личного потребления, которые зависят от редких металлов, но и крупнейших мировых продуктов производства.

Производственное предприятие Boeing, расположенное под Сиэтлом, не просто большое — имея площадь почти в 1500 кубических километров, оно огромное и по масштабам затмевает Пентагон. Завод настолько велик, что от парковки до офисов сотрудники добираются на шаттлах. Здание кажется безразмерным до тех пор, пока вы не увидите сборочные конвейеры: ряды самолетов, самые большие высокотехнологичные продукты производства на земле, от носа до хвоста. Возможно, нет такого товара, в котором использовалось бы больше малых металлов, чем в самолете.

ta-use-skyrocketing.html; Citizen Lab, «IGF 2013: An Overview of Indonesian Internet Infrastructure and Governance», University of Toronto, October 25, 2013, citizenlab.org/2013/10/igf-2013-an-overview-of-indonesian-internet-infrastructure-and-governance/; statistic as of 2012; Metal-Pages, «Booming Sales of Wearable Electronics Creating Markets for Minor Metals and Rare Earths», April 11, 2014, www.metal-pages.com/news/story/78823/booming-sales-of-wearable-electronics-creating-markets-for-minor-metals-and-rare-earth/; International Data Corporation estimates.

29. T. E. Graedel and J. Cao, «Metal Spectra as Indicators of Development», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States* 107, no. 49 (2010): 20905–910, doi:10.1073/pnas.1011019107.

Если вам кажется, что самолеты не являются продуктами высоких технологий, то поразмыслите над тем, что в одном только Boeing 747 протяженность проходов составляет более 200 километров. Но бортовая электроника — это только начало. За последние пятьдесят лет самолеты отказались от стали, заменив ее композитными материалами и более легкими металлами вроде титана. Например, новый корпус Airbus A350 содержит 14% титана по сравнению с 6% в предыдущей модели Airbus A320. Ожидается, что всего за пять лет увеличение использования титана приведет к удвоению его использования — до 41 200 тонн к 2016 году.³⁰

В двигателях все чаще встречаются самые сложные материалы. В своем докладе «Минералы, критические минералы и экономика США» Национальная академия наук отмечает, что недавние достижения в винтомоторных установках оказались возможными только благодаря совершенствованию применения высокотемпературных свойств таких малых металлов, как кобальт, рений и иттрий. Например, рений из-за своей прочности и более высокой температуры плавления позволяет реактивным двигателям рабо-

30. Air Canada, «Historical Fleet: Boeing 747-400», www.aircanada.com/en/about/fleet/historical/b747-400.html; Metal-Pages, «New Generation Aircraft Increasingly Titanium Dependent», October 26, 2011, blog.metal-pages.com/2011/10/26/new-generation-aircraft-increasingly-titanium-dependent/; Dawn Hickton, «Commercial Aerospace Demand: International Titanium Association», lecture at the Titanium 2012 Conference and Exhibition, Atlanta, October 8, 2012. Согласно одной оценке, использование титана в аэрокосмической промышленности может увеличиться с 21 300 тонн в 2011 году до 41 200 тонн в 2016-м. Hickton, lecture, quoted in George M. Bedinger, «2011 Minerals Yearbook: Titanium», U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey, April 2013, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/myb1-2011-titan.pdf; Rick Shulte, «Innovation, Including Use of Titanium, Drives Airbus Success», *Titanium Today*, Aerospace ed. (2013): 70–71; Margaret Hunt, «Material Threats to the Titanium Industry», *Titanium Today*, Aerospace ed. (2013): 16–17.

тать при более сильном нагреве и потреблять меньше топлива.³¹

Но поскольку рений — побочный продукт производства меди, он встречается еще реже, чем золото. Из более чем 120 тонн медной руды можно произвести только 1 унцию рения. В период между 2006 и 2008 годами цена на рений взлетела в 11 раз, до более чем 11 000 долларов за килограмм, благодаря тому что спрос повышался намного быстрее, чем заводы успевали увеличить предложение. Тем не менее разработчикам легче полностью переделать конструкцию двигателя для работы при более низких температурах, чем найти другой металл для замены рения.³²

В 2006 году в секторе авиационной промышленности компании General Electric (GE) ощущался дефицит рения. Из-за проблем с закупками металла GE внедрила программу сокращения потребления рения, в которую входило извлечение металла из старых двигателей, поиск металлических опилок, утерянных в производстве, и тенденция использовать меньше материала при проектировании. Для каждой лопасти турбины требуется лишь щепотка рения в сплаве, около пол-унции (или 14 граммов). Хотя благодаря действиям GE риск нехватки рения снизился, такие меры подходят не для всех металлов.³³

31. National Academies Press, «Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy», 55; Scott Miller, «GE Aviation „Raising a Third Flag“ in S.C.», *GSA Business*, April 12, 2010. www.gsabusines.com/news/33861-ge-aviation-lsquo-raising-a-third-flag-rsquo-in-s-c; Désirée E. Polyak, «2011 Minerals Yearbook: Rhenium», U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey, February 2013, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rhenium/myb1-2011-rheni.pdf.

32. GE Citizenship, «Rhenium Reduction Program: Using Less of a Rare Mineral», citizenship.geblogs.com/rhenium-reduction-program-using-less-of-a-rare-mineral/; National Academies Press, «Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy», 48.

33. GE Citizenship, «Rhenium Reduction Program». Аналогичным образом производители ЖК-экранов наносили два слоя индия, но переключились на один слой, когда обнаружили, что получают такую же производительность и тот же эффект. Noah

«Для каждого отдельного элемента существует своя стратегия», — отмечает Стив Дюкло, главный научный сотрудник Глобального исследовательского центра General Electric. Нет единого подхода для всех металлов. Он добавляет, что не так уж сложно сэкономить 30% конкретного элемента, поскольку использование меньшего количества материалов оптимизирует производственные процессы. Но как только компании достигают большей эффективности, у них остается меньше вариантов действий.³⁴

GE сумела повысить надежность своих поставок рения с помощью программы восстановления и утилизации, но только до определенной степени. Компании по-прежнему приходится приобретать некоторое количество рения на рынке. И поскольку не все компании, использующие рений, так же дальновидны, как GE, перебои в поставках тем не менее могут вызывать повышение цен и служить причиной задержек в производстве. Более тревожным для GE может быть то, что эффективность компании парадоксальным образом сделала ее более уязвимой для перебоев поставок рения в долгосрочной перспективе. Благодаря такой экономичности в применении металла, использовать меньше рения в будущем станет еще сложнее.

Дюкло отмечает, что реорганизация производственных процессов может снизить спрос, но быстрым и хорошим решением было бы заменить этот редкий металл другим материалом. Однако зачастую это проблематично. «Нельзя вынуть один металл, положить другой и сказать: „Вот и все“. Это не так просто, как люди думают», — говорит Карл Гшнейднер, материаловед, известный как господин Редко-

Lehrman, interview by David Abraham, New York, January 8, 2014; Claire Miko, Indium Corporation, telephone interview by David Abraham, February 13, 2014.

34. Steven Duclos, «Energy-Critical Materials», paper presented at Materials Research Society Fall Meeting and Exhibit, Boston, November 25, 2012.

зем.³⁵ Поиск альтернатив для замены редких металлов другими материалами обходится недешево. «Это отнимает ресурсы от разработки новых технологий», — говорит Дюкло. Кроме того, этот процесс требует больших временных затрат. На поиск подходящих материалов для замены может понадобиться столько же — или даже больше — времени, как и на поиск исходного материала, так что процесс может затянуться на пару десятилетий.³⁶

Скачок рыночных цен на рений указывает и на кое-что более существенное — характерную для эпохи редких металлов обратную зависимость ресурсов. Основная причина роста цен на рений была связана с ростом цен на нефть сразу после 2001 года. Поскольку около трети расходов авиакомпаний приходится на топливо, в интересах их руководителей строить более экономичные самолеты. И для двигателей таких самолетов нужен был рений, поэтому спрос на него возрос. По сути, авиакомпании обменяли зависимость от топлива на зависимость от рения.

Boeing и GE должны постоянно отслеживать тенденции в развитии торговли редких металлов ввиду их высокого спроса на эти ресурсы. Для производства Boeing 747 нужны 6 млн компонентов из более чем тридцати стран. Более того, рений — это всего лишь один металл из примерно семидесяти элементов периодической таблицы, которые потребляют General Electric и Boeing. Boeing культивирует бережливое производство; с момента попадания компонента в производственную цепочку до его выпуска в качестве составной части самолета проходит всего пять месяцев.³⁷ Хотя благодаря отказу от создания буферных запасов в распоряжении компании имеется больше средств для более эффективного инвестирования,

35. Karl Gschneidner, telephone interview by David Abraham, November 12, 2013.

36. Duclos, «Energy-Critical Materials».

37. Boeing Facility Tour, Everett, Washington, July 19, 2013.

такое бережливое производство создает для компании риски с точки зрения обеспечения долгосрочных поставок редких металлов. Boeing, General Electric и другие компании с длинными цепочками поставок предприняли ряд мер по усилению комитетов по управлению рисками в области редких металлов — сразу после кризиса на рынке редкоземов в 2010 году некоторые из них проводили встречи раз в неделю.³⁸

Такие комитеты по управлению рисками в области редких металлов — относительно новое явление. Это связано с тем, что исторически производители мало заботились о таких поставках из-за их крайне низкой доли в конечной стоимости продукта. Рэнди Кирчайн, главный научный сотрудник Массачусетского технологического института (MIT), сказал мне: «Для большинства компаний эти ресурсы не были средоточием их интересов; они отдавали приоритет наиболее ценным для них ресурсам — в случае автомобильной компании это сталь».³⁹

Согласно исследованию, проведенному PwC под названием «Минералы и дефицит металлов в производстве: бомба замедленного действия», руководители компаний постепенно стали проявлять озабоченность. Более двух третей производителей опасаются, что вскоре смогут ощутить нехватку ресурсов. Как отмечает Билл Макклин, президент IC Insights, Inc., консалтинговой фирмы для производителей интегральных схем: «Отсутствие конденсатора стоимостью 10 центов может привести к закрытию всей линии производства товара стоимостью 300 долларов».

38. Boeing, «Boeing Celebrates Delivery of 50th 747-8», May 29, 2013, boeing.mediaroom.com/2013-05-29-Boeing-Celebrates-Delivery-of-50th-747-8; Steven J. Duclos, «Testimony before the Subcommittee on Investigations and Oversight of the House Committee on Science and Technology», February 10, 2010, accessed December 15, 2011, gop.science.house.gov/Media/hearings/oversight10/mar16/Duclos.pdf.

39. Randy Kirchain, interview by David Abraham, Cambridge, MA, February 22, 2013.

В 2000 году такой танталовый конденсатор предположительно помешал выпуску PlayStation 2. Семь лет спустя еще один случай дефицита тантала, по всей видимости, привел к задержке производства Boeing 787s.⁴⁰

Компании часто больше привязаны к конкретному материалу, чем к какому-либо продукту. Например, компания по производству литий-ионных батарей не может переключиться на изготовление никелево-металлических гидридных батарей из-за существенных отличий в производственных процессах. По словам Джона Смита, торговца металлами в 5N Plus, простая смена поставщиков влечет за собой множество хлопот, потому что каждый раз приходится в течение долгого времени проверять качество материала. Даже незначительные отклонения могут вызвать сбой в производственном процессе компании.⁴¹

40. PricewaterhouseCoopers, «Minerals and Metals Scarcity in Manufacturing: The Ticking Time Bomb», 2011, www.pwc.com/resourcescarcity; J. Bonasia, «CONSUMER ELECTRONICS PlayStation 2 Shortage Reflects Changing Industry», *Investor's Business Daily*, December 28, 2000, news.investors.com/technology/122800-348096-consumer-electronics-playstation-2-shortage-reflects-changing-industry.htm; Doug Bartholomew, «Boeing Scrubs New Jets Takeoff», *eWeek.com*, November 8, 2007, www.eweek.com/c/a/Enterprise-Applications/Boeing-Scrubs-New-Jets-Takeoff/; Walter Pohl, *Economic Geology: Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons — Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral Deposits* (Chichester, West Sussex: Wiley-Blackwell, 2011); John Lasker, «The PlayStation War as the West's Insatiable Appetite for Personal Electronics Continues, So Do Africa's Resource Wars», *Columbia Free Press*, December 19, 2013, columbusfreepress.com/article/playstation-war-west%E2%80%99s-insatiable-appetite-personal-electronics-continues-so-do-africa%E2%80%99s. Цена на колтан подскочила почти в десять раз — с 40 до 380 долларов за фунт, и, по слухам, у Sony возникли проблемы с выводом на рынок PlayStation, потому что компании не удалось получить доступ к материалу. Blaine Harden, «A Black Mud from Africa Helps Power the New Economy», *New York Times*, August 12, 2001. www.nytimes.com/2001/08/12/magazine/12COLTAN.html; Helen Vesperini, «Congo's Coltan Rush», *BBC News*, August 1, 2001, news.bbc.co.uk/2/hi/africa/1468772.stm.

41. John Smith, interview by David Abraham, Fairfield, CT, January 8, 2013.

Несмотря на такие серьезные риски, многие компании до сих пор до конца не знают, из чего состоит их продукция ввиду сложности определения источников. Например, как объясняет Рэнди Кирчайн из MIT, Ford Motor Company привлекает внешних подрядчиков для проектировки своих магнитов, а затем выбирает того, кто лучше всех справился с задачей.⁴² Компании нет дела до редких металлов в этих магнитолах. Но этот образ мысли постепенно меняется. «Компании пробуждаются... раз их технологическое портфолио становится разнообразнее, они прибегают к гораздо более широкому набору элементов, — говорит Рэнди. — Менеджеров может застать врасплох отсутствие достаточного количества материалов».

«Компании быстро теряют бдительность», — говорит Кевин Мур, старожил General Motors, более тридцати лет проработавший в компании.⁴³ Как только кризис миновал, они забывают о случившемся и возвращаются к прежним путям, а это означает, что вкладываются меньше в маловероятные, но связанные с большим риском события вроде перебоев в поставках рения. Но именно в это время компании должны сконцентрировать внимание на безопасности поставок. Сложность в том, что когда цена на эти материалы падает, то и интерес руководства снижается. Как в ноябре 2012 года отметил Стив Дюкло на симпозиуме Общества по исследованиям материалов: «Кризисы обходятся дороже, случаются чаще и больше сбивают с толку».

Суть проблемы в том, что спрос потребителей на новые высокотехнологичные продукты и технологии таких компаний, как Apple и GE, растет намного быстрее, чем шахты могут увеличить предложение. Из базового курса экономики мы знаем, что более вы-

42. Kirchain, interview, February 22, 2013.

43. Kevin Moore, telephone interview by David Abraham, May 6, 2014.

сокая цена на ресурс приводит к увеличению производства, но это не всегда работает для рынков редких металлов. В случае с многими редкими металлами предложение не меняется в ответ на спрос, а цена растет, потому что компании не в состоянии увеличить производство в короткий срок. Горнодобывающие компании не могут открыть шахту для производства диспрозия в ответ на ожидаемый рост спроса в следующем году.

Из-за этой волатильности критически важно проводить тщательный мониторинг цепочек поставок малых металлов. Поскольку все больше товаров следуют по пути электрической зубной щетки и все больше людей пользуются электрическими зубными щетками, угроза дефицита редких металлов возрастает. Компании могут только постараться защитить себя. Зачастую они зависят от капризов рыночных сил. Дюкло отмечает: «Мы не можем решить все проблемы периодической таблицы». Обеспечить поставки редких металлов для каждой цели просто невозможно. И хотя потребности высоких технологий в редких металлах ошеломляют, их затмевает растущий спрос на них со стороны «зеленых» технологий.⁴⁴

44. Duclos, «Energy-Critical Materials».

Требования окружающей среды: «зеленые» редкие металлы

РАНИМ январским утром по дороге длиной в 185 км от Силламяэ до столицы Эстонии, Таллина, можно увидеть немного. В 8.00 утра солнце еще не взошло, и даже если бы оно светило, бескрайние поля белого снега оставались бы неизменными вдоль всего пути. Однообразие пейзажа скрывает ресурсы, спрятанные под мерзлым грунтом. В мягко-бурой осадочной породе заключен нефтеносный сланец, который эстонцы добывают на протяжении почти столетия. Дешевое, но грязное топливо, сланец все еще обеспечивает 70% энергетических потребностей страны. Бодрящий студеной утренний воздух превращает теплые шлейфы дыма над землей, поступающие со сланцевой электростанции в отдалении, в прозрачные вздымающиеся облака. За этими облаками я вскоре увижу надежду на более чистое будущее — несколько ветровых турбин, их лопасти вращаются в унисон в арктическом бризе.¹

Эти новые ветровые турбины обеспечивают около 10% всей генерирующей мощности страны. Амбициозные планы, обсуждаемые в Таллине, в ближайшем будущем обещают увеличение ветровой энергии с 300 до 1800 МВт. Подобно электростанциям, работающим на сланцевой нефти, эти заводы используют

1. Isa Soares, «Estonia's Dirty Energy Drive for Self-Sufficiency», CNN, December 5, 2013, edition.cnn.com/2013/12/05/business/estonia-oil-shale-industry/.

местные ресурсы: ветер и неодим, металл, произведенный на эстонском заводе по переработке редкоземельных элементов в Силламяэ. Основным источником энергии, ветер, не стоит ничего, но чтобы заставить его работать, нужны дорогостоящие металлы.²

«Зеленые» технологии — это не только ветровые турбины и солнечные батареи; к ним относятся энергосберегающие автомобили, лампочки и даже лифты. И для инфраструктуры почти всех этих технологий, от океанских приливных турбин до аккумуляторных батарей, нужны редкие металлы. Но «зеленые» технологии — это не только продукты производства. Некоторые редкие металлы тоже следует считать «зелеными», потому что многие из них, например ниобий, резко сокращают потребность в использовании других металлов, что означает меньшие общие выбросы углекислого газа (CO₂). И как бы ни ужасюще это звучало для некоторых защитников окружающей среды, на «зеленые» задачи требуется увеличение добычи и переработки редких металлов. Разработка шахт не противоречит «зеленой» экономике — она ей необходима.

А исследования показывают, что для борьбы с глобальным потеплением нам понадобится гораздо больше редких металлов. По данным Межправительственной группы ООН по изменению климата, к 2050 году на возобновляемые источники энергии должно приходиться около 50% всей мировой энергии, что означает сокращение доли ископаемого топлива в нашем энергетическом комплексе. Исследование приходит

2. International Energy Agency, «Estonia Is Cleansing Oil Shale», January 2014, www.iea.org/newsroomandevents/news/2014/january/estoniaiscleansingoilshale.html; Linas Jegelevicius, «Baltics' Estonia Ramps Up Wind Power Generation», *Renewable Energy World*, February 2014, www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2014/02/baltics-estonia-ramps-up-wind-power-generation. «Elering: Electricity Consumption and Production in Estonia», accessed December 4, 2014, elering.ee/electricity-consumption-and-production-in-estonia-2/.

к выводу о том, что к 2100 году использование ископаемого топлива в мире должно прекратиться. Путь к переменам — это не просто переход на новые технологии. Речь идет о том, чтобы позаботиться об обеспечении ресурсами редких металлов. В совместном исследовании, проведенном в 2011 году, Общество исследований материалов и Американское физическое общество высказали предостережение, которое должно вызывать серьезную озабоченность. В нем говорится: «Недостаток этих „важных для энергии элементов“ может значительно затормозить внедрение альтернативных передовых энергетических технологий».³ Это означает, что мы будем обречены жить в мире ископаемого топлива, если не сможем укрепить цепочки поставок редких металлов, которые необходимы нам для поддержки «зеленых» технологий.⁴

Международное энергетическое агентство (МЭА) прогнозирует, что для того чтобы ограничить глобальное потепление не более чем на 2 °С, возобновляемая энергия через 20 лет должна генерировать половину электричества на планете. Для достижения этой цели МЭА в одном из своих наиболее вероятных сценариев делает предположение, что солнечная и ветровая энергия совместно должны вырабатывать более 6000 ТВт·ч. Это огромное увеличение по сравнению с 750 ТВт·ч, которые были произведены во всем мире в 2013 году. Более того, производители автомобилей должны увеличить производство электрокаров

3. American Physical Society, «Energy Critical Elements», accessed December 4, 2014, www.aps.org/policy/reports/popa-reports/upload/elementsreport.pdf.

4. U.S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*, 2011, energy.gov/sites/prod/files/DOE_CMS2011_FINAL_Full.pdf; Core Writing Team, «Climate Change Synthesis Report Summary For Policymakers», Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Synthesis Report, 2014, www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_SPMcorr1.pdf.

на 80% ежегодно — с 80 тыс. до 7 млн, чтобы по меньшей мере 20 млн были на дорогах к 2020 году.⁵

Согласно некоторым исследованиям Массачусетского технологического института (MIT), если бы мы могли заставить весь мир покупать достаточное количество ветровых турбин и электромобилей, чтобы снизить воздействие глобального потепления, то в течение следующих 25 лет нам нужно было бы увеличить производство неодима более чем на 700% и диспрозия — на 2600%. Проблема в том, что исторически производство этих двух редкоземельных элементов росло лишь на 6% в год, а не на 8 или 14%, необходимых в течение следующих 25 лет. Элиза Алонсо, бывший исследователь MIT, а ныне консультант различных агентств по вопросам охраны природных ресурсов, говорит, что реальная проблема заключается в том, что, несмотря на значительные колебания в производстве отдельных малых металлов в течение любого данного года, немногие металлы сохраняли такие темпы роста на протяжении десятилетия. Расчеты Министерства энергетики США и Европейского союза, сходные с расчетами Алонсо и ее коллег из MIT, свидетельствуют о нехватке материалов, необходимых для реализации требуемых экологических перемен.⁶

5. Согласно Международному энергетическому агентству, если мир хочет поддерживать выбросы углекислого газа на уровне ниже 450 млн⁻¹, то необходимо производство более 15 000 ТВт·ч из альтернативных источников. Organization for Economic Cooperation and Development/International Energy Agency, «Renewable Energy Outlook, Basking in the Sun?» *World Energy Outlook, 2013*, 197–232, available at www.worldenergyoutlook.org/media/weoweb/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf; International Energy Agency, *Tracking Clean Energy Progress 2013* (2014), www.iea.org/publications/TCEP_web.pdf. Нам также необходимо производить 10 млн гибридных транспортных средств ежегодно. *BP Statistical Review of Global Energy*, June 18, 2014, accessed April 15, 2015, www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html.

6. Elisa Alonso, Andrew M. Sherman, Timothy J. Wallington, Mark P. Everson, Frank R. Field, Richard Roth, and Randolph E. Kirchain,

В основании полостей ветровых турбин мощностью 3 МВт, вращающихся над замерзшей трассой в Таллин, лежат редкоземельные постоянные магниты, которые входят в систему прямого привода для преобразования энергии вращающихся лопастей в электричество для тысяч эстонских домов. Эти магниты являются неотъемлемой частью относительно нового поколения турбин, которые поступили на рынок в 1992 году и получили наибольшее распространение в последнее десятилетие. В Китае они уже составляют около 25% рынка, и эта величина растет. В технологических системах предыдущего поколения роль превращения энергии вращающихся лопастей в электричество, по существу, выполняла коробка передач, но из-за колоссальной механической нагрузки на устройства срок службы многих из них был куда меньше, чем заявленные 20 лет. Одной из причин увеличения количества систем с постоянными магнитами послужили более низкие, чем ожидалось, эксплуатационные расходы, поскольку в этих системах используется меньше компонентов.⁷

«Evaluating Rare Earth Element Availability: A Case with Revolutionary Demand from Clean Technologies», *Environmental Science and Technology* 46, no. 6 (2012): 3406–14, doi:10.1021/es203518d; Elisa Alonso, interview by David Abraham, Baltimore, May 1, 2014; David Abraham, «Geopolitics and Minor Metals», paper presented at the Minor Metals Metal-Pages Conference, Shanghai, China, September 6, 2013.

7. Для справки: в Соединенных Штатах для 800 000 домов ежегодное потребление электроэнергии составляет 1 гигавайт-час или 1000 мегаватт-часов. Donald Bleiwas, *Byproduct Mineral Commodities Used for the Production of Photovoltaic Cells* (U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey, 2011); «Magnet Price Hikes Hit Direct Drive's Future», *Windpower Monthly*, October 28, 2011, www.windpowermonthly.com/article/1101036/magnet-price-hikes-hit-direct-drives-future; Bo-Ping Hu, «China's Rare-Earth Permanent Magnet Industry», paper presented at the International Conference on Rare Earths (2010), as referenced in U. S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*. Как отмечала компания Alstom в декабре 2013 года, когда устанавливала крупнейшую ветровую электростанцию на море, «благодаря генератору с постоянными магнитами в устройстве меньше механических

Благодаря меньшим затратам на содержание и ремонт, эти новые магниты стали привлекать больше внимания, особенно в качестве применения в офшорных ветровых турбинах, которые сложны в обслуживании и должны противостоять более серьезному воздействию сил природы ввиду своего местоположения. По мнению производителя ветровых турбин Alstom, благодаря системе прямого привода, в которой используются постоянные магниты, сокращаются расходы на техническое обслуживание, которые могут достигать 40% от всех расходов на ветровые турбины.⁸

В отличие от стереодинамиков или жестких дисков компьютеров, рассмотренных в предыдущей главе, в которых используются редкоземельные магниты весом в 1 грамм или пол-унции, в этих стометровых башнях редкоземельные магниты содержатся в количестве, в тысячи раз большем. В одной только турбине может содержаться от 250 до 600 килограммов редко-

деталей, что делает его более надежным и, таким образом, помогает снизить эксплуатационные расходы и расходы на техническое обслуживание. Alstom, «Alstom Installing World's Largest Offshore Wind Turbine off the Belgian Coast», November 2013, www.alstom.com/press-centre/2013/11/alstom-installing-worlds-largest-offshore-wind-turbine; Margaret Schleifer, «The Giant Wind Gamble», Cleantech Investor, 2014, www.cleantechinvestor.com/portal/wind-energy/9552-the-giant-wind-gamble.html.

8. В коробках передач скорость 15–20 об./мин преобразуется в более высокую скорость 1800 об./мин, благодаря чему генерируется электричество. April Nowicki and Peter Bronski, «Are Direct-Drive Turbines the Future of Wind Energy?» Earthtechling, February 2013, earthtechling.com/2013/02/are-direct-drive-turbines-the-future-of-wind-energy/; Frank J. Bartos, «Direct-Drive Wind Turbines Flex Muscles», Control Engineering, 2014, www.controleng.com/single-article/direct-drive-wind-turbines-flex-muscles/4be132ffb053a53fc4ab10b2c9c57340.html; Morris Lindsay, «Direct Drive vs. Gearbox: Progress on Both Fronts», *Power Engineering* 115, no. 3 (2011), www.power-eng.com/articles/print/volume-115/issue-3/features/direct-drive-vs-gearbox-progress-on-both-fronts.html; Shawn Sheng, Jon Keller, and Mark McDade, «Gearbox Reliability Collaborative Update: A Brief», paper presented at the AWEA Operations and Maintenance Working Group Meeting, January 10–12, 2012, www.nrel.gov/docs/fy12osti/53804.pdf.

земельных магнитов на мегаватт мощности. Поэтому если в ветровых турбинах на суше в Эстонии используется почти тонна редкоземельных магнитов, в более крупных турбинах мощностью до 10 МВт, предназначенных для моря, может содержаться магнитов в три раза больше. Это означает, что в каждой ветровой турбине используется около 2 тонн редкоземельных магнитов, для которых необходимо до 160 килограммов диспрозия, одного из самых сложных редкоземельных элементов для приобретения.⁹

Поставки диспрозия представляют собой сложную задачу. Для будущего гибридного или электромобиля понадобится менее 100 граммов, а для будущей ветровой турбины — около 30 килограммов. Но с появлением миллионов электрических и гибридных автомобилей и тысяч ветровых турбин можно ожидать значительное увеличение спроса. По данным Министерства энергетики США, наши потребности могут возрасти до 8000 тонн в год, то есть в 7 раз больше, чем уровень производства в 2010 году.¹⁰ И в этом анализе даже не учитывался экспоненциальный рост потребности в диспрозии для производства высокотехнологичных товаров.

Страх нехватки ресурсов заставляет компании задуматься о выборе технологии для своих турбин. Согласно исследованию консалтингового агентства PwC, почти 90% руководителей предприятий в секторе

9. Эти оценки являются приблизительными, поскольку большая часть информации о материалах находится в закрытом доступе. Steve Constantinides, e-mail, December 1, 2014; Gareth Hatch, telephone interview by David Abraham, August 12, 2014. Dysprosium is 3–8 percent of the magnet's weight. U. S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*; Laura DiMugno, «North American Windpower: Smaller And Lighter 10 MW Wind Turbines May Be on the Horizon», North American Windpower, 2013, www.nawindpower.com/e107_plugins/content/content.php?content.10990; Sander Hoenderdaal, Luis Tercero Espinoza, Frank Marscheider-Weidemann, and Wina Graus, «Can a Dysprosium Shortage Threaten Green Energy Technologies?» *Energy* 49 (2013): 344–55.

10. U. S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*.

возобновляемых источников энергии считают, что дефицит минералов и металлов повлияет на их бизнес, а около 80% ожидают, что ограниченность ресурсов станет серьезной проблемой в будущем.¹¹

Гарет Хэтч, соучредитель Technology Metals Research, отмечает, что за несколько месяцев до кризиса редкоземельных элементов в 2010 году магниты в некоторых крупных ветровых турбинах стоили около 80 000 долларов за турбину. За год, когда цены на редкоземельные металлы взлетели, стоимость подскочила до 500 000 долларов и выше. Компании бросились на поиски редкоземелов. Но спустя полтора года цены опустились до прежних низких значений. Хэтч говорит: «Компании все еще не оправились от [скачков] цен и не хотят полагаться на эти металлы».¹²

«Компании стремятся снизить риски в своих цепочках поставок», — говорит Эйзе де Фрис, известный эксперт в области ветроэнергетики. В разгар роста цен на редкоземельные металлы в 2011 году он отмечал, что переход компаний на турбины с постоянными магнитами был лишь вопросом времени. Но он также считал, что рост цен на редкоземельные элементы привел к значительному увеличению затрат на производство генераторов, что побудило компании заново продумать свои системы приводов. Например, Siemens отказывается от диспрозия в своих турбинах. А такие компании, как General Electric (GE) и Vestas, развивают свои старые технологии коробки передач без использования редких металлов. Это поразительно, особенно для GE. В 2009 году, после приобретения ScanWind — норвежской компании, работавшей на технологии прямого привода с постоянными маг-

11. Pricewaterhouse Coopers, «Minerals and Metals Scarcity in Manufacturing: The Ticking Time Bomb», accessed March 3, 2014, www.pwc.com/gx/en/sustainability/research-insights/metal-minerals-scarcity.jhtml/.

12. Hatch, interview, August 12, 2014.

нитами, — вице-президент GE по возобновляемым источникам энергии Виктор Абэйт прокомментировал: «Это приобретение позволит GE предложить нашим клиентам вариант морских ветровых турбин с прямым приводом... мы надеемся на дальнейшее развитие проверенных технологий компании».¹³

Обеспокоенность по поводу поставок редкоземов и цен на них в 2011 году подтолкнула отрасль к дальнейшим исследованиям гибридных приводов, в которых используется примерно треть от количества редкоземельных элементов, применяемых в турбинах с прямым приводом, и к рассмотрению других альтернатив.¹⁴ Но «зеленые» технологические компании не просто меняют планы на свои турбины; некоторые из них пытаются полностью избежать определенных редких металлов, опасаясь, что Китай или другая страна могут сделать торговлю затруднительной.

Майкл Силвер, генеральный директор American Elements, считает, что очень много стран и компаний также отказываются от использования определен-

13. «Magnet Price Hikes», Windpower Monthly; Metal-Pages, «Siemens Upgraded Wind Turbine Reflects Industry Concerns over Dysprosium Supplies», 2014, www.metal-pages.com/news/story/77941/siemens-upgraded-wind-turbine-reflects-industry-concerns-over-dysprosium-supplies/; Eize de Vries, «GE Energy to Acquire Offshore Wind Turbine Supplier ScanWind of Norway», August 24, 2009, www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/08/ge-energy-to-acquire-offshore-wind-turbine-supplier-scanwind-of-norway.

14. U.S. Department of Energy, Critical Materials Strategy; Gerald Fox, «Gearbox Designers Turn to Hybrid Solutions», Renewable Energy World, April 2012, www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/04/gearbox-designers-turn-to-hybrid-solutions. Winergy, компания, специализирующаяся на цепях приводов, разработала новый редукторный привод, в котором одновременно присутствуют и синхронный генератор, основанный на постоянных магнитах, и альтернативный вариант с «классическим» синхронным генератором с электрическим возбуждением. 2013 *Global Gearboxes for Wind Energy Product Differentiation Excellence Award*, 1st ed., e-book (Frost and Sullivan, 2013), available at www.winergy-group.com/root/img/pool/downloads/en/winergy_-_award_write-up_final.pdf.

ных малых металлов по геополитическим причинам. Они опасаются повторения ценового шока в редкоземельной отрасли в 2010 году, в особенности если из-за геополитики предложение на рынке сократится или цена на какой-либо материал резко возрастет.¹⁵

Силвера беспокоит, что компании вкладывают огромные средства в отказ от надежных металлов в пользу непроверенных альтернатив, которые кажутся менее подверженными геополитическим рискам. Силвер называет продиктованное геополитическими опасениями решение выбирать «второй наилучший» вариант «перекосом в инновациях». И именно геополитические, а не геологические или производственные соображения приводят компании к разработкам не самых передовых технологий. В некоторых случаях замена одного материала на другой ради безопасности цепочки снабжения может быть оправданным решением, но это освобождает место компаниям, которые не разделяют вашу обеспокоенность по поводу цепочек поставок и разрабатывают продукты лучшего качества, потому что продолжают использовать известные редкие металлы. В дополнение к рыночным рискам замещение само по себе является растущей областью исследований.

Билл Маккаллум, старший материаловед в лаборатории Ames Laboratory в Айове, находится в авангарде исследований. Он возглавляет усилия правительства США по сокращению зависимости от неодимово-диспрозийных магнитов. Его цель состоит в том, чтобы американские компании использовали местные ресурсы для своих технологий. Учитывая ограниченное количество диспрозия, Маккаллум надеется найти способ заменить его церием, мягким серебристым металлом с атомным номером 58. Ковкий и податливый, церий, помимо прочего, — самый распро-

15. Michael Silver, telephone interview by David Abraham, March 13, 2014.

страненный из редкоземельных металлов. Он хочет коренным образом изменить автомобильную промышленность и ищет «второе наилучшее» решение для одной из самых волнующих проблем, стоящих перед Соединенными Штатами, — обеспечения развития «зеленых» технологий.

Хотя церий стоит дешевле и распространен гораздо шире, чем неодим и диспрозий вместе взятые, его магнитные свойства слабее и он быстро разрушается при высоких температурах. Как от материала-заменителя, Маккаллум не ждет от него многого. «Мы пытаемся изобрести магнит, из которого не получится очень хороший редкоземельный магнит», — говорит он мне.

Поэтому, даже если он совершит прорыв, его магнит будет слабее своего предшественника, а производители должны будут перепроектировать все системы, в которых он применяется, чтобы компенсировать, таким образом, его более низкую мощность. Маккаллум, который пользуется поддержкой правительства США и General Motors, надеется, что его магнит окажется не только в ветровых турбинах, но и в гибридных и электрических транспортных средствах, потому что 90% рынка составляют двигатели с постоянными магнитами. Но, по его словам, ему необходима серьезная помощь. Каждый член его команды сталкивается с препятствиями и нуждается по крайней мере в «одном чуде», чтобы найти работающий заменитель.¹⁶

16. ARPA-E, «Cerium-Based Magnets», 2012, arpa-e.energy.gov/?q=slicksheet-project/cerium-based-magnets. William McCallum, telephone interview by David Abraham, May 8, 2014; Jim Witkin, «A Push to Make Motors with Fewer Rare Earths», *New York Times*, April 22, 2012, www.nytimes.com/2012/04/22/automobiles/a-push-to-make-motors-with-fewer-rare-earths.html; Catherine Yang, «Rare-Earth Trade Dispute with China Heats Up, Scientists Seek Alternatives», *National Geographic*, March 2012, news.nationalgeographic.com/news/energy/2012/03/120330-china-rare-earth-minerals-energy.

В случае успеха его магниты попадут в такие продукты производства, как автомобили. С точки зрения использования ресурсов редких металлов, не стоит думать о машине как об одном продукте, лучше как о доме, заполненном приборами: стереосистемы, системы воздушных подушек, двигатели — все это работает совместно. В стандартном автомобиле содержится более сорока магнитов и двадцати датчиков, в которых используются редкоземельные элементы общим весом около полукилограмма. Новые функции вроде камер, заменяющих зеркала заднего вида, только увеличивают их сложность, как и спрос на малые металлы.¹⁷

Сегодня автомобильные компании больше всего обеспокоены тем, что в каждом гибридном автомобиле применяется до 1,25 килограмма редкоземельных магнитных материалов, а в каждом электромобиле — примерно в три раза больше. Магниты из редкоземельных металлов используются в электромобилях по той же причине, что и в ветровых турбинах: в этом случае они намного эффективнее и мощнее асинхронного электродвигателя. «При том же уровне выходной мощности двигатель с постоянным магнитом всегда будет меньше, легче и компактнее по сравне-

17. Suzanne Shaw and Steve Constantinides, «Permanent Magnets: The Demand for Rare Earths», paper presented at the eighth International Rare Earths Conference, Hong Kong, November 13–15, 2012, www.roskill.com/reports/minor-and-light-metals/news/download-roskills-paper-on-permanent-magnets-the-demand-for-rare-earths; Reuters, «U.S. to Require New Cars to Have Rearview Cameras by 2018», March 31, 2014, www.reuters.com/article/2014/03/31/us-usa-autos-visibility-idUSBREA2U16R20140331. В цепи привода электрокаров используются полупроводники стоимостью 1000 долларов, с помощью которых двигатель передает мощность на колеса, в десять раз превышающую мощность стандартных автомобилей. Harald Bauer, Jan Veira, and Florian Weig, «Moore's Law: Repeal or Renewal», McKinsey on Semiconductors, no. 13 (Autumn 2013), www.mckinsey.com/client_service/semiconductors/latest_thinking/autumn_2013_issue.

нию с асинхронным электродвигателем», — говорит Джон Миллер, бывший исследователь силовой электроники в Национальной лаборатории Оук-Ридж, поддерживаемой Министерством энергетики США. Для автомобильных компаний это представляет дилемму.¹⁸

«Трудно отказаться [от постоянных магнитов]», — говорит Дэвид Рик, менеджер по стратегии электрификации в General Motors (GM) в Китае. Поскольку под капотом не так много места, а электрический и гибридный двигатели способны вытягивать не слишком большой вес, минимальная масса и размер очень важны. Поэтому большинство автомобильных компаний сосредоточили свое внимание на двигателях с постоянными магнитами.¹⁹

Кевин Мур, тридцать лет отслуживший в команде по снабжению GM, рассказал мне, что до 2010 года GM, как и многие другие автомобильные компании, не имела представления о ненадежности своих каналов поставок редкоземельных металлов, а также о том, сколько металлов нужно для каждого автомобиля. Теперь GM знает. И это знание изменило мышление компании.

Мур был частью делегации GM, отправившейся в Китай для оценки рисков, связанных со снабжением. Поездка была недолгой. «Если вы не можете обеспечить меня материалами, я не смогу сделать машину», — вспоминает он слова, сказанные ему ведущим инженером GM. Никто не мог дать таких гарантий, и делегация уехала ни с чем, пустившись на поиски альтернатив. «Если бы эти редкоземельные металлы были легкодоступными, никто даже не стал бы обсуждать вопрос о том, какой [двигатель] использовать», — сказал мне

18. Steve Constantinides, telephone interview by David Abraham, December 1, 2014. Поскольку точное количество материалов в автомобиле является строго охраняемым секретом, эти цифры оценочные; Miller quoted in Witkin, «A Push to Make Motors».

19. David Reeck, telephone interview by David Abraham, April 4, 2014.

Эд Беккер в начале 2014 года. Беккер проработал в GM столь же долго и отвечал в компании за сокращение количества редкоземов в магнитах. Он продолжил: «Помимо поставок необходимых для их производства материалов, других минусов у этих двигателей [с постоянным магнитом] не было».²⁰

Автомобильным компаниям необходимо обеспечивать поставки для всего производственного цикла своих автомобилей, который длится почти десятилетие, — около трех лет, начиная от стадии проектирования до производства, после которого следует семилетний производственный цикл. Даже несущественные модификации требуют больших усилий, не говоря уже о полной замене двигателя. Как выразился в интервью в 2013 году Пит Савагян, генеральный директор систем электрификации и конструирования электроприводов GM, «мы не можем все просто поменять в одночасье».²¹

Еще одна проблема для сотрудников, отвечающих за поставки материалов, таких как Савагян, заключается в том, что в «зеленых» транспортных средствах используются те же самые малые металлы, которые применяются и в других «зеленых» и высоких технологиях. Поэтому компания GM должна проводить оценку будущего спроса и уровня дефицитности редкоземельных элементов в других секторах, таких как ветроэнергетика. Если компания обнаружит, что у производителей ветровых турбин нет альтернативы редкоземельным магнитам, и ожидается, что спрос будет расти, то во время недостаточного снабжения GM окажется в ситуации дорогостоящей торговой войны. Говоря о рынке редкоземельных металлов, Савагян говорит: «Существует базисная нестабильность... Мы должны учитывать затраты и во-

20. Ed Becker, telephone interview by David Abraham, April 25, 2014.

21. «PODCAST 2B Malcolm Burwell Interviews Pete Savagian about Induction and Permanent Magnet Motors», video, 2013, youtu.be/xv9kjvrhqNg.

латильность затрат». Мур сказал мне, что компания была настолько обеспокоена вопросом поставок, что его коллеги даже обсуждали возможности покупки редкоземельной шахты. С тех пор из-за неуверенности GM в будущем редкоземельных элементов компания стала рассматривать варианты разработки менее мощного асинхронного двигателя.²²

GM не одинока, говорит Эд Беккер: «У каждой автокомпании, которую я знаю, есть запасной вариант для двигателя с постоянными магнитами». Разработка двигателя с использованием более старой конструкции асинхронного двигателя, основанной на медных или алюминиевых электромагнитах вместо редкоземельных, — это стратегия хеджирования. Тонкая грань отделяет хеджирование от перекоса в инновациях. Решение, какой двигатель производить, не принимается впопыхах; неправильный выбор может привести к банкротству компании.²³

В конце 1890-х годов похожая битва развернулась между автомобилями с бензиновыми и иными двигателями. Паровые, газовые и электрические двигатели имели свои сильные стороны, но почти четверть рынка в то время занимали бензиновые автомобили. Рэнсом Эли Олдс, инженер, который за свою карьеру получил за изобретения в общей сложности тридцать четыре патента, начинал свою деятельность в области паровой энергии и автомобилей с паровым приводом, которые в то время были менее дорогими. Несмотря на разницу в затратах, Олдс считал, что будущее развития автомобилей лежит в мощности и эффективности бензинового двигателя. Благодаря его дальновидности мы знаем такой автомобиль, как Oldsmobile, названный в его честь, а не по имени его конкурентов, братьев Стэнли или Поупа.²⁴

22. Ibid.; Kevin Moore, telephone interview by David Abraham, March 3, 2014.

23. Becker, interview, April 25, 2014.

24. David C. Mowery and Nathan Rosenberg, *Paths of Innovation* (Cam-

Можно сказать, что GM сейчас находится в аналогичной ситуации принятия решения. Ожидается рост рынка гибридных и электромобилей: за десять лет их продажи увеличатся почти в пять раз — с 69 млрд долларов в 2013 году до 334 млрд. Выбор правильного двигателя имеет решающее значение не только для GM, но и для всей экономики США, как это продемонстрировал Вашингтон, не допустив банкротства одной из крупнейших компаний во время финансового кризиса.²⁵

Несмотря на необходимость надежных поставок редких металлов, производители, как и инвесторы, предпочитают вкладывать как можно меньше средств в обеспечение поставок. Рынок наказал компании, которые принимали излишние меры предосторожности. В конце 1990-х годов цены на палладий, один из металлов платиновой группы, используемых в каталитических конвертерах компании Ford, выросли примерно в три раза, когда Россия, крупнейший в мире поставщик палладия, задержала поставки. Как и остальные автомобильные компании, Ford использовала металлы платиновой группы в своих конвертерах. Компания первоначально полагалась на платину, но перешла на более дешевый родственный элемент — палладий. Эти металлы фильтруют выхлопные газы и уменьшают выбросы автомобилей пу-

bridge: Cambridge University Press, 1998). На рубеже веков насчитывалось 1681 паровых, 1575 электрических и 936 бензиновых транспортных средств. James J. Flink, *America Adopts the Automobile*, 1895–1910 (Cambridge, MA: MIT Press, 1970); Curtis D. Anderson and Judy Anderson, *Electric and Hybrid Cars* (Jefferson, NC: McFarland, 2010); Willis Frederick Dunbar and George S. May, *Michigan: A History of the Wolverine State* (Grand Rapids, MI: Eerdman, 1980).

25. Metal-Pages, «Market for Hybrid & Electric Vehicles to Soar within 10 Years: Opportunity for Metals and Rare Earths», 2013, www.metal-pages.com/news/story/75778/market-for-hybrid-electric-vehicles-to-soar-within-10-years-opportunity-for-metals-and-rare-earths/.

тем химического преобразования трех загрязняющих веществ — несгоревших углеводородов, окисей углерода и азота — в менее вредные выхлопы.²⁶

Однако металлы платиновой группы — одни из самых дорогих элементов в мире, часто более дорогие, чем золото, — настолько дорогие, что торгуются в унциях. По словам аналитика Ford Motor Company, хотя в каждом автомобиле используется только 3,5 грамма, это количество в сумме достигает 250 тонн в год.²⁷

С момента внедрения в автомобили каталитических конвертеров в 1970-х годах автомобильные компании пытались заменить металлы платиновой группы другими малыми металлами, такими как кобальт или иридий, но безуспешно. Ford даже обратилась к Китаю с просьбой разработать каталитический материал из редкоземельных элементов в попытке переключить зависимость компании с одной группы редких металлов на другую. Но аналоги никогда не работали.²⁸

В 2000 году отдел закупок Ford был обеспокоен постоянным повышением цены на палладий и посчитал, что было бы неплохо обеспечить большие запасы палладия. Покупка казалась разумной, поскольку цена продолжала расти и в начале 2001 года достигла 1082 доллара за унцию. Но в течение следующего года цена быстро упала — примерно до 300 долларов за унцию. По оценкам, компания потеряла 1 млрд долла-

26. Gregory White, «A Mismanaged Palladium Stockpile Was Catalyst for Ford's Write-Off», Wall Street Journal, February 6, 2002, wsj.com/news/articles/SB1012944717336886240. The price jumped from \$363 in late 1999 to more than \$1,082 in 2001. BASF Catalysts, «How Catalytic Converters Work», www.catalysts.basf.com/p02/USweb-Internet/catalysts/en/content/microsites/catalysts/prods-inds/mobile-emissions/how-it-works.

27. David Hanson, «Critical Materials Problem Continues», *Chemical and Engineering News* 89 (2011), cen.acs.org/articles/89/i43/Critical-Materials-Problem-Continues.html. The estimation is by Ford's Christine Lambert, technical leader.

28. Hanson, «Critical Materials Problem Continues»; White, «A Mismanaged Palladium Stockpile».

ров, около 800 долларов за унцию, и нанесла неизмеримый ущерб своей репутации. По словам Рода Лача, аналитика Deutsche Bank Alex. Brown, «такие сюрпризы со временем начинают влиять на авторитет компании». Потери, которые понес Ford, привели к судебным разбирательствам. Подобные убытки побуждают компании не делать запасы редких металлов и не слишком хеджировать свое положение. Вероятно, это даже могло способствовать тому, что они стали избегать редких металлов, когда это возможно.²⁹

Экономисты вам скажут, что для того, чтобы покупатели начали с готовностью приобретать гибриды или электромобили (EV), характеристики этих транспортных средств должны соответствовать характеристикам двигателя внутреннего сгорания, то есть около 250 долларов/кВт-ч — показателю эффективности затрат на единицу топлива при нынешних ценах на бензин. В 2013 году большинство EV соответствовали уровню 485 долларов/кВт-ч, снизившемуся почти в два раза менее чем за 10 лет. В первой половине 2013 года Tesla Model S завоевала 8,4% рынка люксовых товаров, опередив традиционные для этого сегмента модели Mercedes S-класса и BMW, а также получила премию «Автомобиль года» по версии журнала *Motor Trend*, однако по цене более 72 000 долларов модель недоступна для большинства покупателей машин.³⁰

29. В начале 2000-х годов цена на палладий подскочила на 90%; см.: minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/550400.pdf; Kitco, «London Fix Historical Gold», accessed November 4, 2014, www.kitco.com/scripts/hist_charts/yearly_graphs.plx. Расчеты основаны на убытке в 1 млрд долларов. Henry E. Hilliard, *Platinum-Group Metals*, U. S. Geological Survey, 2001, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/550401.pdf. В коллективном иске компания Ford обвинялась в том, что она не раскрыла свои планы по наращиванию запасов палладия. White, «A Mismanaged Palladium Stockpile».

30. McKinsey, «Battery Technology Charges Ahead», July 2012, www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/battery_tech

Каждые несколько лет в течение последнего десятилетия Джон Соннеборн и его деловой партнер покупают один и тот же автомобиль. Их бизнес стабилен, поэтому обычно это Mercedes или Lexus, но в прошлом году они приобрели Tesla. Соннеборн говорит, что машина комфортна в вождении, произведена в Америке и разгоняется с нуля до 100 км/ч за 5,5 секунды, хотя он и уверяет меня, что не проверял это на личном опыте. Кроме того, у электрокара нет выхлопной трубы и прямых выбросов. «Здорово ощущать себя за рулем „зеленого“ автомобиля», — заключает он.³¹

Его Tesla уже достиг уровня 250 долларов/кВт-ч зарядной емкости. Конечно, секрет кроется в редких металлах. Хотя в асинхронном двигателе Tesla не используются редкоземельные постоянные магниты, во многих других компонентах они есть и применяются вместе с другими редкоземельными металлами, такими как титан, для защиты большой литиево-ионной батареи (длиной, сопоставимой с размерами машины), которая сама по себе стоит около 30 000 долларов, — это одна из причин дороговизны автомобиля.³²

nology_charges_ahead; International Energy Agency, Tracking Clean Energy Progress 2013; Electrification Coalition, «State of the Plug-in Electric Vehicle Market», 2013, electrificationcoalition.org/sites/default/files/EC_State_of_PEV_Market_Final_1.pdf; Angus MacKenzie, «2013 Motor Trend Car of the Year: Tesla Model S», *Motor Trend Magazine*, January 2013, www.motortrend.com/oftheyear/car/1301_2013_motor_trend_car_of_the_year_tesla_model_s/; Jack Kaskey and Simon Casey, «Tesla to Use North American Material Amid Pollution Worry», Bloomberg, March 28, 2014, www.bloomberg.com/news/2014-03-28/tesla-to-use-north-american-material-amid-pollution-worry.html.

31. Jon Sonneborn, telephone interview by David Abraham, April 4, 2014.
32. По сообщению аналитика Merrill Lynch Джона Ловалло, компания считает, что для создания конкурентного преимущества перед автомобилями с двигателями внутреннего сгорания требуется диапазон от 100 до 150 долл/кВт-ч. Chris Ciaccia, «Tesla Unveils Gigafactory: What Wall Street's Saying», *Thestreet*, Febru-

Консалтинговая компания McKinsey отмечает, что при ценах на бензин около 3,5 доллара за галлон автомобильные компании, которые используют аккумуляторные батареи стоимостью ниже 250 долларов/кВт-ч, могли бы производить конкурентоспособные электромобили. Но что, если следующее поколение Tesla станет дешевле в производстве? Tesla может трансформировать не только автомобильную отрасль, но и рынок «зеленой» энергии, а также спрос на редкие металлы. В настоящее время компания строит большую аккумуляторную фабрику, гигант стоимостью 5 млрд долларов, которая произведет столько же литий-ионной аккумуляторной мощности, сколько все остальные аккумуляторные заводы в мире вместе взятые. Цель Tesla состоит в том, чтобы снизить стоимость своей батареи по крайней мере на 30% и сделать электрокар доступным для тех, кто восхищается автомобилем, но не может себе его позволить. Снижение стоимости аккумулятора и повышение его эффективности имеют решающее значение. Согласно Министерству энергетики, для того чтобы электромобили могли конкурировать по расходам с машинами на бензиновом двигателе, им необходим аккумулятор, который в 2 раза превосходил бы емкость хранения энергии литиевых батарей, а его цена составляла бы 30% от их стоимости.³³

По словам Сайруса Уадия, советника президента по «зеленой» энергии и материалам в Управлении по

ary 27, 2014, www.thestreet.com/story/12459694/1/tesla-unveils-gigafactory-what-wall-streets-saying.html; Sebastian Anthony, «Tesla's Model S Now Has a Titanium Underbody Shield to Reduce Risk of Battery Fires to „Virtually Zero“», *Extremetech*, March 28, 2014, www.extremetech.com/extreme/179422-teslas-model-s-now-has-a-titanium-underbody-shield-to-reduce-risk-of-battery-fires-to-virtually-zero.

33. McKinsey, «Battery Technology Charges Ahead»; International Energy Agency, *Tracking Clean Energy Progress* 2013; Kaskey and Casey, «Tesla to Use North American Material»; ARPA-E, «The All-Electron Battery: A Quantum Leap Forward in Energy Storage», 2010, arpa-e.energy.gov/?q=programs/beest.

науке и технологиям Белого дома, сокращение расходов крайне важно для рынка электромобилей. Высокие издержки остаются препятствием для широкого использования аккумуляторных батарей. Но снижение расходов ради стимулирования спроса ставит под удар рынок редких материалов ввиду малого количества материалов-заменителей для батарей.³⁴

Электрические аккумуляторные батареи для автомобилей меньшего размера, чем Tesla, весят более 200 килограммов, стоят от 8000 до 18000 долларов и чаще всего изготавливаются из лития.³⁵ Алекс Теран, научный сотрудник компании Leyden Energy, говорит, что причина, по которой аккумуляторная отрасль в значительной мере зависит от лития, кроется в том, что нет более легкого или обладающего лучшими проводящими свойствами элемента, чем литий. «Он доказал свое превосходство. Неожиданностей больше не осталось, вы можете взглянуть на периодическую таблицу Менделеева и увидеть, с чем мы имеем дело».³⁶

Если Tesla удастся снизить стоимость батареи, это изменит не только автомобильный рынок, но и рынок лития и рынки других редких металлов. Многие не верят в дешевые и высококачественные поставки металлов. Как отметил Уадия в 2010 году, «для расширения производства необходимы значительные временные затраты, серьезные финансовые вложе-

34. Cyrus Wadia, Paul Albertus, and Venkat Srinivasan, «Resource Constraints on the Battery Energy Storage Potential for Grid and Transportation Applications», *Journal of Power Sources* 196, no. 3 (2011): 1593–98, doi:10.1016/j.jpowsour.2010.08.056.

35. Bill Canis, «Battery Manufacturing for Hybrid and Electric Vehicles: Policy Issues», *Congressional Research Service*, 2013, www.fas.org/sgp/crs/misc/R41709.pdf; Mike Ramsey, «Ford CEO: Battery Is Third of Electric Car Cost», *Wall Street Journal*, April 17, 2012, wsj.com/news/articles/SB10001424052702304432704577350052534072994. Ford's CEO Alan Mulally «indicated battery packs for the company's Focus electric car cost between \$12,000 and \$15,000 apiece».

36. Alex Teran, telephone interview by David Abraham, February 10, 2014.

ния в разработку полезных ископаемых, а также может потребоваться добыча и переработка ресурсов более низкого качества, из-за чего возможно увеличение расходов на добычу».³⁷

Другие аналитики, вроде Стюарта Бернса из компании Metal Miner, считают, что одна лишь мощность новой аккумуляторной фабрики истощит рынок кобальта, если только производство кобальта не начнет быстро расти. Некоторые, включая Гарета Хэтча из Technology Metal Research, опасаются, что то же самое произойдет и с рынком графита, который также будет необходим для Tesla в больших количествах. Хэтч отмечает, что для завода Tesla требуется 102,9 тыс. тонн графита, что составляет 125% от общего объема текущих мировых поставок. Если предположить, что Tesla достигнет своей цели, новые аккумуляторы спровоцируют новый спрос как в автомобильном секторе, так и в секторе «зеленой» энергетики. И это не единственные аккумуляторы на рынке. Аккумуляторы для автомобилей с функцией start-stop, размером с коробку для обуви, позволяют автомобилям с бензиновым двигателем экономить топливо, выключая двигатель на светофорах и в пробках.³⁸

Аккумуляторы являются важнейшей технологией для развертывания солнечных и ветровых турбин. По словам Линдона Рива, генерального директора Solarcity, они имеют настолько большое значение, что к 2020 году его компания не сможет продавать системы солнечных панелей, если не оборудует их аккумуляторами.

37. Wadia, Albertus, and Srinivasan, «Resource Constraints on the Battery Energy Storage», 1597.

38. Kaskey and Casey, «Tesla to Use North American Material»; Gareth Hatch, «Going Natural: The Solution to Tesla's Graphite Problem», Technology Metals Research, March 25, 2014, www.techmetalsresearch.com/2014/03/going-natural-the-solution-to-teslas-graphite-problem; Teran, telephone interview, February 10, 2014; Johnsoncontrols.com, «Start-Stop Battery» n. d., accessed April 10, 2015, www.johnsoncontrols.com/content/us/en/about/our_company/featured_stories/start-stop_battery.html.

муляторами. Причина проста: в отсутствие солнца солнечная панель, конечно, не может производить энергию. Аккумуляторы, которые заряжаются от солнечной панели, когда светит солнце, могут отдавать энергию, когда солнца нет, обеспечивая стабильный поток энергии. Поэтому новый мощный аккумулятор будет стимулировать продажи солнечных и ветровых турбин в качестве надежной альтернативы электрогенерирующему оборудованию, работающему на ископаемом топливе. Материаловеды, такие как Уайетт Мецгер, специалист по солнечной энергии в Национальной лаборатории возобновляемой энергии, считают, что аккумуляторы развиваются слишком медленно, чтобы помочь рынку.³⁹

В своей лаборатории, расположенной на дороге, ведущей в Колорадскую горную школу, у подножия склона Скалистых гор Мецгер работает над тем, что может произвести революцию в солнечных панелях. Его технология опирается на сочетание одного из редчайших элементов в мире, теллура, и токсичного кадмия, которые призваны радикально изменить сектор солнечной энергии.

Мецгер хочет трансформировать рынок солнечных панелей, на котором 87% от их общего количества сделаны из сверхчистого кремния и щепотки множества малых металлов, включая молибден и ниобий в проводке и индий на поверхности панели. Как отмечает Роберт Яффе, профессор Массачусетского технологического института, сопредседатель комиссии, составившей отчет Американского физического общества за 2011 год по энергетически важным элементам: «Для каждого ватта солнечной энергии нужны минералы из определенных разде-

39. Kevin Bullis, «Solarcity Will Use Tesla's Batteries to Store Solar Power», MIT Technology Review, December 5, 2013, www.technologyreview.com/news/522226/solarcity-using-tesla-batteries-aims-to-bring-solar-power-to-the-masses/.

лов периодической таблицы». Мецгер вместе со своей командой разрабатывает новую технологию тонких пленок кадмий-теллура. Сам по себе слой кадмий-теллура намного тоньше пряди волос. По словам Мецгера, они дешевле в производстве, чем высокочистый кремний. В других тонкопленочных технологиях используются галлий (он же применяется и в ЖК-экранах) и селен, родственные элементы теллура. Их тонкость и гибкость открывают новые возможности солнечной энергии: благодаря им панели можно свернуть, что делает их переносными. Эта функция является ключевой для военных задач, поскольку доставлять топливо в зоны конфликта недорого и небезопасно.⁴⁰

Хотя Мецгер с воодушевлением говорит о перспективах тонкопленочной технологии, его панели на данный момент менее эффективны, чем традиционные кремниевые модели, а это означает, что потребителям потребуется больше панелей для получения того же уровня выходной мощности, что является дорогостоящим предложением. На самом деле многие новые технологии, и особенно активно развивающиеся «зеленые», уступают традиционным источникам энергии в эффективности и цене. Стоимость в расчете на 1 ватт, общепринятой меры для измерения эффективности солнечных панелей, составляет для кадмий-теллура 0,65 доллара за ватт, а кремния — 0,50 доллара за ватт. Но ситуация, возможно, скоро изменится.⁴¹

40. John Sheilds, International Molybdenum Association, «Molybdenum in Power Generation», July, 2013, www.imoa.info/download_files/sustainability/IMOA_solar_15.pdf, accessed April 6, 2015; Robert Jaffe, «Symposium D: Energy-Critical Materials», Fall Meeting of the Materials Research Society, Boston, November 25–30, 2012, www.mrs.org/f12-cfp-d; Donal Bleiwas, «Byproduct Mineral Commodities Used for the Production of Photovoltaic Cells», 2014, U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey, pubs.usgs.gov/circ/1365/Circ1365.pdf.

41. Wyatt Metzger, interview by David Abraham, Golden, CO, July 11, 2013.

Команда Мецгера, финансируемая правительством США, уже добилась определенного прогресса. Всего пять лет назад кадмий-теллуровые панели могли превратить менее 10% потребленного солнечного света в энергию; теперь First Solar, ведущий производитель солнечных панелей, способен преобразовать около 14%, а в случае кремниевых панелей — 15%. «Нормированная стоимость электроэнергии», общепринятый показатель для измерения эффективности различных источников электроэнергии, составляет 13 центов/кВт-ч для солнечной энергии, в то время как для угля этот показатель приближается к 9,6 цента/кВт-ч.⁴²

Эти показатели важны для Мецгера, потому что его команда стремится к тому, чтобы кадмий-теллуровые солнечные панели были такими же дешевыми в производстве энергии, как и уголь. Но некоторые опасаются, что когда общая стоимость солнечной энергии сравняется с углем, солнечные технологии станут набирать популярность, и это приведет к массовому потреблению редких металлов. Как общество, мы заменим угледобычу на обработку теллура. С точки зрения окружающей среды это выгодно, потому что лучше один раз обработать редкие металлы и поместить их в панель, которая непрерывно производит энергию, чем продолжать добывать и сжигать все больше нового угля.

В солнечных батареях используется не более 2 граммов редких металлов. И хотя в системах, где они применяются, также может содержаться лишь горсть редких металлов, объемы увеличиваются, если речь идет о миллионах панелей. Поскольку общее количество индия, селена и теллура, производимого ежегодно, составляет порядка половины годового объема производства золота, повышенный спрос

42. Ibid.; U. S. Energy Information Administration, «Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2014», www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm.

может стать причиной нестабильности. Но не только производство солнечной энергии зависит от самых редких из редких металлов. Не все задумываются об энергопотреблении лифта, но в зданиях, где они установлены, на лифт приходится 5% всей потребляемой электроэнергии. Установите в лифте двигатель, основанный на редкоземельных магнитах, и вы уменьшите потребление энергии вдвое или более. Это большая экономия, но она не может сравниться с энергосберегающими возможностями новых ламп.⁴³

За последние два десятка лет стоимость освещения и его качество выросли, а лампочка в среднем стала намного более экологически чистой. Новые лампы, компактные люминесцентные лампы (CFL) и светодиоды (LED), почти на 80% эффективнее старых ламп накаливания, в которых 90% энергии выделяется не в виде света, а в виде тепла. Поскольку для освещения требуется почти 20% всей энергии, используемой в зданиях в США, более «зеленые» лампочки создают реальную экономию энергии и уменьшают потребность в сорока новых электростанциях. (Безусловно, они делают и ваш кошелек немного легче, так что когда жильцы переезжают в другой дом, они предпочитают забирать эти лампочки с собой.)⁴⁴

43. Michael W. George, *Mineral Commodity Summaries: Gold*, 1st ed., e-book (U. S. Geological Survey, 2013), available at minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gold/mcs-2013-gold.pdf; American Council for An Energy-Efficient Economy, «Elevators», 2014, www.aceee.org/topics/elevators; Masato Sagawa, interview by David Abraham, Kyoto, Japan, July 20, 2013; *Energy-Efficient Elevator Machines*, 4th ed., e-book (Honolulu: ThyssenKrupp Elevator Americas, 2014), available at www.boma.org/research/Documents/Find%20a%20Resource/Elevator%20Modernization%20Case%20Study.pdf.

44. Energy, «Lighting Choices to Save You Money», November 5, 2014, energy.gov/energysaver/articles/lighting-choices-save-you-money; Consumer Energy Center, «Incandescent, LED, Fluorescent, Compact Fluorescent and Halogen Bulbs», 2014, www.consumerenergy-center.org/lighting/bulbs.html.

Эти лампочки не те, что были у ваших родителей, — они представляют собой электронику, больше похожую на компьютеры, чем на изобретение Тома-са Эдисона. Фактически в светодиодах используются те же технологии, что и в компьютерах, а в их основе лежат галлиевые полупроводники. Лампочки долгое время изготавливались с добавлением некоторых малых металлов — от вольфрамовых нитей в лампах накаливания до различных порошков редкоземельных элементов в люминесцентных лампах, которые ярко освещают большие складские помещения, — но новые лампы мягче для глаз. Это связано с тем, что материаловеды научились эффективно применять редкие металлы, в частности, путем оптимального соотношения количества редкоземельного элемента фосфора в них.⁴⁵

Рассмотрим линейку электрических ламп *Reveal* компании *General Electric*. Сам свет по-прежнему испускается в виде резкого и яркого светового луча, но неодим в стекле служит голубоватым фильтром, поглощающим желто-зеленый свет, создавая тем самым более приятную световую палитру. Другие редкоземельные металлы, такие как европий, дают более мягкий красный и синий цвета, а тербий — зеленый цвет. Эти материалы настолько эффективны при фильтрации определенных интенсивных световых лучей, что они используются даже в лыжных очках.⁴⁶

Законодательные акты в США, такие как Закон об энергетической независимости и безопасности 2007 года, и аналогичные законы в Европейском союзе предписывают использование энергосберегающих ламп. Как это ни парадоксально, такие законы ускорили аутсорсинг ресурсной безопасности США, поскольку производство этих ламп зависит

45. U.S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*.

46. Michael Silver, telephone interview by David Abraham, March 13, 2014; Veolia, «Why Are Rare Earth Metals So Important?» September 2013, lamprecycling.veoliaes.com/newsletter/September2013/6.

от иностранных малых металлов, которые все чаще используются в товарах за рубежом. Крупнейшие в мире производители осветительных приборов, General Electric, Sylvania, Osram и Cree, за последние семь лет перевели свои производства в места источников редкоземельных элементов. По словам Сэма Яффе, исследователя в области «зеленых» технологий Navigant Consulting, несмотря на то что, без сомнения, эти переезды отчасти обусловлены низкими производственными издержками, «основная причина, по которой многие компании находятся в Азии, связана с расходами на материалы, а не со стоимостью рабочей силы». И благодаря экспортному контролю Китая цены внутри страны ниже, а поставки для «зеленых» энергетических компаний, которые производят свои товары там, более надежны. С учетом всех компаний, которые в данный момент занимаются производством в Китае, страна потребляет более 80% редкоземельных фосфоров в мире для систем освещения с низким энергопотреблением.⁴⁷

В то время как использование редких элементов в осветительных приборах привело к появлению новых технологий с меньшим потреблением электричества, сокращающих выбросы углекислого газа, ино-

47. *Energy Independence and Security Act of 2007*, Public Law 110-140 (2007), U.S. Statutes at Large 121 (2007): 1492; Osram, «Osram Expands with New LED Assembly Plant In China», 2012, www.osram.com/osram_com/press/press-releases/_business_financial_press/2012/wuxi/; Vance Cariaga, «LED Lighting Gets a Warm Reception in China; Prices Drop CREE Durham, North Carolina», *Investor's Business Daily*, April 25, 2013; U. S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*; LED News (LED knowledge, technologies, events), «Chinese LED Lighting Market Situation», December 9, 2013, www.lednews.org/chinese-led-lighting-market-situation/. Более 80% флуоресцентных ламп в 2013 году были произведены Китаем. David Solomon, «Work Now Done in Manchester Being Moved to Mexico, China», *Union Leader*, March 20, 2014, www.unionleader.com/article/20140320/NEWS02/140329892; Associated Press, «Six Ohio GE Plants to Close», October 6, 2007, www.ohio.com/business/six-ohio-ge-plants-to-close-1.70725.

гда простое сочетание редких металлов с другими металлами может положительно сказаться на окружающей среде.

Тадеу Карнейро, генеральный директор ниобиевого гиганта *Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração* (СВММ), считает себя главой «зеленой» технологической компании. «Люди говорят, что невозможно быть экоэффективным, занимаясь добычей полезных ископаемых. Это неверно. Если я оставлю ниобий нетронутым в земле, — говорит он, указывая на свою шахту, — машины будут тяжелее, конструкции зданий — массивнее, трубопроводы будут небезопасными и вам понадобится больше стали». ⁴⁸

А больше стали означает больше углекислого газа.

Если использование меньшего количества энергии и, следовательно, меньшего количества выделяемого углекислого газа считать критериями «зеленых» технологий, то добыча и переработка малых металлов может быть одной из самых экологически чистых технологий. Согласно исследованиям СВММ, если в новых газопроводах использовать 1 килограмм ниобия на тонну стали, это уменьшит потребность в стали вдвое. Производство стали — это отрасль с самыми большими выбросами углекислого газа в мире, ежегодно выпускающая 2,5 гигатонны парникового газа. ⁴⁹ Ниобий не только снижает общее количество производимой стали, — его использование в автомобилях также помогает сократить объем углекислого газа, поступающего в атмосферу. Снижение массы автомобиля на 10%, возникающее в результате использования ниобия, приводит к увеличению эффективности топлива на 6–7%. Ниобий также применяется в панелях солнечных батарей, на задней части панели, и в некоторых лабораториях было продемонстри-

48. Tadeu Carneiro, interview by David Abraham, Araxá, Brazil, May 14, 2013.

49. International Energy Agency, *Tracking Clean Energy Progress* 2013.

ровано увеличение эффективности определенных панелей почти на треть.⁵⁰

Без сомнения, решение любой компании использовать ниобий и другие усилители стали обусловлено не только соображениями экологии, но и прибылью. Карнейро говорит, что такая «экологизация» выгодна с точки зрения бизнеса. Благодаря вложению в размере 9 долларов в ниобий, который добавляется в сталь при производстве автомобиля, вес машины уменьшается на 100 фунтов. Это позволяет сэкономить 1 литр топлива на каждые 200 километров и на 2,2 тонны снижает выбросы углекислого газа в течение всего срока службы автомобиля, а также уменьшает объем углекислого газа, необходимого для производства стали, используемой в автомобиле. То же самое относится к ниобию в мостах, зданиях и трубопроводах.

Карнейро воспринимает СВММ не только в качестве катализатора прогресса в направлении более «зеленой» планеты, но и как часть глобальной системы. «Задача быть более эффективным, научиться делать больше при меньших затратах — это задача планетарного масштаба. И ниобий помогает нам в этом преобразовании».⁵¹ А некоторые места на земле, например Пекин, отчаянно нуждаются в переменах.

В течение четырех дней в Пекине в середине февраля 2014 года я не мог понять, было ли небо ясным

50. Kevin Bullis, «Automakers Shed the Pounds to Meet Efficiency Standards», *MIT Technology Review*, February 20, 2013, www.technology-review.com/news/510611/automakers-shed-the-pounds-to-meet-fuel-efficiency-standards; Renew Economy, «Research: Solar Panel Efficiency Boosted 30%», May 31, 2012, reneweconomy.com.au/2012/research-solar-panel-efficiency-boosted-30-84356; Hitachimetals.com, «HMA Specialty Steel: Hitachi Metals America», accessed on April 5, 2015, www.hitachimetals.com/product/specialtysteel/solarpower.

51. Marta Vieira, «CBMM Invests \$1 Billion to Plant in Araxá», *Estado de Minas*, August 13, 2013, www.em.com.br/app/noticia/economia/2013/08/13/internas_economia,434415/cbmm-investe-r-1-bilhao-para-fabrica-em-araxa.shtml.

или облачным, а погода — солнечной или пасмурной. Пелена густого смога плотно окутала город, как во время зимней метели, хотя снега не было. Воздух с легкой угольной взвесью оставлял бурый налет на автомобилях, крышах и, очевидно, на мне. Тонкая дымовая завеса повисла даже в вестибюле знаменитого шоппинг мола Lufthansa Center.

Спрос Китая на «зеленую» энергию актуален как никогда. От этого зависит жизнь его населения. В 2010 году загрязнение воздуха в Китае привело к 1,2 млн преждевременных смертей, а уровень заболеваемости раком легких в течение первого десятилетия нового тысячелетия вырос вдвое. С тех пор качество воздуха стало намного хуже. Терпение жителей Пекина, вынужденных годами дышать отравленным воздухом, иссякает, и правительство пытается изменить ситуацию.⁵²

В течение 2011–2015 годов Китай направил более 294 млрд долларов инвестиций в сектор возобновляемой энергии. Цель Пекина — резкое повышение производительности стратегических «зеленых» отраслей, и в ближайшие 35 лет он планирует инвестировать 1,9 трлн долларов в одни только ветровые технологии.⁵³

52. Edward Wong, «Air Pollution Linked to 1.2 Million Deaths in China», *New York Times*, April 1, 2013, www.nytimes.com/2013/04/02/world/asia/air-pollution-linked-to-1-2-million-deaths-in-china.html; BBC News, «Lung Cancer Cases Soar in Beijing», November 9, 2013, www.bbc.com/news/magazine-24880737.

53. Juan Du, «Opportunities Abound in Clean Technology», *China Daily*, August 14, 2013, usa.chinadaily.com.cn/business/2013-08/13/content_16891896.htm; Liu Yuanyuan, «China Increases Target for Wind Power Capacity to 1,000 GW by 2050», *Renewable Energy World*, January 2012, www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/01/china-increases-target-for-wind-power-capacity-to-1000-gw-by-2050.html. Китай уделяет особое внимание развитию своих стратегических отраслей, большинство из которых «зеленые», поэтому к 2020 году страна намерена достичь 15% роста своего валового внутреннего продукта, в отличие от нынешних 5%. See David Abraham and Meredith Ludlow, «China's New Plan For Economic Domination», *The Atlantic*,

Это масштабное предприятие. Китай уже лидирует в мире по объему производимой мощности ветровых установок, опережая США на 50%. Такая тенденция может способствовать не только сокращению роста производства ископаемого топлива в Китае, но и превращению страны в испытательный полигон для «зеленых» технологий. Некоторые компании на Западе и в Японии тратят миллионы на то, чтобы избавиться от редких металлов в своих «зеленых» товарах, но китайским компаниям нет нужды беспокоиться об этом. «Перекося в инновациях» на Западе и в Японии оставляет другим компаниям вроде тех, что находятся в Китае, возможность разрабатывать более совершенные продукты.⁵⁴

Критики отмечают, что нехватка ресурсов вызывает рост цен, что приводит к более эффективному использованию ресурсов и в конечном итоге к новым поставкам. Но как мы видели на примере с каталитическими конвертерами и двигателями с постоянными магнитами, некоторые технологии зависят от конкретных металлов, в то время как цепочки поставок редких металлов не могут быстро реагировать на спрос, особенно когда речь идет о технологических прорывах.

Великий парадокс открытий в области «зеленых» технологий, вероятно, состоит лишь в том, что мы обладаем знаниями и ноу-хау, но не сделали нужных вложений в компоненты, которые зависят от малых металлов настолько, чтобы они были доступны в нужное время и, что еще важнее, по нужной цене.

May 18, 2011, www.theatlantic.com/international/archive/2011/05/chinas-new-plan-for-economic-domination/239041/; Jianxiang Yang, «China Plans \$1.8 Trillion Wind Power Plan for 2050», *Windpower Monthly*, October 20, 2011, www.windpowermonthly.com/article/1099715/china-plans-18-trillion-wind-power-plan-2050.

54. Global Wind Energy Council, «Global Wind Statistics 2013», May 2, 2014, www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/02/GWEC-PR-stats-2013_EN.pdf.

Пожалуй, самая большая проблема для цепочек снабжения редкими металлами заключается в том, что наши новые энергосберегающие гаджеты работают слишком хорошо, а «зеленые» технологии быстро станут самыми лучшими технологиями. Если мы не будем предусмотрительными, то очень быстро окажемся в ситуации дефицита необходимых нам материалов. Это предмет обеспокоенности военных планировщиков, которые задумывались об этом еще в 1950-е годы, когда США начали гонку за господство в небе.

Военная экономика: твердые и «умные» металлы

В 1959 ГОДУ Кларенс «Келли» Джонсон, авиационный инженер компании Lockheed Martin, спроектировал идеальный самолет-шпион. Он должен был летать на высоте 27 километров над поверхностью Земли, более чем вдвое превышающей высоту полетов большинства самолетов своего времени. И со скоростью, более чем втрое превышающей скорость звука, он должен был быть быстрее них. Самолет «должен был господствовать в небе в течение десяти лет или дольше», уклоняясь от советских ракетных систем и в то же время делая снимки обширной российской территории. Команда Джонсона дала ему парадоксальное название Охсарт.¹ Была только одна проблема: его невозможно было построить.²

Ни один материал не был достаточно прочным или легким, чтобы соответствовать техническим требованиям самолета. В процессе полета крылья Охсарт нагревались бы до температуры 260°C, а двигатель —

1. Игра слов: охсарт или ох сарт также означает «воловья повозка». — *Прим. пер.*

2. Dennis Jenkins, *Lockheed Secret Projects: Inside the Skunk Works* (St. Paul, MN: MBI, 2001); Central Intelligence Agency (CIA), «From Drawing Board to Factory Floor», February 22, 2012, accessed December 16, 2014, www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/csi-publications/books-and-monographs/a-12/from-the-drawing-board-to-factory-floor.html. В 1954 году ЦРУ заключило договор с Lockheed для строительства самолета-шпиона.

до 650°C. Достаточно легким металлом был алюминий, но при высоких температурах он стал бы деформироваться, поскольку уже при 150°C металл становится менее прочным. Затем под воздействием тепла закипело бы топливо, смазочные материалы превратились бы в кашу, а пилот спекся бы в кабине. Нагрев могла бы выдержать нержавеющая сталь, но ее вес ограничил бы высоту самолета, сократил дальность полета и потребовал больше топлива, чтобы поддерживать самолет в воздухе.³

Двумя годами ранее, в 1957-м, Уильям Сентер, генерал-майор и начальник отдела закупок и производства Командования материально-технического обеспечения ВВС США, искал аналогичный материал, который был бы практически невесомым, невероятно прочным, бесконечно жаростойким, легко поддавался литью и при этом стоил недорого. Хотя у Сентера не было такого материала, у него было имя для него — Unobtanium.⁴

Но к концу 1950-х годов металлурги уже знали об одном возможном материале для Охсарт; это был непонятный, нескладный малый металл под названием титан. Титан вдвое прочнее алюминия и соответствует твердости стали, хотя на 40% легче ее, к тому же он не поддается коррозии. Что более важно, металл устойчив к нагреву самолета, имея температуру плавления 1660°C, и достаточно гибкий, что-

3. «Air Force Seeks „Unobtanium“», *Albuquerque Tribune*, November 9, 1957; John Adams, *Remaking American Security: Supply Chain Vulnerabilities & National Security Risks across the U. S. Defense Industrial Base* (Washington, DC: Alliance for American Manufacturing, 2013), www.americanmanufacturing.org/research/entry/remaking-american-security; Ben R. Rich and Leo Janos, *Skunk Works: A Personal Memoir of My Years at Lockheed* (Boston: Little, Brown, 1994); CIA, «Breaking Through Technological Barriers», August 14, 2012, accessed December 16, 2014, www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/csi-publications/books-and-monographs/a-12/breaking-through-technological-barriers.html#4-rich-and-janos.

4. «Air Force Seeks „Unobtanium“», *Albuquerque Tribune*.

бы позволить самолету буквально расширяться при экстремальных скоростях и температурах.⁵ Но титан не был панацеей.

Хотя титан занимает девятую позицию среди самых распространенных элементов, процесс его извлечения из породы довольно трудоемкий, поэтому сам металл — редкий. В Соединенных Штатах не было надежного источника этого металла, несмотря на государственную помощь отрасли в размере около 250 млн долларов, в том числе более 50 млн долларов, выделенных в 1950-х годах на поддержку ббб исследований в области производства и разработки месторождений. Эти проекты еще должны принести свои плоды в деле совершенствования конструкции самолетов. В то время качество титана, сходявшего с конвейерных лент Titanium Metal Corporation, единственного поставщика в США тех лет, оставляло желать лучшего. Низкокачественный титан чрезвычайно хрупкий и легко ломается, особенно при падении. Поэтому, хотя свойства металла были идеальными для самолетов, материал, который производился в США, не мог полностью соответствовать техническим требованиям.⁶

Из-за этих проблем по оптимистичным прогнозам экспертов того времени титановые сплавы могли составлять не более 30–50% от веса самолета. Планы для Охсарт были более амбициозными: почти весь самолет предполагалось сделать из титана. Без высоко-

5. Adams and Paulette, *Remaking American Security*; John Browne, *Seven Elements that Have Changed the World* (London: Weidenfeld and Nicolson, 2013), 151; Chemical Elements, «Titanium (Ti)», accessed December 16, 2014, www.chemicalelements.com/elements/ti.html.

6. Paul M. Tyler, «Growth of Titanium Industry», *Metal Progress* 74, no. 1 (1958): 172; Gregory W. Pedlow and Donald E. Welzenbach, «The Central Intelligence Agency and Overhead X Reconnaissance: The U-2 and OXCART Programs, 1954–1974», History Staff Central Intelligence Agency, Washington, DC, 1992, www.foia.cia.gov/sites/default/files/document_conversions/18/1992-04-01.pdf; Browne, *Seven Elements that Have Changed the World*.

качественного редкого металла планы на самолет так и оставались бы планами.⁷

На протяжении всей истории человечества способность любой страны использовать силу периодической таблицы Менделеева непосредственно переводилась в успех ее военной мощи, играя на поле боя не меньшую роль, чем тактические решения. Исторически сложилось так, что цивилизации, овладевшие искусством изготовления оружия из самых передовых металлов и материалов своего времени, занимали доминирующее положение среди своих соседей.

Около XV века до н.э., спустя 1600 лет после начала бронзового века, металлурги цивилизации, расположенной в современной части Северной и Центральной Турции, сделали невероятное открытие. Хетты поняли, что, повторно нагревая железную руду над горячим углем, можно создать чрезвычайно прочный металл. На протяжении веков оружие изготавливалось из бронзы. Но производство бронзы зависело от обнаружения месторождений меди и олова, что представляло проблему, потому что около 0,005% земной коры составляет медь, а 0,0005% — олово. На железо, напротив, приходится около 5% земной коры.⁸

7. В 1953 году Aircraft Industries of America подсчитала, что на протяжении 1950-х годов сплавы титана будут составлять 3% массы самолета, и в долгосрочной перспективе это отношение возрастет до 30%. Исследование, проведенное Мемориальным институтом Баттеля, продемонстрировало, что этот показатель может вырасти до 50%. Paul M. Tyler, «Present and Future Uses of Titanium», *Metal Progress* 74, no. 3 (1958): 178. 93% массы самолета составлял титановый сплав. Peter W. Merlin, «Mach 3+ NASA USAF YF-12 Flight Research 1969–1979», Washington DC, NASA Historical Division, 2002, p. 3, available at www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88796main_YF-12.pdf.

8. Cathy Cobb and Harold Goldwhite, *Creations of Fire: Chemistry's Lively History from Alchemy to the Atomic Age* (New York: Plenum Press, 1995); Rolf E. Hummel, *Understanding Materials Science: History, Properties, Applications*, 2nd ed. (New York: Springer, 2005), 7. Бронзовый век начался около 3000 лет до н.э. Eric H. Cline, *The Oxford Hand-*

Железо давало возможность хеттам производить дешевое оружие, оснащать им легионы фермеров и превращать их в воинов. Хеттская металлургия открыла новый военный ресурс, который быстро привел к военному успеху и в конечном итоге демократизировал войну. По мере миграции хеттских кузнецов по всему региону их металлургическое мастерство принесло железный век к соседним ассирийцам, а вместе с ним и военное превосходство. Ассирийцы нашли применение железу в других видах оружия, таких как тараны и щиты. Благодаря достижениям в военном деле они расширили область своих завоеваний от Ближнего Востока до Персидского залива и Египта, поскольку смогли превзойти арабов, которые были вооружены только луками и стрелами.⁹

Столетия спустя римляне, у которых не было богатых месторождений руды вроде олова и золота, создали непревзойденные методы разработки месторождений, такие как гидравлический способ добычи. Они расширили свою империю, чтобы восполнить

-
- book of the Bronze Age Aegean (ca. 3000–1000 BC) (New York: Oxford University Press, 2010); Richard A. Gabriel and Karen S. Metz, *From Sumer to Rome: The Military Capabilities of Ancient Armies* (New York: Greenwood Press, 1991), 49; George Rapp Jr. and Christopher Hill, *Geoarchaeology: The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation*, 2nd ed. (New Haven, CT: Yale University Press, 2006).
9. Cobb and Goldwhite, *Creations of Fire*; William Hardy McNeill, *The Pursuit of Power: Technology, Armed Force, and Society since A.D. 1000* (Chicago: University of Chicago Press, 1982); Уильям Макнил, *В погоне за мощью. Технология, вооруженная сила и общество в XI—XX веках* (Москва: Территория будущего, 2008); J. D. Muhly, R. Maddin, T. Stech, and E. Ozgen, «Iron in Anatolia and the Nature of the Hittite Iron Industry», *Anatolian Studies* 35 (1985): 67, available at www.jstor.org/discover/10.2307/3642872?uid=3738224&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21103299383813. О меди в земной коре см.: U. S. Congress, Office of Technology Assessment, «Copper: Technology and Competitiveness», 1988, www.princeton.edu/~ota/disk2/1988/88o8/88o8o1.PDF. Об олове в земной коре см.: Steve Gagnon, «The Element Tin», *It's Elemental*, accessed December 16, 2014, education.jlab.org/itselemental/ele050.html; Terence Wise and Angus McBride, *Ancient Armies of the Middle East* (Oxford: Osprey, 2003), 40.

недостаток богатых минералов, которые они превращали в оружие для дальнейшего использования в сражениях.

Поиск подходящего редкого металла для Охсарт был всего лишь еще одним этапом в тысячелетней череде металлургических достижений, которые были ключевыми для получения военного превосходства. Но эти научные достижения не долго ограничивались лишь военным применением. Они стали базисом для многих технологий, которые лежат в основе высокотехнологичного и природосберегающего образа жизни. После более чем десятилетнего конфликта и увеличения военных расходов мы снова стоим на пороге многочисленных прорывов в области материаловедения. Они будут отмежевываться от военных, не только позволяя технологиям двигаться вперед, но и создавая все большую потребность в малых металлах.

Однако в 1950-х годах насущная задача Келли Джонсона была менее амбициозной, чем распространение военно-научных достижений в обществе: ему нужно было найти надежного поставщика титана. В целях национальной безопасности ЦРУ, которое напрямую работало с Lockheed Martin, прочесывало планету в поисках возможного источника и обнаружило только один: в Советском Союзе. ЦРУ, по сообщениям, использовало сеть подставных компаний и сторонних организаций для приобретения титана; по сути, оно создало шпионскую программу для покупки материалов из Советского Союза, которые в конечном итоге должны были использоваться для слежки за ним.¹⁰

Следующая преграда для Охсарт была более серьезной и досаждала любому материаловеду и инженеру, которых просили использовать какой-либо новый

10. Richard H. Graham, SR-71: *The Complete Illustrated History of the Blackbird, the World's Highest, Fastest Plane* (Minneapolis, MN: Zenith Press, 2013); Rich and Janos, Skunk Works; CIA, «Breaking Through Technological Barriers».

редкий металл для замены другого материала, подобно тому, как в 2010 году японские корпорации пытались найти замену для редкоземельных магнитов. Использование нового материала в производстве самолета по необходимости влекло за собой изменение его конструкции и характеристик. По словам Ричарда Биссела, руководителя проектов ЦРУ, применение титана «фактически создало его собственную производственную базу». Приблизительно 2400 человек, от металлургов до механиков, должны были освоить навыки для работы с новым материалом. Использование титана также означало невозможность конвейерной сборки; каждый самолет нужно было строить вручную.¹¹

Титан — сложный материал для обработки, и большинство инженеров и механиков никогда не имели с ним дела. Сверла постоянно ломались, потому что титан был слишком твердым. Режущие инструменты необходимо было затачивать спустя несколько минут, что затрудняло производственный процесс. Даже сверлильные станки, которые в течение нескольких месяцев специально разрабатывались для работы с титаном, могли проделать только 120 отверстий до следующей заточки. Механикам понадобились даже новые ручки, чтобы делать надписи на металле, потому что хлор, содержащийся в тех, которые они использовали, разъедал титан. Кадмиевые инструменты, в том числе гаечные ключи, пришлось переделать, поскольку головки болтов выскакивали из инструментов из-за того, что микроскопические частицы кадмия взаимодействовали с титановыми бол-

11. David Robarge, «Archangel: CIA's Supersonic A-12 Reconnaissance Aircraft», February 2, 2012, www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/csi-publications/books-and-monographs/a-12/Archangel-2ndEdition-2Feb12.pdf; CIA, «Breaking Through Technological Barriers»; CIA, «Images and Thumbnails», accessed December 16, 2014, www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/csi-publications/books-and-monographs/a-12/images-and-thumbnails/.

тами и разрушали их. Lockheed даже была вынуждена использовать дистиллированную воду для мытья титановых панелей, потому что в местной воде (г. Бербанк, штат Калифорния) было слишком много хлора, из-за чего во время тепловых испытаний консоли крыльев искривлялись подобно картофельным чипсам. Для Охсарт, в конце концов известного как А-12, и Titanium Goose нужны были и особые крепления, смазочные материалы и фурнитура.¹²

Уроки, извлеченные из этого применения титана, вскоре были учтены и трансформировали всю область гражданской авиации, поскольку этот металл стал частью конструкции самолетов во всем мире. Благодаря этому опыту титан превратился из курьеза периодической таблицы Менделеева в критически важный материал. Но в то время, в начале 1960-х годов, секреты титана помогли США получить контроль над небом.

Примерно за 50 лет до А-12 и спустя почти 3500 лет после начала железного века, разработчики Кгирр, немецкого производителя оружия, испытывали трудности. Они спроектировали массивное 43-тонное орудие под названием «Большая Берта» с колесами в человеческий рост. Орудие было настолько огромным, что требовалось около тысячи человек, чтобы снарядить его. Но, оказавшись на позиции, «Большая Берта» была способна за несколько секунд запустить снаряд весом в десять центнеров на расстояние 15 километров. Снаряд мог взрывать бетонные укрепления

12. Rich and Janos, *Skunk Works*; Peter W. Merlin, «Design and Development of the Blackbird: Challenges and Lessons Learned», paper presented at the forty-seventh AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2009, January 5–8, 2009, Orlando, Florida, enu.kz/repository/2009/AIAA-2009-1522.pdf; CIA, «Breaking Through Technological Barriers»; Philip Taubman, *Secret Empire: Eisenhower, the CIA, and the Hidden Story of America's Space Espionage* (New York: Simon and Schuster, 2003).

ния, однако орудью было суждено произвести лишь несколько выстрелов.¹³

При стрельбе 42-сантиметровыми снарядами из-за сильного нагрева плавился корпус орудия. Инженеры Кгирр обнаружили, что при соединении стали с малым металлом молибденом с температурой плавления 2617°C температура плавления орудийного ствола повышалась, что эффективно защищало его от нагрева.¹⁴

В начале Первой мировой войны «Большая Берта» помогла Германии уничтожить неприступные форты Бельгии и затем двинуться на Францию.¹⁵ Позднее благодаря усовершенствованиям в конструкции и производстве «Большой Берты» орудие произвело обстрел Парижа в 1918 году, шокируя парижан, которые не могли поверить, что снаряды могут достичь города с расстояния 100 километров. Но как и Келли Джонсону, проектировщикам Кгирр не хватало необходимых редких металлов.

Перед началом войны Германия испытывала трудности с поставками молибдена. Мало кто понимал важность этого металла. Но Германия была осведомлена о его ценности и искала новые источники. В 1915 году American Metals, дочерняя компания не-

13. «Большая Берта» была спроектирована для разрушения бетонных укреплений. Sam Kean, *The Disappearing Spoon: And Other True Tales of Madness, Love, and the History of the World from the Periodic Table of the Elements* (New York: Little, Brown, 2010); Marc Romanych and Martin Rupp, *42cm «Big Bertha» and German Siege Artillery of World War I* (London: Osprey, 2014); William S. Hendon, *Letters from France* (Martinsville, NC: Lulu, 2010); Else Ury, *Nesithäkchen and the World War: First English Translation of the German Children's Classic*, trans. Steven Lehrer (Lincoln, NE: iUniverse, 2006).

14. Kean, *The Disappearing Spoon*; WebElements, «Molybdenum: The Essentials». Periodic Table, accessed December 16, 2014, www.webelements.com/molybdenum.

15. Howard Rosenberg, «„Great War“: Long Ago but Not So Far Away», *Los Angeles Times*, November 8, 1996, accessed December 16, 2014, articles.latimes.com/1996-11-08/entertainment/ca-64011_1_great-war; Mike Sharp, Ian Westwell, and John Westwood, *History of World War I* (New York: Marshall Cavendish, 2002).

мецкого поставщика металлов Metallgesellschaft, обнаружила источник в глубине горы Бартлетт в Колорадо — старую шахту с ограниченным производством молибдена. Немецкая компания купила ее, планируя использовать американские ресурсы против США. Но план так и не материализовался, и Германии пришлось довольствоваться ограниченными поставками из других мест.¹⁶

Несмотря на отсутствие молибдена и многих других редких металлов в самой Германии, немецкая военная машина в металлургическом плане была намного лучше подготовлена к сражениям, чем ее соседи. Высококвалифицированные немецкие инженеры-металлурги, которые работали на шахтах и управляли ими по всему миру — даже те, кто находился в британской колонии Бирмы (ныне Мьянма) на расстоянии 8 тыс. километров, — поставляли малые металлы, которые снаряжали родину самым современным оружием того времени.¹⁷ Поэтому, несмотря на скудность природных ресурсов, Германия обладала каналами поставок редких металлов, превосходными металлургическими навыками и мировыми инвестициями для создания впечатляющей боевой мощи.

Другие страны не были столь предприимчивыми в металлургическом отношении и играли роль догоняющих, разбирая немецкое оружие на части и изучая его, чтобы выяснить, каким образом в нем используются малые металлы. Кроме того, британские власти не могли понять, почему Германия так быстро восстанавливала запасы вооружения после потерь. Британцы обнаружили, что частично секрет заключался в использовании вольфрамовой руды, постав-

16. Kean, *The Disappearing Spoon*.

17. Colin G. Fink, «Tungsten, the Key Metal», in *Metallurgical & Chemical Engineering*, ed. Eugene Franz Roeber and Howard Coon Parmelee (New York: Electrochemical, 1917), 272; Ronald H. Limbaugh, *Tungsten in Peace and War, 1918–1946* (Reno: University of Nevada Press, 2010), 15.

ляемой из сердца Великобритании. Британцы практически отдавали его даром, потому что считали, что вольфрам был лишь примесью, не осознавая его значимости.¹⁸

Благодаря своей прочности вольфрам быстро стал основным военным сырьем. Он был настолько прочен, что благодаря его использованию в стальных режущих инструментах время, необходимое для изготовления стандартной стальной оси, сократилось с 660 минут в 1860-х годах до 40 минут к 1916 году. Редкие металлы, такие как вольфрам, стали настолько важными для военной экономики, что британцы запретили их экспорт в Германию. В Соединенных Штатах власти арестовали трех человек за шпионаж, потому что те вывезли 90 килограммов вольфрама, предназначенного для Германии.¹⁹

Во время войны немцам становилось все труднее импортировать малые металлы, поэтому они стали обрабатывать их более эффективным способом и добились тех же результатов, используя меньше металлов. В то же время молибденовые и вольфрамовые сплавы металлов стали применяться в вооружении противников Германии. Соединенные Штаты, обладающие огромными ресурсами редких металлов, имели преимущество в поставках, которое стало решающим фактором в достижении материального преимущества над Германией. По окончании войны президент Американского электрохимического об-

18. Mildred Gwin Andrews, *Tungsten, the Story of an Indispensable Metal* (Washington, DC: Tungsten Institute, 1955), available at www.tungsten.com/Tungsten%20-%20The%20Story%20of%20an%20Indispensable%20Metal.pdf.

19. Robert U. Ayres and Benjamin Warr, *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity* (Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009), 120; Digital History, «The Espionage Act of 1917», June 15, 1917, accessed December 18, 2014, www.digitalhistory.uh.edu/dispatch_textbook.cfm?smtID=3&psid=3904; «Plotted to Ship Tungsten», *New York Times*, November 9, 1917, query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?_r=1&res=9A03EFD9123FE433A2575AC0A9679D946696D6CF.

щества Колин Финк похвалился: «Однажды настанет день, когда скажут, что демократия стала возможной благодаря вольфраму». Но он не учел того, что войны могло и не быть, не используйте Германия вольфрам.²⁰

Спрос на малые металлы вырос из-за войны и внедрения новых металлургических процессов для их применения. Например, использование флотации, метода отделения различных металлов от руды, за несколько лет увеличилось с 1 млн до 150 млн тонн в год. Ученые также разработали новые способы формирования и литья молибдена, которые помогли в развитии новых невоенных применений — сначала в автомобилях в начале 1920-х годов, а затем и в других механизмах.²¹

А теперь в мире ежегодно потребляется более 250 000 тонн молибдена. Из-за его широкого использования во всем — от удобрений и пламегасителей до смазочных материалов — некоторые даже не считают молибден малым металлом. В настоящее время он является важнейшим элементом высокопрочной

20. Limbaugh, *Tungsten in Peace and War*, 22; Frank W. Griffin, Hearing before the Committee on Finance, United States Senate, Sixty-Sixth Congress, First Session on HR4437, a Bill to Provide Revenue for the Government and to Promote the Production of Tungsten Ores and the Manufacture Thereof, November 10–11, 1919 (Washington, DC: Government Printing Office, 1919).

21. Оливер Ральстон, главный металлург Горного бюро США, отмечает, что ряд новых процессов, разработанных в ходе войны, ускорил развитие обрабатывающей промышленности. Oliver C. Ralston, Stockpile and accessibility of strategic and critical materials to the United States in time of war, Hearings before the Special Subcommittee on Minerals, Materials, and Fuel Economics of the Committee on Interior and Insular Affairs, United States Senate, Eighty-Third Congress, First Session, Pursuant to S. Res. 143, a resolution to investigate the accessibility and availability of supplies of critical raw materials (Washington, DC: Government Printing Office, 1954); Hans Imgrund and Nicole Kinsman, «Molybdenum: An Extraordinary Metal in High Demand», *Stainless Steel World*, 2007, www.imoa.info/download_files/molybdenum/Molybdenum.pdf. В начале 1920-х годов компания Wills Sainte Claire первой начала использовать молибден в стали при производстве своих автомобилей.

стали, и с его помощью были построены некоторые самые высокие здания в мире, такие как башни-близнецы Петронас в Малайзии и башня Цзинь Мао в Китае. Аналогичным образом, титан Келли Джонсона теперь лежит в основе аэрокосмической технологии, а также применяется в красках и медицинских имплантатах.²²

Этот металлургический путь от меча до плуга существовал в течение тысяч лет — даже хеттское изобретение дешевого железа принесло пользу не только в военном деле; с его помощью хетты обзавелись высококачественными инструментами вроде пил, дрелей, а также шурупами. Как отмечает Рабочая группа по американским инновациям, «гражданские применения технологий, первоначально предназначенных для военных целей, стали основными продуктами производства национальной экономики и современной жизни».²³ В прошлом малые металлы, такие как титан, были важны, потому что благодаря им оружие становилось более прочным, мощным и огнеупорным. Теперь с их помощью оружие становится «умнее».

В 2013 году я встретился с Домиником Бойлом, торговцем малыми металлами. Хотя Бойл британец, он свободно владеет японским и приемлемо изъясняется на китайском — важные языки для трейде-

22. Désirée E. Polyak, *Minerals Yearbook: Molybdenum* (Washington, DC: U. S. Department of the Interior and the U. S. Geological Survey, 2012), available at minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/molybdenum/myb1-2011-molyb.pdf. О многочисленных конечных применениях молибдена см.: International Molybdenum Association, «Molybdenum Compounds Uses», accessed December 18, 2014, www.imoa.info/molybdenum_uses/moly_chemistry_uses/moly_compounds/molybdenum_compounds.php; Imgrund and Kinsman, «Molybdenum».

23. Shepard B. Clough, *European Economic History* (New York: McGraw-Hill, 1968), 78; Task Force on American Innovation, «Scientific Research», 2012, www.innovationtaskforce.org/docs/TFAI%20-%20Scientific%20Research%202012.pdf.

ров, которые хотят поддерживать хорошие отношения со своими ближайшими клиентами. Глобальный конфликт оказался благом для продаж. Он наблюдал, как цена на германий — металл, которым торгует его компания, — выросла в четыре раза за последнее десятилетие, когда рынок удвоился из-за растущей напряженности в Азии и больших военных расходов и конфликтов на Ближнем Востоке. Выступая на конференции Shanghai Metal-Pages в 2013 году, он предсказывал сохранение спроса на германий. Этот металл применяется в покрытии волоконно-оптических кабелей и высокоскоростных электросхем, но в последнее время спрос на него исходит от оборонного сектора.²⁴

Германий лежит в основе систем тепловидения (читай: приборы ночного видения) в самолетах, кораблях и танках, а также в прицелах стрелкового оружия, которые позволяют более эффективно выполнять разведывательные миссии. Это блестящий серебристо-белый металл, но прозрачный в инфракрасном диапазоне, помогает перевести инфракрасное излучение в изображения.²⁵ Его свойства словно специально предназначены для использования в множестве военных целей.

Военный спрос США на эти приложения стремительно взлетел после вторжений в Ирак и Афганистан, а вместе с ним выросли и продажи германия. Общий спрос США на германий в тепловой оптике, используемой в оборонных приложениях, подскочил с 5000 тонн в 2003 году до примерно 30 000 тонн четыре года спустя. Примерно половина всего герма-

24. Dominic Boyle, «What Has Been the Effect of the Recent Economic Turndown on Electronic and Minor Metals? Where Is the Market Going?» Lecture, Metal-Pages Conference, Shanghai, September 8, 2013; Dominic Boyle, telephone interview by David Abraham, November 4, 2014.

25. Cool Cosmos, «History of Infrared Astronomy», accessed December 18, 2014, coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/cosmic_reference/irastro_history.html.

ния, потребляемого в Соединенных Штатах, и треть мирового приходится на тепловидение. В 2009 году Министерство обороны США потратило почти 1 млрд долларов на приборы ночного видения и тепловизионные прицелы.²⁶ Война трансформировала рынок германия. И это произошло не впервые.

Почти три четверти века назад, в 1942 году, ученые «Проекта Манхэттен» (в Лос-Аламосе, штат Нью-Мексико) смешивали изотопы редкого металла урана для создания атомной бомбы. В то же время еще одна группа исследователей, при поддержке военных, проводила столь же важные опыты в Университете Пердью. Их целью было улучшить работу радиолокатора.²⁷

Они тестировали свойства германия, непонятного малого металла, который до того момента почти никак не применялся. В то время диоды в процессе эксплуатации сгорали слишком быстро, особенно с появлением радиолокационных систем, в которых использовались более короткие волны для лучшей детализации. Исследователи надеялись создать мощное устройство, которое позволяло бы зарядам течь только в одном направлении, подобно тому, как сердечный клапан позволяет крови вытекать, но не дает ей

-
26. Peter N. Gabby, «Germanium», U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2006, accessed December 18, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium/germamcs06.pdf. В опубликованном в 2012 году докладе Геологической службы США было указано, что инфракрасная оптика составляет 50% рынка, тогда как в 2006 году она составляла примерно 30%; David E. Guberman, «Germanium», U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2012, accessed December 18, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium/mcs-2012-germa.pdf; Michael W. George, «Germanium», U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2005, accessed December 18, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/germanium/germamcs05.pdf; David E. Guberman, «Germanium», in 2009 Minerals Yearbook (U. S. Geological Survey, 2009).
27. Michael Eckert and Helmut Schubert, *Crystals, Electrons, Transistors: From Scholar's Study to Industrial Research* (New York: American Institute of Physics, 1990).

течь обратно. Но то, что они обнаружили, в конечном итоге привело к появлению новой электроники и положило начало веку редких металлов.²⁸

В отличие от меди и алюминия, сквозь которые электрические заряды быстро проходят в любом направлении, или пластика и стекла, которые совсем не проводят электрический ток, германий является полупроводником. Исследователи из Университета Пердью обнаружили, что, если добавить немного примесей, таких как мышьяк и фосфор, в высокочистый германий, можно создать диод, через который электрический заряд мог течь только в одном направлении, что позволяло преобразовывать переменный ток в постоянный, а радиосигналы — в слышимые звуки.²⁹

Это, казалось бы, незначительное открытие привело к созданию диода, который был в десять раз более устойчивым к перегоранию, чем предыдущие. Он заложил основу для транзисторов и интегральных схем — полупроводников, критически важных для используемой в настоящее время электрони-

28. The older diodes burned out quickly. W. C. Butterman and J. D. Jorgenson, «*Mineral Commodity Profiles: Germanium*», 2005, pubs.usgs.gov/of/2004/1218/2004-1218.pdf; Solomon Gartenhaus et al., «*A History of Physics at Purdue: The War Period (1941–1945)*», Department of Physics and Astronomy, www.physics.purdue.edu/about_us/history/war_period.shtml; Learn About Electronics, «*Semiconductor Materials*», accessed December 18, 2014, www.learnabout-electronics.org/semiconductors_01.php. Германий мало использовался учеными перед войной. Он применялся на нишевых рынках. На самом деле ученые считали его средством для лечения анемии; see George R. Minot and John J. Sampson, «*Germanium Dioxide as a Remedy for Anemia*», *Boston Medical and Surgical Journal* (1923): 629–632. О германии как примеси свинца см.: «*Oral History Transcript: Dr. Frederick Seitz*», interview by Lillian Hoddeson and Paul Henriksen, Rockefeller University, January 26, 1981, www.aip.org/history/ohilist/4877_1.html; Eckert and Schubert, *Crystals, Electrons, Transistors*.

29. Learn About Electronics, «*Semiconductor Materials*»; Doug DeMaw, «*Diodes and How They Are Used*», March 1985, accessed December 18, 2014, www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/8503034.pdf.

ки. Но в 1942 году цели ученых были гораздо более скромными; они просто хотели увидеть небо над Германией. Они понятия не имели, что изменят наш образ жизни, а спрос на германий возрастет более чем в 20 раз менее чем за десятилетие.³⁰

Хотя военные США сокращают использование германия в тепловизионном оборудовании, когда войны заканчиваются, потенциальные конфликты вызывают новый спрос. Растущая напряженность между Китаем и его соседями, прежде всего Японией, вокруг территориальных амбиций в Южно-Китайском море в настоящее время определяет спрос на германий. В начале 2014 года один китайский поставщик инфракрасного оборудования отметил, что заказы из сектора национальной обороны заметно выросли за год. Военные бюджеты в регионе в некоторых случаях удвоились или почти утроились за последние десять лет, а в 2014-м Китай повысил расходы еще на 12,2%. Растущая напряженность и увеличивающиеся бюджеты для трейдеров металлов вроде Бойла означают, что их дела пойдут в гору. Даже небольшие конфликты могут стать хорошей возможностью для этих поставщиков.³¹

30. Eckert and Schubert, *Crystals, Electrons, Transistors*. Транзисторы, диоды и интегральные схемы изготавливаются из полупроводниковых материалов, чаще всего применяются кремний и германий. Butterman and Jorgenson, «Mineral Commodity Profiles: Germanium». Германиевые диоды в 10 раз устойчивее к выгоранию. Во время войны ежегодно производилось всего несколько сотен килограммов германия, а в начале 1950-х годов было произведено 40 тонн. Bethany Halford, «Germanium», 2003, C&EN: It's Elemental: The Periodic Table, accessed December 18, 2014, pubs.acs.org/cen/80th/print/germanium.html.

31. Butterman and Jorgenson, «Mineral Commodity Profiles: Germanium», 11; Metal-Pages, «Japan Move May Stimulate China Defence Expenditure, Push up Germanium Prices», January 14, 2008, accessed December 18, 2014, www.metal-pages.com/news/story/76382/japan-move-may-stimulate-china-defence-expenditure-push-up-germanium-prices; Sam Freeman et al., *Trends in World Military Expenditure*, 2012 (Solna, Sweden: SIPRI, 2013), available at books.sipri.org/files/FS/SIPRIFS1304.pdf. За десять лет совокупные расходы Ин-

«Когда началась война между Израилем и Ливаном [в 2006 году], телефоны перегрелись от звонков», — говорит Эд Ричардсон, вице-президент производителя редкоземельных магнитов Thomas and Skinner. «Месячный объем их [производителей] заказов равнялся годовому потреблению, потому что им нужны были магниты для работы их систем».³² Проблема состоит в том, что бóльшая часть военного оборудования теперь тоже зависит от множества ресурсов, которые во время конфликтов сокращаются, поскольку спрос на них достигает пика. Вся эта зависимость от материалов ведет к тому, что ряд наиболее важных производств современного оборудования военного назначения располагается очень далеко от линий фронта.

Сегодня важнейшие поля сражений находятся не там, где падают ракеты или стреляют ружья, — напротив, они базируются в материаловедческих лабораториях вроде Сандийской национальной лаборатории в Калифорнии, Университета Цинхуа в Пекине и Лаборатории VAE Systems в Великобритании, где исследователи соревнуются между собой в разработке материалов, призванных вывести военную мощь своей страны на новый уровень боевой техники.

По словам Роберта Латифа, генерал-майора в отставке: «Именно появление передовой электроники изменило характер войн». Латиф, который, помимо погон, имеет степень доктора наук в области материаловедения, считает, что осознание силы редких металлов помогло США совершить переход от гидрав-

донеции, Вьетнама и Китая выросли более чем в два раза и составляют сотни миллиардов долларов. Китай увеличил расходы в 2014 году. Edward Wong, «China Announces 12.2% Increase in Military Budget», *New York Times*, March 5, 2014, www.nytimes.com/2014/03/06/world/asia/china-military-budget.html?hp&_r=0.

32. «Made in China», *Dan Rather Reports*, episode 213 (2013), Ed Richardson, interviewee, www.axs.tv/ui/inc/show_transcripts.php?ami=A4517&t=Dan_Rather_Reports&en=213.

лического и механического оружия Второй мировой войны к современному оружию, основанному на электронике, в котором используются актуаторы и сенсоры, требующие малых металлов. Латиф отмечает, что этот тип вооружения опирается на электронное оборудование, предназначенное для сбора разведывательных данных и наблюдения. Это означает, что нам нужны не только прочные малые металлы, но и такие металлы, которые способны эффективно регулировать электрический ток.³³

«Без некоторых из этих малых металлов вам придется вернуться к показателям 1960-х или 1970-х годов, — говорит мне Латиф. — Почти все наши системы сегодня зависят от редких металлов. Невозможно представить, чего мы могли бы достичь [с точки зрения военной промышленности], не имея возможностей материаловедения, которыми располагаем сейчас».³⁴

Сильнейшими военными державами являются сегодня те, которые могут извлечь пользу из почти всего объема периодической таблицы. Смесь кадмия и теллура лежит в основе систем обнаружения радиации, а также в устройствах сканирования багажа и обнаружения «грязных» бомб. Системы наведения и управления полетом ракет содержат множество редкоземельных металлов, в том числе тербий, итрий и европий. Без вольфрама не могут обойтись

33. Военные больше не бросают бомбы в больших количествах с самолетов, потому что с 1960-х годов они стали использовать ракеты с системой точного наведения, когда Соединенные Штаты оснастили межконтинентальные баллистические ракеты интегральными схемами. IEEE Global History Network, «Integrated Circuits and the Space Program and Missile Defense», accessed December 18, 2014, www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Integrated_Circuits_and_the_Space_Program_and_Missile_Defense.

34. Robert Latiff, telephone interview by David Abraham, January 22, 2014.

бронебойные пули и дроны, которые способны сбивать ракеты GBU-44 Viper Strike.³⁵

Хотя эти новые материалы обладают огромными преимуществами в плане эффективности, они создают проблему для военных США — зависимость от малых металлов, которые не добываются и не производятся в Соединенных Штатах. США вынуждены импортировать по меньшей мере 75% более чем двадцати пяти различных редких металлов; это число увеличилось с пятнадцати металлов в 1995 году.³⁶ Подобно зависимости Германии от импорта молибдена и вольфрама во время Второй мировой войны, растущая зависимость от редких металлов представляет собой угрозу: возможный дефицит малых металлов в то время, когда они больше всего будут нужны для защиты.

«Эта почти полная зависимость от критически важных компонентов и сырья создает опасные риски, — отмечают бывший бригадный генерал Джон Адамс и Скотт Пол в *Politico*. — Наша безопасность и наша способность развивать будущие возможности ведения боевых действий зависят от потенциально

35. Redlen Technologies, «About Redlen», accessed December 18, 2014, redlen.ca; Valerie Bailey Grasso, «Rare Earth Elements in National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress», Congressional Research Service, 2013, www.fas.org/sgp/crs/natsec/R41744.pdf; Noah Shachtman, «Hypersonic Cruise Missile: America's New Global Strike Weapon», *Popular Mechanics*, December 4, 2006, www.popularmechanics.com/technology/military/4203874; David Hambling, «In the Military, Toxic Tungsten Is Everywhere», *Wired*, April 21, 2009, www.wired.com/dangerroom/2009/04/toxic-tungste-1; General Dynamics, «25mm Tungsten APFSDS-T», October 28, 2010, www.gd-ots.com/download/25mm%20Tungsten%20APFSDS-T.pdf.

36. О чистом импорте в США в 2012 году см.: «Mineral Commodity Summaries 2013», U.S. Geological Survey, January 24, 2013, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf; «Mineral Commodity Summaries 1996», U.S. Geological Survey, Minerals Information, January 1, 1996, accessed December 18, 2014, minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/1996; оценки автора. (Цифры учитывают каждый редкоземельный элемент в отдельности.)

ненадежных стран-поставщиков, которые в кризисной ситуации могут не разделять наши интересы».³⁷

Крупнейшие военные системы зачастую наиболее уязвимы перед недостатком малых металлов из-за обширных и сложных потребностей этих систем. Согласно правительству США, только в одной из почти пятидесяти планируемых к строительству атомных подводных лодок используется около 4200 килограммов редкоземельных материалов; в каждом из семидесяти семи эсминцев DDG 51 Aegis — около 2400 килограммов, и для каждого из будущих самолетов F-35 Lightning II необходимо приблизительно 420 килограммов, что позволяет пилоту делать почти все, начиная от запуска двигателей и управления крыльками во время приземления до поддержки электрического интерфейса между элементами управления самолета и его компонентами.³⁸

37. John Adams and Scott Paul, «Opinion: American Security Should Be Homemade», *Politico*, May 8, 2013, accessed December 18, 2014, www.politico.com/story/2013/05/american-security-should-be-homemade-91017.html#ixzz2uIp2iBY7.

38. Веса редкоземельных материалов из отчета Комитета конгресса, вероятно, включают в себя значительную весовую долю других металлов. Ronald H. O'Rourke, «Navy Virginia (SSN-774) Class Attack Submarine Procurement: Background and Issues for Congress», Congressional Research Service, July 31, 2014, www.fas.org/sgp/crs/weapons/RL32418.pdf. For information on Virginia class submarine purchases, see, «DDG 51 Arleigh Burke Class Guided Missile Destroyer», Defense Acquisition Management Information Retrieval, December 31, 2012, accessed December 18, 2014, www.dod.mil/pubs/foi/logistics_material_readiness/acq_bud_fin/SARs/2012-sars/13-F-0884_SARs_as_of_Dec_2012/Navy/DDG_51_December_2012_SAR.pdf. Подробнее о DDG 51 Aegis Destroyer Ships по состоянию на 2012 год, включая ожидаемый выпуск до 2016 года, см.: «Next Global Positioning System Receiver Equipment», Committee Reports 113th Congress (2013–2014), House Report 113–102, June 7, 2013, accessed December 18, 2014, security.blogs.cnn.com/2011/09/22/with-chinese-monopoly-u-s-should-create-rare-mineral-reserve/.

Это не просто редкоземельные элементы. Новейшие системы вооружения, такие как F-35, представляют собой летающие периодические таблицы Менделеева. Самолет почти на четверть состоит из титана, что делает корпус легким и огнеупорным. Крепежные изделия изготовлены из бериллия, который обладает прочностью и термостойкостью; галлий усиливает сигнал радара, а литий входит в состав аккумуляторов высокой энергоемкости. Тантал, благодаря способности сохранять заряд, находится внутри конденсаторов, необходимых для лазерного наведения, систем управления и устройств отображения информации в кабине экипажа.³⁹

Чтобы снизить риск использования ненадежных каналов поставок, военные США проводят оценку своих потребностей в ресурсах и проверяют надежность поставщиков малых металлов. Но выявить каждый элемент и сплав в каждом компоненте каждой системы, а также установить место их происхождения — сложная задача. Вооруженные силы со штатом высококвалифицированных кадров численностью более 1,4 млн человек используют в своих оружейных и компьютерных системах почти все коммерчески доступные металлы.⁴⁰

Производителю компьютерных чипов Intel потребовалось более двух лет, чтобы разобраться в сво-

39. Adams and Paulette, *Remaking American Security*; Beryllium Science and Technology Association, «Uses & Applications of Beryllium», accessed January 18, 2015, beryllium.eu/about-beryllium-and-beryllium-alloys/uses-and-applications-of-beryllium/; TriQuint, «Triquint Supports Northrop Grumman in Multi-Nation F-35 / JSF Program», 2009, www.triquint.com/newsroom/news/2009/triquint-supports-northrop-grumman-in-multi-nation-f-35-jsf-program; «Catalog Update», *Microwave Journal*, 2009, www.microwavejournal.com/articles/print/8243-catalog; Colin Whelan and Nick Kolias, «Gan Microwave Amplifiers Come of Age», *Technology Today*, 2010, No 2, www.raytheon.com/news/technology_Today/archive/2010_2.pdf.

40. U.S. Department of Defense, «About the Department of Defense (DOD)», accessed December 18, 2014, www.defense.gov/about/.

ей цепочке поставок и гарантировать, что в его микропроцессах нет тантала из Конго; компания была первой в своей отрасли, которой удалось это сделать. Но в отличие от Intel, которой нужно было изучить только одну цепочку поставок, у военных США миллионы компонентов, требующих оценки. Это занимает гораздо больше времени, и процесс может быть бесконечным, поскольку потребности военных в оборудовании постоянно растут.⁴¹

Ученые продолжают находить новые способы снизить расходы и повысить эффективность существующего оборудования за счет использования большего количества и разнообразия малых металлов. Например, в люке M2 Bradley Fighting Vehicle алюминий заменили на титан, который на 35% легче и обеспечивает более эффективную защиту изнутри M2.⁴²

Чтобы снизить риски поставок ресурсов, военные пытаются переключиться на более часто используемые, производимые внутри страны ресурсы. Но для этого тоже нужно время. В 2010 году Счетная палата США подсчитала, что Министерству обороны потребуется не менее пятнадцати лет для обновления своей цепочки поставок, чтобы не зависеть от импорта редкоземельных магнитов. Однако генерал Латиф отметил: «Я не уверен, что мы когда-либо сможем полностью отказаться от иностранных источников». Так

41. Intel, «Intel CEO Brian Krzanich's Keynote: News from CES2014», accessed December 18, 2014, m.intel.com/us/en/events/ces-2014/press-release-keynote.html; ThinkProgress, «Intel Announces First „Conflict-Free“ Microprocessor», January 7, 2014, accessed December 18, 2014, thinkprogress.org/security/2014/01/07/3126271/intel-announces-launch-conflict-free-microprocessors. Intel made a commitment in 2011. 2011 Intel Corporate Responsibility Report, *Connecting and Enriching Lives Through Technology*, csrreportbuilder.intel.com/PDFFiles/CSR_2011_Full-Report.pdf.

42. Brajendra Mishra, «Review of Extraction, Processing, Properties & Applications of Reactive Metals», Proceedings of a Symposium Sponsored by the Reactive Metals Committee of the Light Metals Division, The Minerals, Metals & Materials Society, Annual Meeting, San Diego, CA, February 28–March 15, 1999, 200.

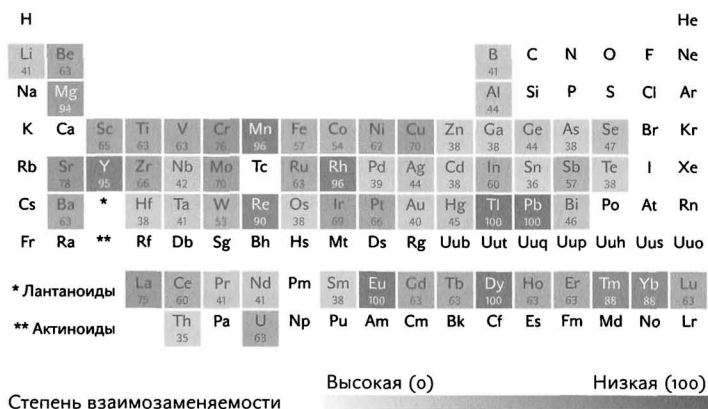


РИС. 3. Периодическая таблица взаимозаменяемости различных металлов по шкале от 0 до 100

Источник: Т. Е. Graedel, Е. М. Harper, N. T. Nassar, and B. K. Reck, 2013. «On the Materials Basis of Modern Society», in *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi:10.1073/pnas.1312752110.

что пока китайские редкоземельные магниты — важнейшие компоненты самых передовых систем вооружения США, включая F-35.⁴³

Учитывая постоянно растущие потребности военных и конечный список компонентов, вариантов замены немного. Невозможно в каждом приложении просто заменить одно сырье на другое. Томас Грейдель из Йельской школы лесного хозяйства и экологических исследований обнаружил, что из шестидесяти двух металлов, которым он посвятил свои исследования, ни один не имеет аналога, который мог бы

43. Materials Research Society, «Materials Science for National Defense», www.mrs.org/resources-defense; John Shiffman, «Exclusive: U. S. Waived Laws to Keep F-35 on Track with China-made Parts», Reuters, January 3, 2014, www.reuters.com/article/2014/01/03/us-lockheed-f-idUSBREA020VA20140103.

заменить его во всех основных приложениях. Более того, как показано на рис. 3, у двенадцати из них нет подходящей замены для любого из их свойств. Если индустрия продуктов питания и напитков по-прежнему не может найти эффективный заменитель сахара, а транспортная отрасль — нефти, не стоит ждать, что военные смогут найти аналоги редких металлов.

«Переход от Маха 2 к Маху 4 или 5 представляет собой совершенно новый набор спецификаций [материала]», — объяснил мне материаловед из Raytheon, фирмы-подрядчика Министерства обороны. Все более строгие спецификации подразумевают, что военным потребуется больше, а не меньше малых металлов после очистки. Это создает проблему, потому что лишь немногие компании в мире способны очищать или изготавливать высококачественный материал из малых металлов, чтобы удовлетворить этому требованию. Как отмечает Raytheon в своем корпоративном журнале, «спрос на более прочные, более легкие, более экологичные, но менее дорогие материалы по-прежнему опережает предложение». Несмотря на давление, которое оказывается на военных, чтобы использовать новые материалы, они парадоксальным образом предпочитают проверенные материалы от надежных поставщиков. «Военные не любят новейшие разработки», — говорит Йоси Шеффи, директор Центра транспорта и логистики MIT.⁴⁴

«Если у вас есть новый материал, который вы хотите использовать в системе вооружения, это займет много времени, в некоторых случаях — двадцать лет», — считает генерал Латиф. Причина проста: если военные планируют инвестировать миллиарды долларов в новый самолет, они не станут полагаться

44. Raytheon material scientist, telephone interview by David Abraham, December 3, 2013; Bernard Harris and Kanai Shah, «Detection and Identification of Radiological Sources», *Technology Today*, 2012, No. 1, www.raytheon.com/news/technology_Today/archive/2012_11.pdf; Yossi Sheffi, interview by David Abraham, Cambridge, MA, February 22, 2012.

на непроверенные материалы. Поскольку военная отрасль не может быстро переключаться с одного материала на другой, она уязвима из-за нехватки ресурсов. Но кое-что другое может быть более тревожным для военных США, чем дефицит материалов: самая мощная военная держава на земле с беспилотными самолетами, высокоточными ракетами и радаром может потерять свое конкурентное превосходство.

Пределы создания систем вооружения определяются не нашим воображением, а инженерными возможностями, а они напрямую зависят от ученых-материаловедов. Но недостаток выпускников металлургических и материаловедческих факультетов университетов США, таких как Кейлен Андерсон из Колорадской школы горного дела, о котором говорилось в главе 4, может быть одной из самых слабых сторон военной отрасли США. Как отмечает генерал Латиф, «военные материаловеды крайне важны». Он считает, что без них наши военные разработки зависят от других стран, потому что нам нужно знать потенциальные свойства материалов, прежде чем мы сможем применять их в системе вооружения. Расширение возможностей в области материаловедения имеет решающее значение, поскольку армия не может использовать материалы XX века для борьбы с угрозами XXI века. Повышение нашей осведомленности в области материаловедения важно не только для защиты от опасностей на поле битвы, оно играет ключевую роль в решении самой насущной угрозы сегодняшнего дня — изменения климата.⁴⁵

45. Department of Defense, «2014 Climate Change Adaptation Road Map», 2014, www.acq.osd.mil/ie/download/CCARprint.pdf.

Устойчивое использование: последствия для окружающей среды в эпоху редких металлов

ЧЖАН Янэ, китайский фермер из отдаленной деревни Диннань в провинции Цзянси, живет в десяти метрах от шахты редкоземельных элементов. Разработки отравили ее колодец и уничтожили урожай. «Вода была сладковатой на вкус, и все наши соседи ее любили. Но теперь она стала непригодной для питья, — сказала она местному репортеру. — Даже мои овощи засохли после того, как я полила их водой из колодца».¹

Люди больше не купаются в реках провинции Цзянси. Они стали ядовитыми, убив в них почти все живое. С вершин покатых зеленых холмов Цзянси, площадь которой сопоставима по размерам с территорией Греции, можно увидеть разрушение, причиненное рудниками. В некоторых местах видны оголенные полосы бежевой глины, как будто с земли содрали кожу. Другие шахты обрезали очертания холмов неестественными, но элегантными ярусами, наподобие шахты СВММ (*Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração*) в Араше в ее уменьшенной изогнутой версии. У каждой шахты свой уникальный путь в соответствии с геологией земли, но процесс добычи одинаков для всех, как и оставленные им шрамы.

1. «China's Rare Earth Boom Comes at Grim Cost», *China Daily*, April 23, 2012, usa.chinadaily.com.cn/china/2012-04/23/content_15117359.htm.

Даже если вы никогда не были на холмах Цзянси, ваш след там присутствует. Почти вся ваша электроника содержит крупницы металлов из этих шахт, потому что, как мы видели в главе 4, на холмах Южного Китая производится почти весь мировой диспрозий, который используется во всех наших высокотехнологичных товарах. Когда мы импортируем устройства для чтения электронных книг Kindle, мы экспортируем загрязнение, включая сточные воды, выбросы углекислого газа и кислые шахтные воды.²

Чтобы добраться до редкоземельных элементов, соседи Чжан выкапывают в холме отверстия глубиной в 2,5 метра и выливают в них аммиачно-сульфатную кислоту. Холмы состоят не столько из камней или грунта, сколько из довольно рыхлой песчаной глины, в которую легко проникает кислота. В Цзянси легко получить доступ к редкоземельным элементам, таким как диспрозий и тербий, из-за слабых химических связей между редкоземельными минералами и глиной. Поэтому процесс добычи похож на то, как воду наливают на глиняную насыпь, а затем наблюдают за тем, как она растворяется.³

-
2. До одной трети всего загрязнения воздуха в Китае связано с производством экспортных товаров и неопределенным количеством локализованного загрязнения. J. Lin, D. Pan, S. J. Davis, Q. Zhang, K. He, C. Wang, D. G. Streets, D. J. Wuebbles, and D. Guan, «China's International Trade And Air Pollution in the United States», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, no. 5 (2014): 1736–41, doi:10.1073/pnas.1312860111. По мнению авторов, «было установлено, что в 2006 году 36% антропогенного диоксида серы, 27% оксидов азота, 22% окиси углерода и 17% черного углерода, выбрасываемых в Китае, были связаны с производством товаров для экспорта».
 3. Peter Foster, «Rare Earths: Why China Is Cutting Exports Crucial to Western Technologies», *Telegraph*, March 11, 2011, www.telegraph.co.uk/science/8385189/Rare-earths-why-China-is-cutting-exports-crucial-to-Western-technologies.html; Georgiana A. Moldoveanu and Vladimiro G. Papangelakis, 2013, «Recovery of Rare Earth Elements Adsorbed on Clay Minerals: II. Leaching with Ammonium Sulfate», *Hydrometallurgy*, January 2013, 131–32, 158–66, doi:10.1016/j.hydromet.2012.10.011.

Как только кислота вымыла основную часть глины, горняки продираются сквозь вязкую кашу коричневой жижи, которая уплотняется с каждым шагом. Одежда в бежевых пятнах от мокрой глины делает их больше похожими на художников, когда они водружают на плечи белые мешки с бурым осадком. Они волокут их к комплексу бассейнов с тропически голубыми и коричневыми растворителями, соединенными друг с другом белыми ПВХ-трубами. Эта жидкость ярко-синего оттенка необыкновенно притягательна и похожа на воду в небольшом детском аквапарке. Но эта сеть из наспех сооруженных пластиковых соединений на склонах холмов — не игровая площадка. С ее помощью редкоземельные элементы химическим путем отделяются от других минералов из оставшейся части глины. Материал, прошедший кислотную ванну, помещается в печь для образования концентрированной смеси редкоземельных элементов. Это намного более простой и дешевый процесс даже по сравнению с СВММ в Бразилии.

Но количество отходов от этих операций поражает. Только 0,2% добытой глины содержит редкоземельные элементы. Это означает, что 99,8% приходится на отработанные отходы, называемые «хвостами», которые попадают обратно в холмы и ручьи. Они просачиваются в реки и места обитания диких животных, принося с собой химикаты, на которые жалуется Чжан. Из-за того что в горах выдалбливаются крупные куски породы, которые затем заменяются слабой обработанной глиной, они становятся подвержены оползням. Согласно данным властей Пекина, при производстве каждого килограмма редкоземельных элементов образуется 2000 килограммов «хвостов». Кроме того, в результате этого процесса в сточном осадке среди других загрязняющих веществ остается смесь аммония и тяжелых металлов, которые оказывают влияние в том числе и на Чжан.⁴

4. Government of China, «Full Text: Situation and Policies of China's

Как это ни парадоксально, в земле, которая возвращается на место, содержится больше глины, чем в изначальном объеме. Воздух проникает в почву, потерявшую свою плотность, и она набухает. Именно из-за набухания почвы всегда кажется, что породы и камней становится больше после засыпания только что вырытой ямы. Вот причина, почему шахтеры не могут вернуть всю почву обратно в то место, откуда они ее взяли.

По оценкам китайских властей, для очистки загрязненной территории вокруг Цзянси потребуется около 6 млрд долларов, однако цифры о региональном ущербе носят спекулятивный характер и могут занижать проблему.⁵ Учитывая высокое значение редкоземельной шахты Цзянси для всего региона и для нашего высокотехнологичного образа жизни, проблемы Чжан вряд ли будут решены в ближайшее время.

Чтобы увидеть будущее Чжан и ее соседей из деревни Диннань, можно заглянуть не далее чем на 2000 илометров к северу, в деревню Далахай, расположенную на окраине дамбы хвостохранилища шахты Баян-Обо. Шестидесятипятилетний Ли Гуйронг в течение десятилетий наблюдал за изменением региона, когда эта шахта недалеко от границы с Монголией, стала крупнейшей редкоземельной шахтой в мире (вдобавок к поставкам железной руды) за счет людей, живущих рядом с ней.⁶

«Мы поняли, что что-то случилось в конце 1980-х, когда деревья и местная растительность цвели, но

Rare Earth Industry», June 20, 2012, www.gov.cn/english/2012-06/20/content_2165802_3.htm. Другие источники говорят об отходах в размере 1000 килограммов на 1 килограмм редкоземельных элементов. Li Fangfang, «Damage of Rare Earth Extraction to the Environment», *Beijing Review*, August 28, 2012, www.bjreview.com.cn/special/2012-08/28/content_478716.htm.

5. Li, «Damage of Rare Earth Extraction».

6. «Rare-Earth Mining in China Comes at a Heavy Cost for Local Villages», *Guardian*, August 7, 2012, www.theguardian.com/environment/2012/aug/07/china-rare-earth-village-pollution.

не приносили плодов. Позже они совсем перестали расти», — рассказывает Ли местным СМИ. Соседи Ли стали страдать от кожной сыпи, респираторных заболеваний, остеопороза и рака. У сельских жителей возникли проблемы с зубами.⁷

На севере руда более богатая, хотя и более каменная, поэтому ее нужно измельчать, а затем обрабатывать серной кислотой, чтобы разрушить связи между редкоземлями и минералами. Кроме того, благодаря более продолжительному процессу обработки выделяется радиоактивный торий, который содержится в местных породах и почти во всех других редкоземельных месторождениях. Для производства 1 тонны редкоземельных элементов в Баян-Обо рабочие используют более 4 тонн серной кислоты и 1 тонну соляной кислоты и гидроксида натрия. Из-за химикатов работать сложнее. «Иногда я кашляю из-за резкого запаха порошка, не помогает и плотная маска», — поведал горнорабочий этой шахты местным СМИ. По данным Китайского общества редкоземельных элементов, в результате обрабатывающего процесса на 1 тонну редкоземельных элементов приходится 75 000 литров кислых сточных вод и 1 тонна радиоактивных отходов.⁸

7. Simon Perry and Ed Douglas, «In China, the True Cost of Britain's Clean, Green Wind Power Experiment: Pollution on a Disastrous Scale», March 19, 2011, www.dailymail.co.uk/home/moslive/article-1350811/In-China-true-cost-Britains-clean-green-wind-power-experiment-Pollution-disastrous-scale.html#ixzz2ydvB3NHSX; Lan Xinzhen, «Rare Earth Resolution», *Beijing Review*, August 13, 2012, www.bjreview.com.cn/business/txt/2012-08/13/content_474520.htm.

8. Renee Cho, «Rare Earth Metals: Will We Have Enough? State of the Planet», September 19, 2012, blogs.ei.columbia.edu/2012/09/19/rare-earth-metals-will-we-have-enough/. «Согласно Министерству промышленности и информационных технологий, при обработке одной кубической тонны редкоземельных элементов используется около семи тонн сильной кислоты». CleanBiz Asia, «Chinese Regulator Hits Back at WTO Rare-Earth Investigation», 2014, accessed December 6, 2014, www.cleanbiz.asia/news/chinese-regulator-hits-back-wto-rare-earth-investigation#.UohI_FcvmS; Li Jiabao and Liu Jie, «Rare Earth Industry Adjusts to Slow Market»,

В городском округе Баотоу, к которому принадлежит шахта Баян-Обо, процессы отделения и плавки генерируют сточные воды, содержащие высокие концентрации аммонийного азота и радиоактивных отходов. Они сбрасываются в хвостохранилище, делая воздух настолько едким, что он разъедает глаза. Поскольку соблюдение мер по защите окружающей среды не было приоритетом для разработчиков шахты, хвостохранилище было устроено ненадлежащим образом; его содержимое отравило почву, грунтовые воды и растительность вокруг, превратив Далахай в одну из 450 «раковых деревень» в стране.⁹

Малые металлы невозможно производить без какого-либо воздействия на окружающую среду. (То же самое можно сказать и о современном сельском хозяйстве или фабричном производстве.) Но этот процесс не обязательно должен быть таким же опасным для экологии, как в Китае. Когда страны делают выбор не в пользу экологически безопасного способа производства металлов, они, по сути, передают это на аутсорсинг в такие места, как Китай, что приводит к значительному ущербу для окружающей среды во всем мире. Как мы увидим, наша нынешняя система производства и использования редких металлов ориентирована на краткосрочную перспективу и неэффективна. Если это будет продолжаться, наши нужды приведут к большему ущербу для окружающей среды, чем это необходимо. И, несмотря на ощутимое влияние малых металлов на экологию, у нас мало возможностей для их вторичной переработки, которая к тому же сама по себе не является панацеей. Она

China Daily, September 7, 2009, www.chinadaily.com.cn/bw/2009-09/07/content_8660849.htm; Laura Talens Peiró and Gara Villalba Méndez, «Material and Energy Requirement for Rare Earth Production», *JOM* 65, no. 10 (2013): 1327–40, doi:10.1007/s11837-013-0719-8.

9. Xinzhen, «Rare Earth Resolution»; Kerry Brown, *China and the EU in Context: Insights for Business and Investors*, e-book (Palgrave Macmillan, 2014), www.palgrave.com/page/detail/china-and-the-eu-in-context-kerry-brown/?K=9781137352385.

также имеет свои собственные последствия для природы, и ее одной недостаточно для восполнения потребностей всего мира в редких металлах.

Малые металлы составляют ничтожную часть всех производимых металлов, но по степени негативного воздействия на окружающую среду они нередко превосходят остальные металлы. Зачастую для них требуется гораздо более длительный процесс обработки, чем для недрагоценных металлов вроде меди и цинка, и больше растворителей.¹⁰ Мы должны осознавать экологические последствия от растущих объемов добычи этих малых металлов, поскольку глобальное экологическое воздействие от производства не может быть отделено от гаджетов, которые мы покупаем, а это, в свою очередь, означает, что все мы несем ответственность за влияние, которое оказывает на окружающую среду добыча редких металлов.

Комеи Харада хорошо это понимает. Харада работает в Японском национальном институте материаловедения, занимая должность, название которой больше подходит для Джеймса Бонда, — «ведущий научный сотрудник по особым заданиям». Но его работа понятнее, чем ее наименование. Харада классифицирует экологические последствия того образа жизни, который мы выбираем. Он является представителем растущего круга исследователей, которые отслеживают жизненный цикл наших товаров.

Каждый этап жизненного цикла наших гаджетов — производство, использование и утилизация — вызывает образование парниковых газов. Но мы, как потребители, не видим этих выбросов. В отличие от короткой выхлопной трубы наших автомобилей, длинная выхлопная труба нашей высокотехнологичной жизни не дает нам ясной картины ее производ-

10. T. Norgate and S. Jahanshahi, «Low Grade Ores: Smelt, Leach or Concentrate?» *Minerals Engineering* 23, no. 2 (2010): 65–73, doi:10.1016/j.mineng.2009.10.002.

ственных отходов. Мы могли бы предположить, что наибольшие затраты электричества и его последующий вклад в парниковые газы происходят, когда гаджет находится у нас в руках или подключен к зарядному устройству. В конечном итоге это единственное использование электроэнергии, которое мы видим. Но Nokia и Apple обнаружили, что только 15% парниковых газов, генерируемых в течение всего жизненного цикла многих товаров этих компаний, образуется от использования электричества для их зарядки. Это означает, что примерно 85% приходится на их производство, доставку и утилизацию. Вот почему для окружающей среды часто более безопасно использовать старый товар, чем покупать новый, несмотря на кажущуюся экономию энергии в улучшенных батареях, необходимость реже заряжать устройство и тратить на это меньше времени.¹¹ Чтобы понять истинное воздействие какого-либо товара на окружающую среду, мы также должны учитывать загрязнение в результате производства и утилизации.

Харада знает из исследований то, что Чжан, живущая в провинции Цзянси, видела своими глазами: при производстве небольшого количества металла образуется огромное количество отходов. Возьмите продукт производства, который многие из нас считают низкотехнологичным: 3-граммовое платиновое обручальное кольцо. Чтобы прийти к тому, что Харада называет общим количеством материала, требуемого для производства кольца, он определяет весь объем используемых ресурсов: вырытую почву для доступа к металлу, количество угля, сжигаемого для получения энергии для обработки материала, и воду, используемую в процессе производства. По этим под-

11. Nokia, 2013, www.nokia.com/global/about-nokia/people-and-planet/sustainable-devices/products/products/; Apple, «15-inch MacBook Pro with Retina Display, Environmental Report», www.apple.com/id/environment/reports/docs/15inch_MacBookPro_wRetina-Display_PER_Oct2013.pdf.

счетам для одного кольца весом в 3 грамма требуется 3,6 тонны материала. В то же время общее количество материала, необходимого для производства 1 тонны железа, составляет около 8 тонн. Но даже потребности платины в ресурсах меркнут в сравнении с другими металлами. Для производства 1 тонны германия требуется 120 000 тонн материала. (Поскольку германий является побочным продуктом, этот материал может содержать и другие металлы.)¹²

Согласно Харада, если подсчитать совокупное влияние на окружающую среду от производства 1 килограмма редкоземельных элементов, оно будет примерно равно воздействию от производства 1 тонны железа. Несмотря на столь точные цифры, Харада и другие исследователи признают, что сравнение влияния различных металлов субъективно, поскольку для некоторых металлов характерен низкий «углеродный след», но более высокое локализованное воздействие, которое может выражаться в сточных водах или обезлесении. Тем не менее обозначение объема материала, необходимого для производства определенного количества металла, дает общее представление. В среднем общий объем материалов, используемых в промышленных товарах, в тридцать раз превышает их собственный вес.¹³ Но для «зеленых» и высокотехнологичных товаров, таких как те-

12. Kohmei Halada, «Sustainable Material Use», National Institute for Materials Science, 2010, www.iges.or.jp/isap/2010/en/pdf/day2/Halada.pdf; Kohmei Halada, «New Stage of Resource Issues and Strategic Elements Initiative in Japan», Presentation, 2nd International Workshop on Rare Metals, Boston, Massachusetts, 2012.

13. EJOLT, «Ecological Rucksacks (Hidden Flows)», accessed December 6, 2014, www.ejolt.org/2013/02/ecological-rucksacks-hidden-flows/; C. Hageluku and C. Meskers, «Complex Lifecycles of Precious and Special Metals», in *Linkages of Sustainability*, ed. T. E. Graedel and E. van der Voet, 165–197 (Cambridge, MA: MIT Press, 2009). Как мы знаем из главы 4, поскольку потери материалов происходят на всех этапах производства малых металлов и создания компонентов, лишь малая часть того, что добывается, достигает рынка, не говоря уже о конечном продукте.

лефоны, ЖК-дисплеи и их составные компоненты, этот фактор может повышаться до нескольких сотен и более, поскольку в высокотехнологичной продукции используется много редких металлов. Самый простой мобильный телефон весит 56 граммов, а для его изготовления требуется 31 килограмм ресурсов.¹⁴

Производство редких металлов, как и большинство горных разработок, может вести к кислым стокам, загрязнению металлами, увеличению выбросов в атмосферу, а в некоторых случаях и к радиоактивным отходам. Каждый этап производства оказывает влияние на окружающую среду — от расчистки земли до интенсивного использования воды при добыче. Даже сами шахты, которые часто находятся в отдаленных местах, нуждаются в собственной инфраструктуре — от дорог до систем канализации.

Рональд Коэн, профессор Колорадской школы горного дела, объясняет, что простое выкапывание земли, первый этап горных работ, подвергает сульфидную руду воздействию воздуха и воды. Это воздействие может привести к «образованию кислых стоков», которые еще называют дренажом кислых шахтных вод, поскольку добыча значительно ускоряет относительно безвредные природные процессы, которые обычно протекают в течение тысячелетий, так как больше поверхности породы вступает в контакт с водой. Чтобы продемонстрировать своим ученикам, как это происходит, он кладет в воду кусочек мела и просит студентов оценить площадь поверхности мела, которая взаимодействует с водой — несколько сантиметров. Затем Коэн ломает мел и говорит ученикам, что поверхность мела, контактирующая с водой, увеличивается в несколько раз. Но если бы он измельчил мел, то, по его объяснениям, площадь поверхности в контакте с водой увеличилась бы в миллионы раз. Именно эта рафинированная руда и ее

14. Halada, «Sustainable Material Use».

многократные контакты с водой приводят к кислым стокам. Вода превращает сульфиды в серную кислоту и отравляет местные воды на десятки и сотни лет, поскольку новая вода продолжает контактировать с кислой породой.¹⁵

Коэн рассказывает мне, что от 10 000 до 20 000 ручьев в США теперь лишены жизни, потому что компании не приняли меры предосторожности для предотвращения или устранения дренажа кислых шахтных вод. Когда кислота попадает в поток, вода становится непригодной для сельского хозяйства, дикой природы или даже для промышленных целей, поскольку она может испортить оборудование. Почти сто лет назад, когда горняки обнаружили проблему с кислотой, они нашли решение в замене оборудования. Они разработали новые кислотостойкие насосы, не подверженные коррозии. Проблема сокращения кислоты была непомерной задачей, и они продолжали откачивать ее в местные ручьи. К сожалению, ущерб от кислых стоков может сказываться на протяжении столетий. Несовершенные методы добычи полезных ископаемых прошлого и слабый контроль увеличили экологическую нагрузку, особенно в связи с тем, что из-за хвостохранилищ ненадлежащего качества опасные материалы проникали с шахт, а горнодобывающие компании оставляли участки разработок в безжизненном состоянии без регенерации.¹⁶ Металлообработка тоже имела глубокие последствия для окружающей среды.

В начале XX века Осака в Японии стала широко известна как «дымовая столица», что в значительной степени было связано с совокупными выбросами

15. U.S. Environmental Protection Agency, *Technical Document: Acid Mining Drainage Prediction*, 1994, water.epa.gov/polwaste/nps/upload/amd.pdf; Ron Cohen, telephone interview by David Abraham, April 10, 2014.

16. Cohen, interview, April 10, 2014.

ми от металлургического производства. Залив Докай, у берегов города Китакюсю на юге Японии, был назван «морем смерти» из-за бежево-зеленой смеси хлоридов и отходов, плавающей в воде, — продуктов железообрабатывающей, сталелитейной и электротехнической промышленности.¹⁷ Слабое регулирование не только повлияло на окружающую среду, но и причинило большие страдания местным жителям. В течение 1930-х годов кадмий из свинцово-цинкового завода попадал в систему водоснабжения префектуры Тояма, а оттуда просочился на рисовые поля региона. Употребление риса, отравленного кадмием, стало причиной сильных болей у нескольких сотен местных женщин, поскольку токсин проникал в их кости и способствовал их разрушению, и некоторые женщины навсегда остались согбенными в пояснице. Боль была настолько мучительной, что ее стали называть «итай-итай», что означает «ой-ой».¹⁸ Несмотря на ужасающий характер инцидента и загрязнения окружающей среды, прошло еще много лет, прежде чем Япония стала более «зеленой», отчасти благодаря импорту большего количества металлов, обработанных в других местах, и введению более строгих экологических норм на шахтах.

Переход к более чистым методам металлопроизводства происходил во всем мире и начался с ростом экологического сознания на Западе в конце 1960-х и 1970-х годах. Оживление экологического законодательства, особенно в Соединенных Штатах,

17. John Robert McNeill, *Something New Under the Sun* (New York: Norton, 2000); SBMC, October 18, 2004, accessed December 6, 2014, www.sbmc.or.jp/english/20041018/Kitakyushu_City_vol2_vol3.htm.

18. Masanori Kaji, «Role of Experts and Public Participation in Pollution Control: The Case of Itai-itai Disease in Japan», *Ethics in Science and Environmental Politics*, no. 12 (2012): 99–111, available at www.int-res.com/articles/esep2012/12/e012p099.pdf. Болезнь была настолько травмирующей, что в городе создали музей, посвященный этому недугу.

заставило многие компании начать минимизировать свои факторы воздействия на окружающую среду. Компании стали придерживаться основных международных экологических стандартов. Стремление к более чистой добыче было связано не только с этикой, но и с экономикой. С ростом затрат на воду, энергию и топливо повышение эффективности стало не только благом для окружающей среды, но и позволило бизнесу сократить издержки.

Однако параллельно тому, как горнодобывающие компании становятся экологически сознательнее, добыча становится все более трудоемким делом с точки зрения экологии. Новые шахты часто более сложные, потому что месторождения залегают глубже, их разброс шире, а качество руды падает, ее зерна становятся мельче и требуют больше ресурсов для обработки. Для производства такого же количества малых металлов, которые мы используем сегодня, нам придется сжечь больше углекислого газа, чтобы произвести энергию для горных работ, и после нас останется больше отходов — химикатов и хвостов — завтра.

Во многих случаях шахтеры создают гораздо больше отходов, потому что им приходится копать глубже. Поскольку процент металла в руде падает, компаниям необходимо перерабатывать больше руды для производства такого же количества металла. В одном исследовании отмечается, что, поскольку уровень содержания металла в медной руде упал с 3 до 0,5%, объем энергии, необходимой для ее обработки, увеличился более чем в пять раз.¹⁹

19. Markus A. Reuter and Antoinette van Schaik, «Transforming the Recovery and Recycling of Nonrenewable Resources», *Linkages of Sustainability* (Cambridge, MA: MIT Press, 2009), 149–162, doi:10.7551/mitpress/9780262013581.003.0009. Объем энергии для удовлетворения всех потребностей горных работ может вырасти до 40% всей мировой энергии в 2050 году. Heather L. MacLean et al., «Mineral Resources: Stocks, Flows, and Prospects», working papers in economics, 2010, www.economics.rpi.edu/workingpapers/rpi1003.pdf.

В настоящий момент насущная проблема для многих горнодобывающих компаний состоит не только в том, чтобы справиться с экологическими последствиями текущей производственной деятельности, но и в том, чтобы преодолеть прежнюю экологическую халатность и отсутствие прозрачности в секторе. Прошлые ошибки металлообрабатывающих предприятий часто тормозят развитие отрасли сегодня.

В 1982 году на окраинах джунглей западной Малайзии корпорация Mitsubishi запустила совместное предприятие по переработке монацита — минерала, содержащего редкоземельные элементы и вместе с тем имеющего высокий уровень радиоактивных элементов естественного происхождения. Местные жители жаловались, что компания первоначально выбросила отходы в полиэтиленовых мешках на открытом месте и предложила им использовать эти материалы в качестве удобрений. В 1985 году компания, по сообщениям, оставила радиоактивные отходы в бочках на открытом пространстве за пределами завода.²⁰

Жители соседнего города Букит-Мерах возложили ответственность на завод за всплеск радиоактивности и связанных с этим редких заболеваний. Одиннадцать тысяч жителей обвинили Mitsubishi в росте редких заболеваний, включая опухоли шишковидной железы и восемь случаев лейкемии в течение пяти лет, которых раньше здесь никогда не было. Компания закрыла завод после судебных разбирательств в 1992 году и потратила 100 млн долларов на очистку территории, что означало выкапывание радиоактивной почвы на восемь метров вглубь, вплоть до твердых коренных пород. Фирма пожертвовала более 150 000 долларов мест-

20. Yoshihiko Wada, «A Radioactive Thorium Pollution Case in Malaysia: Asian Rare Earth Incident Revisited», paper presented at the Rare Earth Symposium University of Queensland, Brisbane, Australia, May 31, 2013, www.csr.uq.edu.au/docs/Yoshi.pdf.

ным школам, но не признала свою ответственность за загрязнение.²¹

Компания не просто оставила после себя радиоактивное наследство; она создала ядовитую среду для тех компаний, которые пришли после нее. Репутация Mitsubishi настигла корпорацию Lynas, когда в 2011 году она пыталась открыть предприятие по переработке редкоземельных элементов в стране из импортированной руды из Австралии. Местные жители посчитали, что их территорию используют в качестве свалки для австралийских радиоактивных отходов, как когда-то японских. На самом деле Австралия уже в 1980-х годах отказалась от завода по переработке редкоземельных элементов из-за экологических проблем и проблем со здоровьем, связанных с обработкой руды, подобных тем, что были в Букит-Мерахе.²² Вероятно, именно сложности с открытием производства в Австралии и Японии заставили Lynas отправиться в Малайзию.

Несмотря на заверения правительства Малайзии в том, что Lynas может начать переработку, проект был обречен на провал из-за экологического активизма, даже несмотря на предпринимаемые компанией дополнительные меры безопасности. Ей стало все труднее получать лицензии от правительства, осаждаемого протестующими — защитниками окружающей среды, хотя минералы, которые направля-

21. Keith Bradsher, «Mitsubishi Quietly Cleans Up Its Former Refinery», *New York Times*, March 9, 2011, www.nytimes.com/2011/03/09/business/energy-environment/ograreside.html?_r=0; Charles Wallace, «Environment: A Question of Pollution and Power: A Tiny Malaysian Village Accuses a Japanese Conglomerate of Dumping Nuclear Waste and Causing Illness», *Los Angeles Times*, December 8, 1992, articles.latimes.com/1992-12-08/news/wr-1751_1_nuclear-waste; Wada, «A Radioactive Thorium Pollution Case».

22. Jessica Elzea Kogel, *Industrial Minerals & Rocks* (Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2009), 788; Yanis Mieztis and Dean Hoatson, «Rare Earths», *Australian Mines Atlas*, 2013, www.australianminesatlas.gov.au/aimr/commodity/rare_earth.html.

лись на новый завод, производили примерно в 30 раз меньше радиоактивных материалов, чем те, которые обрабатывала Mitsubishi.²³

Чтобы избежать подобного противодействия новым проектам, компании ежегодно тратят миллионы долларов на соблюдение экологических норм. Производитель редкоземельных металлов Molycorp, базирующийся в пустыне Калифорнии, потратил более 1,5 млрд долларов на разработку самой современной системы для экономии воды и переработки отходов. Но идеальной системы не существует. В 2014 году Molycorp по-прежнему упрекали в ненадлежащем обращении с опасными отходами. Даже компания Teck Resources, получившая премию в области защиты окружающей среды от Ассоциации геодезистов и разработчиков Канады, недавно признала, что ее дочерняя фирма на протяжении более ста лет загрязняла окружающую среду, сбрасывая твердые и жидкие отходы в реку Колумбия.²⁴

В интересах компании — снижать количество воды, которую она использует, и повторно использовать кислоту, а не сливать ее в окружающую среду. Но, безусловно, эффективность стоит денег: оборудование для переработки высококачественных кислот и воды обходится недешево. В 1990-х годах эти дополнительные расходы оказались препятствием для Molycorp и других производителей редкоземельных элементов за пределами Китая. Китайцы не тратились на дорогостоящее технологическое оборудование, потому

23. Keith Bradsher, «Malaysia Gambles on Processing Rare Earths», *New York Times*, www.nytimes.com/2011/03/09/business/energy-environment/ograre.html.

24. Dorothy Kosich, «Molycorp Slapped with Hazardous Waste Fine», *Mineweb*, April 22, 2014, www.mineweb.com/mineweb/content/en/mineweb-industrial-metals-minerals-old?oid=238181&sn=Detail; CBC, «B. C. Mining Giant Admits Polluting U. S. Waters», September 10, 2012, www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/b-c-mining-giant-admits-polluting-u-s-waters-1.1177305.

что, в отличие от других, им не нужно было соблюдать строгие экологические нормы.²⁵

Но Коэн из Колорадской школы горного дела считает, что производство металлов может быть ответственным, только если потребители будут готовы взять на себя часть расходов. Если экономические выгоды от соблюдения природоохранных норм не ясны, моральные установки руководства компании или контроль за соблюдением экологических норм — единственное, что может сделать процесс добычи чистым. А в некоторых местах ощутим недостаток и того и другого.

Многие надеются, что спасителем для нашей окружающей среды станет вторичная переработка продукции, которая позволит избежать добычи новых материалов. Металлы потребляются не так часто, как нефть или уголь, по существу, они временно используются в наших товарах. Двухлетний iPhone содержит ненамного больше металлов, чем новый, который в целях экономии средств со временем становится чуть более эффективным в плане использования металлов. Задача состоит в том, чтобы найти способ извлекать металлы из старых телефонов, чтобы их можно было повторно использовать в следующих моделях. Хотя переработка металлов уменьшит экологическое воздействие от горных работ, снижая необходимость в них, она, в свою очередь, тоже требует энергии и ресурсов. Часто это лучше, чем добыча новых металлов, но и этот процесс не обходится без последствий.

«Мне нравится металлолом», — говорит мне Дэвид Гуссак в баре за кружкой пива возле Центрально-

25. Это может показаться странным, но компании очень часто нуждаются в чистой воде, поскольку она оказывает значительное влияние на восстановление. N.J. Shackleton, V. Malyasiak, D. De Vaux, and N. Plint, «Effect of Cations, Anions, and Ionic Strength on the Flotation of Penlandite-Pyroxene Mixtures», in *Water in Mineral Processing*, ed. J. Drelich and Jiann-Yang Hwang, 197–210 (Englewood, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2010).

го вокзала Нью-Йорка на ежегодной неформальной встрече Торговой ассоциации малых металлов. Дэвид, на визитной карточке которого значится «специалист-металлург», — переработчик, который покупает металлолом у компаний, производящих все — от тантала до ниобия. Он перерабатывает металлические отходы в материал для продажи на своем предприятии площадью 10 000 квадратных метров, недалеко от трассы Florida Turnpike в районе Помпано-Бич, часто сбывая его обратно компаниям, у которых их и приобрел.

Гуссак спрашивает, знаю ли я, что такое напыление, а затем объясняет процесс покрытия какого-либо объекта металлом. Напыление — процесс, оставляющий после себя беспорядок. Представьте картину Джексона Поллака, забрызганную разноцветными красками. В результате этого процесса может родиться произведение искусства, но после него остаются и запачканные краской пол и стены. Работа Гуссака похожа на то, как если прийти в студию Поллака, вскрыть половицы и демонтировать стены, а также соскрести краску для переработки. Он получает прибыль от этой уборки. Гуссак забирает мусор, который может быть стальной стружкой или пенистой жидкостью, и превращает его в пригодные для использования металлы — и десятки миллионов долларов в год для его компании. Его работа также служит на благо окружающей среды, уменьшая потребность добывать больше руды. Бизнес Гуссака стал настолько прибыльным для производителей, что границы в отношениях заказчик/клиент размылись. Они симбиотические партнеры, покупающие друг у друга и продающие друг другу.

Поскольку в настоящее время отходы от редкоземельных металлов становятся все более ценными, мнение производителей изменилось касательно более эффективного использования материалов. Когда на заводе по переработке платины британской компании «Джонсон Матти» были введены правила, со-

гласно которым перед уходом с фабрики сотрудники должны вытирать ноги, каждый год накапливалось достаточное количество пыли для покупки Volkswagen в полной комплектации.²⁶

Хотя такая переработка промышленных отходов положительно сказывается на окружающей среде, она вместе с тем подчеркивает внутреннюю неэффективность производственного процесса. Подобно тому, как материал теряется во время добычи металла (об этом мы узнали из главы 4), то же самое происходит и в производственном процессе. Возьмем, например, магниты, состоящие из редкоземельных элементов. В производстве утрачивается около 15–50% материала при резке для придания нужной формы и размера. Стив Константинидес из Arnold Magnetic Technologies рассказал мне, что процент отходов лишь немного изменился за те двадцать лет, которые он работает в этой отрасли.²⁷ Хотя эффективность компаний в плане отходов от производственного процесса возросла, меньшие размеры и строгие требования к формам, которые теперь предъявляют компании, продолжают создавать проблемы для рынка магнитов, что приводит к росту количества отходов.

В то время как Гуссак получает свои ресурсы с заводов на расстоянии 12 000 километров от Флориды, компания Hitachi работает над решением еще одной сложной задачи, которое изменит наш подход к использованию ресурсов. На берегу токийского залива расположено эко-перерабатывающее предприятие компании. Завод, по сути, стоит на переработанной земле, которая всего лишь поколение назад была частью залива. Предприятие занимается переработкой отходов после использования потребительской продукции (post-consumer recycling) — пластика, конди-

26. *Super Expensive Metals*, Periodic Table of Videos, 2013, www.youtube.com/watch?v=Fg2WzCzKpYU&list=FLpt31K3DAjX1A7PMKfu-GMQ.

27. Steve Constantinides, telephone interview by David Abraham, December 1, 2014.

ционеров и компьютеров, которые мы выбрасываем. Разумеется, при эко-переработке не приходится выбирать, что именно будет перерабатываться; ее задачи намного сложнее, а сама она менее эффективна, чем промышленная переработка Гуссака.

Когда в 2011 году я посетил завод Hitachi, его директор рассказал, что предприятие перерабатывает более 95% поступающего сырья, хотя его определение переработки включает в себя превращение значительной части материала в гранулы, сжигаемые для производства электроэнергии. Исследователь из Tokyo Foundation Хикару Хиранума называет вторичную переработку «городской добычей» (urban mining). По его оценкам, в Японии больше металлов, вроде серебра, золота и индия, запрятаны в электронных гаджетах по всей стране, чем в месторождениях многих шахт по всему миру. Он считает, что сбор этих ресурсов имеет решающее значение для будущего Японии; это сделает страну более экологичной и позволит повысить ресурсную безопасность.²⁸ Но превратить мобильные телефоны и ЖК-экраны в металлы намного сложнее, чем простая игра слов.

Одно только получение сырья для городской добычи — смартфонов, кондиционеров и электрических зубных щеток — представляет собой сложную задачу для таких утилизирующих предприятий, как Hitachi. Даже в Японии, где почти все население сознательно подходит к сортировке мусора (японцы даже удаляют этикетки с пластиковых бутылок, прежде чем выбрасывать их в контейнеры для отходов), перерабатывается только 10% персональных компьютеров.²⁹ Проблема нерационального расходования ресурсов, конечно, касается не только Японии. Это общемиро-

28. «Japan Mulls Move into „Urban Mining“», Australian, November 4, 2011, accessed December 6, 2014, www.theaustralian.com.au/business/opinion/japan-mulls-move-into-urban-mining/story-e6frggif-1226185115681#.

29. Shinsuke Murakami, interview by David Abraham, Tokyo, Japan, October 2, 2014.

вая тема. Согласно Агентству США по охране окружающей среды, в 2009-м, спустя год после выхода iPhone, 75% из 2,4 млн тонн электроники в Соединенных Штатах просто выбрасывалось на свалки без какой-либо переработки. Часто первое препятствие на пути к утилизации состоит в том, чтобы донести продукт до переработчика.³⁰

Кен Деккингер похож на большинство американцев, за исключением того, что он основал несколько успешных интернет-компаний. Когда предприниматель в области технологий отправился за покупкой нового iPhone, он понятия не имел, что продавец предложит ему более 200 долларов за его старую модель. Раньше Деккингер просто выбрасывал их в мусорную корзину вместе с большей частью другого электронного оборудования, кроме старого MacBook и еще более старого ThinkPad, которые он хотел подарить. Правда в том, что даже самые продвинутые технари не используют устаревшую электронику повторно и не отдают ее в переработку, потому что не знают, где и как это сделать.

В 2014 году, согласно исследованию EсоАТМ, только 22% опрошенных американцев отдали свои старые мобильные телефоны или планшеты в переработку. Хотя большинство американцев считают, что переработка полезна для окружающей среды, менее половины рассматривают возможность утилизации своих гаджетов. Другие опросы показывают, что половина респондентов не знали, где перерабатываются электронные отходы, не думали об этом или не представляли, что это возможно. Большинство из них хранят свои старые телефоны в качестве запасных или отдают их другим. Люди жалуются на хлопоты, связанные с тем, чтобы отнести их в пункт приема старой

30. «Statistics on the Management of Used and End-of-Life Electronics», accessed December 6, 2014, www.epa.gov/epawaste/conservation/materials/ecycling/manage.htm.

электроники, даже если они знают, где таковой находится. Такое отсутствие осведомленности и мотивации подрывает усилия по переработке электронной продукции, поскольку это снижает предложение, тем самым удерживая инвесторов от вкладывания денег в проекты по утилизации. По сути, покупатели электроники выбирают худшее экологическое решение: приобретают новые гаджеты и хранят старые.³¹

Поскольку малые металлы содержатся в большом количестве разнообразной продукции, их сбор и сортировка требуют мастерства логистики, что увеличивает затраты на переработку. По словам Барбары Рекк, научного сотрудника, специализирующегося на жизненных циклах металлов в Школе лесного хозяйства и экологических исследований Йельского университета, большая часть того, что мы как клиенты отдаем на переработку, никогда не достигает производителя, который может извлечь и переработать металлы. Наши системы управления отходами неэффективны: большинство высокотехнологичных гаджетов просто не перерабатываются.³²

Трагедия заключается в том, что переработанная руда часто содержит более высокую концентрацию

31. PR Newswire, «The Modern Day Recycling Dilemma: How to Safely Sell or Recycle Unwanted Cell Phones and Tablets», April 9, 2014, www.prnewswire.com/news-releases/the-modern-day-recycling-dilemma-how-to-safely-sell-or-recycle-unwanted-cell-phones-and-tablets-254527401.html; E. Damanhuri, «Post-Consumer Waste Recycling and Optimal Production», *Intech*, May 23, 2012, doi:10.5772/2642; www.intechopen.com/books/editor/post-consumer-waste-recycling-and-optimal-production; M. A. Reuter, C. Hudson, A. van Schaik, K. Heiskanen, C. Meskers, and C. Hagelüken, «Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel», United Nations Environment Programme, 2013, www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal_Recycling_Full_Report.pdf; SourceWire, «More Than £1 Billion Worth of Unused Mobile Phones in UK Homes», August 17, 2012, www.sourcewire.com/news/73565/more-than-billion-worth-of-unused-mobile-phones-in-uk.

32. Barbara Reck, telephone interview by David Abraham, May 8, 2013.

редких металлов, чем руда в шахтах. Например, для производства 1 тонны лития требуется всего 28 тонн аккумуляторов по сравнению с 1250 тоннами земли из литиевых шахт в Чили.³³ Сложность для компаний по сбору металлолома состоит в том, чтобы получить большое количество материала для возможности переработки. В Японии примерно 95% отслуживших свой срок аккумуляторов попадают на полигон промышленных отходов.³⁴

Переработка означает меньше горных работ — большое преимущество для окружающей среды, но от нее образуется свой собственный поток отходов, поскольку утилизация — это обработка металла. В нее включены отходы от кислот, выработки электроэнергии и работы транспортной системы, которая доставляет продукцию для переработки от конечного пользователя на различные перерабатывающие предприятия.

На предприятии Hitachi рабочие в темно-синих брюках и рубашках, в белых касках, масках и желтых перчатках трудятся на одном из четырех разборочных конвейерах, разбивая, разрезая и ломая холодильники, кондиционеры и компьютеры, используя сверла и пилы. Хотя переработка представляет собой сложный инженерный процесс, этот первый этап отделения пластика от металла довольно примитивен. «Это несложная работа», — говорит мне Барбара Рекк

33. Reuter et al., «Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure». В самых крупных литиевых рудниках в Чили содержание лития в руде составляет 0,14%, тогда как литий-ионные батареи содержат около 3,5% лития.

34. Eurobiz Japan, «Urban Mining», October 2013, eurobiz.jp/2013/10/urban-mining/; Environmental Leader, «Aluminum Can Recycling Rate Hit 67% in 2012», October 30, 2013, www.environmentalleader.com/2013/10/30/aluminum-can-recycling-rate-hit-67-in-2012/. В Соединенных Штатах только две из трех алюминиевых банок подвергаются вторичной переработке, несмотря на инфраструктуру для их утилизации. И банки относительно легко перерабатывать, потому что они почти полностью изготовлены из алюминия.

из Йельского университета. Далее она отмечает, что переработчики фокусируются на таких металлах, как медь и железо, которые используются в больших количествах.³⁵

Простых способов, позволяющих разобрать, например, бытовую технику и получить доступ к металлам, не так уж много. Наши изделия окрашены, сварены, заклепаны, покрыты клеем и завинчены. В ЖК-экранах содержится до 250 болтов в 15 различных конфигурациях.³⁶ Развинчивание их вручную требует много труда и времени, что делает процесс дорогостоящим, особенно в Японии, где заработная плата рабочих высока. Не так давно Hitachi изобрела массивный барабан для разлома жестких дисков и ускорения процесса.³⁷ Рабочие сортируют куски металла и пластика и распределяют их по разным контейнерам, что довольно непросто, потому что многие металлы похожи друг на друга. Например, самариево-кобальтовый магнит, покрытый никелем, выглядит так же, как магнит из сплава неодима, железа и бора. После удаления наиболее часто используемых металлов рабочие извлекают самые ценные: золото, серебро и другие драгоценные металлы. В случае с Hitachi они отправляют эти материалы на другие предприятия. На этом переработка обычно заканчивается, как говорит Рекк: «В лучшем случае мы получаем в среднем шесть или семь металлов... до двадцати пяти — даже при самом оптимистичном сценарии — нам не удастся добраться».

Одной из причин этого служит то, что за один цикл невозможно извлечь и отделить от продукта

35. Barbara Reck, telephone interview, May 8, 2013.

36. Action and Resource Center, *Investigating the Role of Design in the Circular Economy*, 1st ed., e-book (Actions and Research Centre 2013), available at www.thersa.org/discover/publications-and-articles/reports/the-great-recovery-exec-summary/.

37. Kenji Baba, Yuzo Hiroshige, and Takeshi Nemoto, «Rare-Earth Magnet Recycling», *Hitachi Review* 62, no. 8 (2013): 452, www.hitachi.com/rev/pdf/2013/r2013_08_105.pdf.

все подлежащие вторичной переработке металлы — его компоненты должны пройти через разные линии переработки.³⁸ Часто наука такова, что извлечь один металл — значит оставить другие. Например, когда малые металлы попадают в алюминие- или сталеплавильный цех, их вообще невозможно восстановить.³⁹ Кроме того, только небольшое количество плавильных заводов во всем мире обладают способностью извлекать специальные металлы, такие как селен и теллур. И даже эти предприятия не могут получить все металлы, потому что невозможно переработать все металлы из iPhone — лучшие в мире утилизирующие предприятия способны справиться лишь с около двадцатью металлами.⁴⁰ На самом деле для почти трети малых металлов степень переработки составляет менее 1%.⁴¹

Поскольку извлечение малых металлов может быть слишком дорогим, часто они измельчаются и в конечном итоге теряются.⁴² В результате перерабатываются только самые ценные, легко достигаемые элементы. Металлурги потратили века на совершен-

38. Christian Hagelüken and Christina Meskers, «Technology Challenges to Recover Precious and Special Metals from Complex Products», presentation abstract R'09 World Congress, September 14, 2009, Davos, Switzerland, ewasteguide.info/files/Hageluecken_2009_R09.pdf.

39. Christian Hagelüken and Christina E. M. Meskers, «Complex Life Cycles of Precious and Special Metals», in Graedel and van der Voet, *Linkages of Sustainability*, 186.

40. Umicore, www.umicore.com/en/bu/precious-metals-refining/.

41. Речь идет о переработке после окончания срока эксплуатации продукта. United Nations Development Programme, «Towards an „Energy Plus“ Approach for the Poor: A Review of Good Practices and Lessons Learned from Asia and the Pacific», 2011web.undp.org/asia/pdf/EnergyPlus.pdf; U. S. Environmental Protection Agency, «Statistics on the Management of Used and End-of-Life Electronics», accessed December 6, 2014, www.epa.gov/epawaste/conservation/materials/ecycling/manage.htm.

42. J. W. Darcy, H. M. Dhammika Bandara, B. Mishra, B. Blanplain, D. Apelian, and Marion H. Emmert, «Challenges in Recycling End-of-Life Rare Earth Magnets», *JOM* 65, no. 11 (2013): 1381–82, doi:10.1007/s11837-013-0783-0.

ствование способов извлечения металлов из природных минералов. Но утилизация — обработка сложной «искусственной» руды — требует гораздо больше усилий. Металлы в продуктах производства (вроде аккумуляторов и даже в стали) комбинируются в намного более сложные сплавы, нежели ограниченный набор металлов, встречающихся в природе, что делает невозможной их эффективную переработку в современных системах.⁴³

Более того, каждая модель смартфона или компьютера, как и их компоненты, имеют уникальную композицию металлов. Таким образом, переработчики использованной потребительской продукции не знают, сколько металлов они могут восстановить из данной партии отходов. Немногие фирмы согласны заниматься сбором материала, не зная его точной стоимости. Во многих местах утилизирующие компании принимают на переработку лишь несколько компонентов или частей.

Извлекать малые металлы из большинства продуктов производства просто невыгодно.⁴⁴ По этой причине в Соединенных Штатах, например, нет ни единого предприятия по переработке редкоземельных магнитов.⁴⁵ Неэффективность утилизации настолько велика, что мы выбрасываем даже золото — степень восстановления золота составляет всего 15–20%.⁴⁶ Даже самая передовая компания в мире по переработке Umicore утверждает, что может восстановить не более двадцати из примерно шестидесяти металлов из одного телефона.⁴⁷

43. Reuter et al. «Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure».

44. Hagelüken and Meskers, «Complex Life Cycles of Precious and Special Metals», 186.

45. Darcy et al., «Challenges in Recycling».

46. Из печатных плат в электронике. Reuter et al., «Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure».

47. Umicore, «Sustainability», accessed December 6, 2014, www.umicore.com/en/vision/our-vision/sustainability/.

Когда я спрашиваю Рекк, как на самом деле обстоят дела с «зеленой» утилизацией, она отвечает после паузы: «В ней много неопределенностей. Это зависит от металла и от того, как легко получить к нему доступ». С одной стороны, она и ее коллега, Томас Грейдель, отмечают, что экологические выгоды могли бы быть намного большими: «В зависимости от металла и формы утильсырья переработка позволяет сократить объем потребляемой энергии в 1–20 раз».⁴⁸

Но оценка выгод и издержек для окружающей среды, связанных с переработкой, осложняется тем, что в большей части нашей высокотехнологичной продукции содержатся довольно токсичные материалы. Некоторые устройства вроде аккумуляторов взрывоопасны, и их обработка может привести к воспламенению. Из-за этого некоторые металлы дешевле выбросить, чем утилизировать. К сожалению, большинство этих электронных отходов даже не достигает заводов: зачастую они попадают на отдаленные открытые свалки в таких местах, как Индия и Гана, где люди сжигают изоляцию проводов над костром, поджигают микросхемы и вымывают металлы с сильными химикатами вроде цианида. Этот процесс не только опасен и вреден для окружающей среды, но и неэффективен.⁴⁹

Реальное влияние на окружающую среду также зависит от соблюдения мер предосторожности. Например, во многих азиатских странах последствия для экологии могут быть очень серьезными, поскольку

48. ScienceDaily, «Researchers Call for Specialty Metals Recycling», September 24, 2012, www.sciencedaily.com/releases/2012/09/120924175211.htm; B. K. Reck and T. E. Graedel, «Challenges in Metal Recycling», *Science* 337, no. 6095 (2012): 690, doi:10.1126/science.1217501.

49. Hagelüken and Meskers, «Complex Life Cycles of Precious and Special Metals», 186; Roy Gordon, «Criteria for Choosing Transparent Conductors», *MRS Bulletin* 25, no. 8 (2000): 52, www-chem.harvard.edu/groups/gordon/papers/Gordon_MRS_Bull.pdf, p. 4. Например, покрытия на стекле могут быть токсичными. Reuter et al., «Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure».

ку многие предприятия не проводят необходимых профилактических мероприятий, таких как управление выбросами. Нам предстоит потратить еще немало времени для создания экологически безопасной и комплексной системы очистки, чтобы соответствовать нашему все более высокотехнологичному образу жизни. Как отмечает Рекк, «для многих малых металлов еще нет даже технологий вторичной переработки».⁵⁰

Хотя вторичная переработка снижает спрос на добычу новых материалов, ее невозможно избежать по двум основным причинам. Во-первых, даже если нам повезет собрать 80% электронных отходов, мы потеряем определенный процент при разборке и расплавке, так же как мы теряем металлы на различных этапах добычи и переработки. Даже если мы теряем только 20% на каждом этапе, у нас остается всего 50% металлов.⁵¹

Во-вторых, даже если бы у нас были эффективные системы переработки, мы не располагаем достаточным объемом редких металлов, готовых к ней. Многие из продуктов производства, которые содержат значительное количество редких металлов, таких как ветряные турбины и электроавтомобили, остаются в эксплуатации. Даже к 2030 году, если не произойдет научных прорывов, утилизация сможет обеспечить менее 10% спроса на некоторые материалы, в том числе редкоземельные элементы.⁵² Поэтому, хотя вторичная переработка может снизить потреб-

50. Hagelüken and Meskers, «Complex Life Cycles of Precious and Special Metals», 186; Barbara Reck, telephone interview, May 8, 2013.

51. Reuter et al., «Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure».

52. Jelle H. Rademaker, René Kleijn, and Yongxiang Yang, «Recycling as a Strategy against Rare Earth Element Criticality: A Systemic Evaluation of the Potential Yield of Ndfeb Magnet Recycling», *Environmental Science and Technology* 47, no. 18 (2013): 10129–10136, pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es305007w; см. оцоб.: pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/es305007w/suppl_file/es305007w_si_001.pdf, p. S14–15.

ность в новых редких металлах на уровне погрешности, она не остановит добычу в Цзянси и Далахае.

Основное препятствие на пути к нашей «зеленой» жизни заключается в том, что мы склонны рассматривать части цепочки поставок редкоземельных металлов — добычу, переработку, производство, использование и утилизацию — отдельно, вместо того чтобы относиться к ним как к взаимосвязанным действиям. Производственные решения, которые мы принимаем в одной части жизненного цикла продукта, влияют на последующие шаги. Осознав взаимосвязь этих действий, страны, компании и даже общественность могут сделать больше, чтобы использовать ресурсы более эффективно.

Парадокс в том, что редкие металлы, хотя и крайне важны для нашей «зеленой» продукции, оказывают значительное неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Но при более эффективном производстве и более эффективных системах утилизации до нашего экологически чистого мира можно будет подать рукой, как мы увидим в заключительной главе.

Однако для достижения этой цели странам необходимо забыть политические разногласия, предложить стимулы для эффективного функционирования рынков и признать запасы редких металлов всемирным благом. Для стран это может быть трудной задачей, потому что они завязли в болоте краткосрочных геополитических проблем. Это было ясно продемонстрировано на конференции в Нанкане (Китай), расположенном в районе горных разработок провинции Цзянси, как мы увидим в главе 10.

Война за таблицу Менделеева

В АВГУСТЕ 2013 года более пятисот китайских ученых и политиков, а также горстка иностранных исследователей собрались на Втором саммите китайских редкоземов в южно-китайской провинции Цзянси, сердце тяжелой редкоземельной промышленности. Официальными языками конференции были английский и китайский, но если кто-то говорил только по-английски, ему пришлось нелегко. Всего несколько презентаций сопровождались переводом, но переводчики спотыкались о слова и делали длинные пропуски, несмотря на продолжающуюся речь докладчиков. Кроме того, встречи между представителями отрасли и правительственными чиновниками проводились только на китайском языке.

Хотя большинство конференций и исследований на тему редкоземельных элементов за пределами Китая были посвящены поискам путей снижения зависимости от китайских редкоземов, у участников конференции имелся другой интерес. На самом деле они хотели найти способы увеличить их использование. Один из исследователей даже указал на возможность замены резины редкоземельными элементами: речь об этом зашла потому, что Китай выступает крупнейшим в мире импортером резины.¹ Такой переко-

1. Dominique Patton and Niu Shuping, «UPDATE1-China Dec Rubber Imports Hit Record Peak on Higher Thai Shipments», Reuters, January 10, 2014, www.reuters.com/article/2014/01/10/china-rubber-imports-idUSL3N0KK0WF20140110.

в приоритетах иллюстрирует преимущества монополизации производства ресурсов.

В Соединенных Штатах за последнее время не было таких масштабных научных конференций, посвященных редкоземельным металлам, поскольку мало кто занимается этой темой, — как мы узнали в главе 2, только один университет имеет соответствующую специализацию. Более того, число работников, занятых в редкоземельной отрасли в США в 2010 году, составляло 1500 человек (для сравнения: 25 000 в 1970-х годах). Таким образом, чтобы организовать конференцию сопоставимого размера, нужно было собрать профессионалов всей отрасли.² Это выявляет один из существенных аспектов войны за периодическую таблицу: ее текущее местоположение.

Поскольку Китай и его соседи, Япония и Корея, — крупнейшие потребители редких металлов, война за периодическую таблицу более актуальна в Азии, чем на Западе, где гораздо меньше высокотехнологичного и «зеленого» производства, и это несмотря на то что США и Европа выступают крупнейшими потребителями продукции, содержащей редкоземельные металлы. Это отсутствие производственной базы служит причиной того, почему на Западе мало знают об этих ресурсах, тогда как в Японии новости о редких металлах публикуются на первых полосах газет. По той же причине цены на кукурузу горячо обсуждаются в Айове, но о них редко говорят в Нью-Йорке.

Большинство правительств во всем мире считают вмешательство Пекина в рынок редких металлов попыткой установить контроль над экономическими выгодами, связанными с продажей редких металлов в будущем. И если вы взглянете на принимающий город Нанкан, то поймете, что они имеют право на эту точку зрения — признаки правительственной щедро-

2. Valerie Bailey Grasso, *Rare Earth Elements In National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress* (Congressional Research Service, 2013), fas.org/sgp/crs/natsec/R41744.pdf.

сти встречаются повсеместно. Выезды с шоссе внезапно обрываются зелеными холмами; на шестиполосных дорогах мало машин; а недостроенные высотки, задрапированные сеткой и увешанные объявлениями о продаже, ждут новых жителей. Но Пекин не сильно волнуется о прямых доходах от редких металлов. У него есть заботы поважнее.

Политическая легитимность режима связана с его способностью обеспечить в стране ресурсы, необходимые для поддержания растущих высокотехнологичных и «зеленых» отраслей, которые создают рабочие места. «Редкоземельная отрасль невелика, но ее вклад в национальную экономику огромен», — говорит Чжан Хунцзян, директор Информационного центра Исследовательского института редкоземельных металлов Баотоу.³ Учитывая, что Китай так много поставил на карту, геополитические битвы вокруг ресурсов продолжатся.

Однако причина, по которой Китай доминирует в исследованиях и производстве редкоземельных элементов, а также 40% редких металлов, не только политика правительства. Это и результат удачной геологической формации, и долгосрочных усилий по развитию своей производственной базы в стране. Зависимые от ресурсов страны должно беспокоить то, что, поскольку ценность этих ресурсов продолжает расти вместе с опасениями относительно все более дорогих поставок, другие страны, стремящиеся получить свои собственные экономические выгоды и геополитические преимущества, вполне могут последовать примеру Китая и играть более активную роль на рынке.

Когда в 2014 году по приглашению Университета науки и техники Внутренней Монголии я приехал в Баотоу на конференцию по редкоземам, я думал,

3. David Lague, «China Corners Market in a High-Tech Necessity», *New York Times*, January 22, 2006, www.nytimes.com/2006/01/22/business/worldbusiness/22iht-rare.html.

что будет организован и визит на шахту Баян-Обо или ее хвостохранилище за городом. В конце концов пригласить ведущих исследователей редкоземельных элементов в колыбель крупнейшей в мире редкоземельной шахты и не показать ее им — это то же самое, что собрать производителей шоколада в Херши, Пенсильвания, и не отвезти их на шоколадную фабрику. Вместо посещения шахты было устроено катание на багги по дюнам и поездка в Мавзолей Чингисхана. По заявлению организаторов, правительство не допускает иностранных посетителей в шахту.

Я не только не смог увидеть шахту, но и, как для иностранца, для меня действовали ограничения на то, что мне позволено было знать. Геологические данные являются государственным секретом, а надежных данных о производстве мало. Даже сбор данных об этой отрасли может быть преступлением; в 2009 году четырех сотрудников Rio Tinto, работающих в Китае, включая одного австралийца, обвинили в нарушении коммерческой тайны государственных компаний за сбор данных о железной руде. Двумя годами ранее китайские власти осудили американского геолога за несанкционированный доступ к государственной тайне, когда он получил сведения о местонахождении нефтяных скважин. Во многих других странах такие данные находятся в широком доступе, и, по мнению многих в этой отрасли, эта информация была коммерческой. Власти удерживали его до 2015 года.⁴

4. Chinese Academy of Land and Resource Economics, *A Guide to Investment In China's Mineral Industry* (2012), [www.chinaminingtj.org/esp/document/A_Guide_to_Investment_in_China's_Mineral_Industry\(2012\).pdf](http://www.chinaminingtj.org/esp/document/A_Guide_to_Investment_in_China's_Mineral_Industry(2012).pdf); David Barboza, «China Sentences Rio Tinto Employees in Bribe Case», *New York Times*, March 30, 2010, www.nytimes.com/2010/03/30/business/global/30riotinto.html?page-wanted=all; James T. Areddy, «American Jailed in China Released, Arrives Home», *Wall Street Journal*, April 3, 2015, www.wsj.com/articles/china-said-to-be-deporting-u-s-geologist-jailed-on-spy-charges-1428094957.

Стремление Китая поддерживать режим секретности и его мертвая хватка на рынке не позволяют другим странам эффективно удовлетворять свои потребности в ресурсах. Мало кто хочет инвестировать в отрасль, где данные о рынке неизвестны и правительство может быстро изменить правила игры. Хотя эта ситуация тормозит приток инвестиций, она играет на руку долгосрочной стратегии Пекина.

Пекин использует доступ к своим редким металлам в качестве способа привлечения иностранных инвестиций, которые впоследствии принесут международные технологии в Китай. Центральное правительство хочет модернизировать свои предприятия. В некотором смысле Пекин моделирует свой промышленный рост по образцу японской корпорации Hitachi, которая когда-то была горнодобывающей компанией, а теперь является одной из крупнейших в мире технологических компаний.

Внешне может показаться, что китайское центральное правительство единолично контролирует редкоземельную индустрию. У него есть стратегическое видение и даже «белые» книги, в которых излагаются его будущие цели. Но в реальности дело обстоит совершенно иначе. Центральные власти сталкиваются с немалыми проблемами в осуществлении своей политики из-за борьбы за первенство между многочисленными правительственными органами. Отрасль погрязла в коррупции, а между центральными и региональными чиновниками нет согласия. Часть проблемы связана с решением правительства в конце 1990-х годов отказаться от Министерства горного дела и геологии с тем, чтобы упорядочить бюрократическую структуру. Но вместо того чтобы упростить процесс выработки политических решений, это упразднение Министерства горного дела привело к перераспределению ответственности и неразберихе с ведомствами, около тринадцати из которых оказывают сейчас значительное влияние на рынок

редких металлов, хотя и не полностью контролируют его. Каждое из них соперничает за власть.

Более того, Пекин имеет поразительно малое влияние в отдаленных горнодобывающих районах. Чтобы понять сложные отношения Пекина с этими регионами, стоит обратиться к китайской поговорке: «Сильный дракон не может победить местную змею». Как ни странно, но по многим вопросам политики у местных властей намного больше полномочий, что подтверждает центральное правительство. В 2012 году Государственный совет признал, что недостаточно контролировал производство редкоземов в регионах, и сообщил: «Так много шахт разбросано на большой территории, что трудно и дорого следить за их работой». Глава ведомства редкоземельных металлов сильного Министерства промышленности и информационных технологий также прокомментировал, что высокая прибыль от незаконной добычи привела к альянсу между местными правительственными чиновниками и нелегальными шахтерами.⁵ Во многих случаях местные власти не видят причин, по которым им нужно следовать предписаниям Пекина, таким как закрытие шахт, повышение экологических стандартов или сокращение производства. В 2002 году они помешали попыткам Пекина консолидировать редкоземельную отрасль в двух компаниях для достижения национальных целей. Региональные интересы более узкие: экономическое развитие и процветающий бизнес. А поскольку местные власти контролируют и назначение судей, они обладают колоссальным влиянием.⁶ В акте демонстративно-

5. Information Office of the State Council of the People's Republic of China, *Situation and Policies of China's Rare Earth Industry*, 1st ed. (Beijing, 2012), www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n12771663/n14676956.files/n14675980.pdf; China Radio International, «China Must Tackle Rare Earth Industry Chaos», August 9, 2014, english.cri.cn/12394/2014/08/09/2743s839686.htm.

6. China US Focus, «Squaring the Circle: Rule According to Law in a One-Party State», October 30, 2014, www.chinausfocus.com/poli-

го неповиновения против планов Пекина вице-секретарь Ассоциации редкоземов провинции Цзянси в процессе обсуждения возможности покупки местных фирм государственной компанией заявил: «Перед лицом государственной политики мы будем идти своим путем».

Но не только местные органы власти препятствуют стратегическим целям Пекина. Сами компании, как государственные, так и частные, нередко предпочитают продавать металлы ради немедленной выгоды. Сбыт ресурсов, даже если он идет вразрез с политикой, стимулирует черный рынок.

При таком ограниченном контроле Пекин не может полагаться исключительно на нормативно-правовое регулирование, поскольку часто это приводит к обратному эффекту. Один исследователь из китайской редкоземельной ассоциации привел мне пример непредвиденных последствий новых правил. В 2012 году Пекин издал указ, направленный на сокращение излишка производственных мощностей, постановив, что все редкоземельные заводы с производительностью менее 5000 тонн должны быть закрыты. Вместо того чтобы остановить свою деятельность, многие малые предприятия увеличили свои мощности и стали выпускать свыше 5000 тонн, тем самым повысив производственные мощности страны. К 2013 году сектор редкоземельных элементов был способен производить 300 000 тонн в год, несмотря на то что в мире потреблялось менее половины от этого объема.⁷

Политика Пекина редко проводится в жизнь эффективно. Парадоксальным образом она и не должна проводиться одинаково успешно везде, чтобы удовле-

tical-social-development/squaring-the-circle-rule-according-to-law-in-a-one-party-state/#sthash.gAUEM5uP.dpuf.

7. Chinese rare earth industry official, interview by David Abraham, Beijing, September 16, 2014; «Overseas Competition Forces Chinese Rare Earth Miners to Cut Glut», *Global Times*, December 23, 2013, www.globaltimes.cn/content/833308.shtml.

творить ее желаемым целям развития высокотехнологичных компаний у себя в стране. Пекину просто нужно внести достаточную долю неопределенности в цепочку поставок какой-либо иностранной высокотехнологичной компании, чтобы убедить ее неуверенных руководителей, что легче производить в Китае, чем за его пределами. Это похоже на стратегию Пекина, вынуждающую своих граждан использовать внутренние поисковые системы вместо Google: если власти вмешиваются в работу Google так, что сайт работает нестабильно и становится ненадежным, люди не станут его использовать.

Но как крупнейший потребитель редких металлов (и множества других ресурсов), Китай имеет свои собственные заботы, связанные с ресурсами. Власти часто чувствуют себя в невыгодном положении по сравнению с международными горнодобывающими и торговыми фирмами, оказывающими влияние на процесс ценообразования. Они считают, что их используют; официальные лица страны указывают на олигополистический контроль на рынке железной руды, где, по их мнению, их вынуждают торговать по навязанным им ценам, устанавливаемым тремя компаниями, которые контролируют 70% рынка.⁸

Несмотря на проблемы Китая, связанные с ресурсами, и неспособность полностью контролировать свой собственный рынок, большинство других стран вырабатывают свои стратегии малых металлов вокруг доминирующего положения Китая. И в настоящее время они обеспокоены.

Когда экономика Китая была намного меньше (и до вступления страны во Всемирную торговую организа-

8. Chui-Wei Yap, «China Plans To Create Iron-Ore Mining Giant», *Wall Street Journal*, March 20, 2014, online.wsj.com/articles/SB10001424052702303802104579450302588753602; Wayne Arnold, «China's Global Mining Play Is Failing to Pan Out», *Wall Street Journal*, September 15, 2014 online.wsj.com/articles/chinas-global-mining-play-is-failing-to-pan-out-1410402598.

цию (ВТО) в 2001 году), мало кого в мире беспокоил контроль социалистического правительства над своей промышленностью. Все изменилось, когда Китай присоединился к ВТО и ему пришлось придерживаться практики международной торговли. Несмотря на энтузиазм Китая относительно присоединения к международному торговому сообществу, его отношения с организацией непростые и держатся на шатком фундаменте, поскольку свободный рынок Китая управляется в первую очередь партией и во вторую — законом.

Главный сторонник членства в ВТО того времени, тогдашний премьер-министр Чжу Жунцзи, предупредил членов партии через четыре месяца после вступления в эту международную организацию: «Враждебные западные силы продолжают продвигать свою стратегию вестернизации и разрушения нашей страны».⁹ Поэтому, хотя Китай приветствовал экономические выгоды от дополнительных торговых возможностей, он безрадостно смотрел на структуру, которая их принесла.

Руководство страны опасалось, что международная торговая система сможет ослабить роль Коммунистической партии. Сложность нынешнего порядка, как сказал в интервью *New York Times* в 2014 году Дэн Бяо (китайский ученый, в прошлом приглашенный научный сотрудник в Гарварде и критик правительства), состоит в том, что «базовый политический строй несовместим с верховенством закона», ключевым компонентом основанный на правилах торговой системы. Он утверждал, что возникают трения между китайскими партийными лидерами, которые в основном хотят использовать закон для контроля над обществом и его гражданами, а не рассматривают его как регулирующую структуру.¹⁰

9. «Hopes of Sparking Political Change Have Come to Nothing So Far», *Economist*, December 10, 2011, www.economist.com/node/21541461.

10. Andrew Jacobs and Chris Buckley, «China Moves to Reinforce Rule of Law, with Caveats», *New York Times*, October 24, 2014, www.nyti.com.

Уже более десятилетия Китай пытается уравновесить социалистическую систему, где правительство выступает арбитром законов, с требованиями международной торговой системы, основанной на правилах. В течение этого времени мировая торговля процветала, иностранные компании инвестировали сотни миллиардов долларов, и страна продолжала развивать базу ресурсов редких металлов для поддержки растущей промышленности. Но времена меняются.

Пекин уверен в своих экономических способностях и выросшем экономическом мастерстве и стал более сметливым в своем толковании правил международной торговли. Такие понятия, как «равный доступ», «антимонопольное право» и «устойчивое развитие ресурсов», чужды для Китая. Его лидеры истолковывают эти термины по-своему, сквозь призму государственного контроля над рынком. Эти термины могут подражать западной мысли, но они имеют совершенно иное и очень далекое от того, что в них вкладывалось изначально, культурное содержание и значение, ведь на Западе люди тоже украшают стены своих домов или даже собственные тела витиеватыми китайскими иероглифами.

Например, в 2014 году многие иностранные компании и торговые палаты жаловались, что Пекин использует антимонопольное регулирование не для борьбы с настоящими монополиями, а в качестве оружия. Они считали, что правительство использует антимонопольное регулирование в качестве предлога для снижения роли иностранных фирм в важных для государства секторах.¹¹

mes.com/2014/10/24/world/asia/china-moves-to-enact-rule-of-law-with-caveats.html.

11. «China Denies Using Antimonopoly Law to Target Foreign Companies», *Wall Street Journal*, September 11, 2014, online.wsj.com/articles/china-denies-using-antimonopoly-law-to-target-foreign-companies-1410429955; China US Focus, «Squaring the Circle»; Jie Yang and Laurie Burkitt, «China Defends Its Antimonopoly Probes», *Wall Street Journal*, September 12, 2014, online.wsj.com/articles/SB3000

Аналогичным образом, когда США обвиняли Китай в использовании экспортных квот на редкоземельные элементы и множество других малых металлов для продвижения своей промышленной политики в ВТО, китайские власти утверждали, что применяли их для сохранения невозобновляемых природных ресурсов и защиты окружающей среды. Но в прессе мало говорилось об окружающей среде, когда Китай впервые ввел квоты на редкоземельные металлы в 1999 году. Вместо этого Китай разработал механизмы контроля экспорта и производства, призванные обуздать ценовую конкуренцию, что способствовало снижению цен на редкоземельные металлы. (В течение того же года ведущие редкоземельные компании собрались вместе, чтобы установить минимальную цену).¹²

Но контроль над экспортом значил намного больше. Как сказал об этих правилах заместитель председателя автономной области Внутренняя Монголия: «Мы не просто пытаемся сдерживать цены. Введение контроля и сокращение экспорта направлено на привлечение большего количества заводов с использованием РЗЭ [редкоземельных элементов] из страны и из-за рубежа во Внутреннюю Монголию».¹³

1424052970204168304580147352402004666. По заявлению Торговой палаты США, китайские власти уже более шести лет используют законодательство для продвижения целей промышленной политики. Другие международные организации подавали аналогичные жалобы.

12. Zena Olijnyk, «Rare Earth: Canada's AMR Technologies Mines Riches from China's Clay», *Canadian Business*, November 8, 2004, misc.invest.stocks.narkive.com/uBHNu609/rare-earth-amr-tsx; «This Month in Mining: China», *Engineering and Mining Journal* 200, no. 5 (2000), www.highbeam.com/doc/1P3-58975170.html; «China Imposing Quotas on Rare Earths Exports», *American Metal Market* 107 (February 1999), business.highbeam.com/436402/article-1G1-53998245/china-imposing-quotas-rare-earths-exports; «Chinese Rare-Earth Enterprises Meet to Streamline Industry», *AsiaPulse News*, February 3, 1999, 1008034u0258; *Business Insights: Essentials*, accessed November 8, 2014, bi.galegroup.com/essentials/article/GALE|A53695412/28calb8a9162fa4e234aa7df427082c7.
13. Li Jiabao and Liu Jie, «Rare Earth Industry Adjusts to Slow Market»,

В некоторых отношениях многие в Пекине недовольны производством почти всех мировых запасов редкоземов в самых загрязненных шахтах и перерабатывающих системах в мире и продажей их за рубеж. С точки зрения Пекина, другие страны передали свое загрязнение на аутсорсинг в Китай. И они правы, потому что большую часть редких металлов, которые перерабатывает Китай, нельзя производить в других местах, вроде Японии, из-за экологических стандартов. Некоторые официальные лица Пекина считают, что они пожертвовали экологией страны ради небольшой прибыли.

Вместо этого Пекин хотел добиться гораздо большей экономической выгоды и к 2010 году принял более серьезные меры. В течение года он снизил квоту экспорта редкоземельных элементов страны примерно на 40%.¹⁴ Этот шаг вызвал негативную реакцию со стороны потребителей, что в конечном итоге привело к двум искам в ВТО, которые Китай проиграл.

Решение ВТО, запрещающее экспортный контроль Китая, изменило его тактику, но не стратегию по использованию внутренних ресурсов для содействия росту. На протяжении последних пяти лет Пекин начал консолидировать контроль над редкоземельной отраслью, в которой когда-то доминировали сотни преимущественно мелких операторов, в крупные фирмы, контролируемые государством. Консолидация может оказаться не столь эффективной, как экспортный контроль, но, учитывая, что производство редкоземов в настоящий момент находится в руках государственных игроков, Китай эффективно укрепил

China Daily, September 7, 2009, www.chinadaily.com.cn/bw/2009-09/07/content_8660849.htm.

14. Helen Sun, «China Cuts Rare Earth Export Quota 72%, May Spark Trade Dispute With U. S.», *Bloomberg*, July 9, 2010, www.bloomberg.com/news/2010-07-09/china-reduces-rare-earth-export-quota-by-72-in-second-half-lynas-says.html; V. Zepf, *Rare Earth Elements: A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use* (Heidelberg: Springer, 2013).

пил государственный контроль над отраслью. Консолидация также может помочь остановить контрабанду, которая, по некоторым оценкам, составляет 40% экспорта страны.¹⁵

Пекин располагает дополнительными политическими инструментами для контроля над рынком малых металлов. Он предоставляет субсидии и дешевые кредиты государственным горнодобывающим фирмам, покупает нераспроданные редкие металлы для создания запасов и использует сложные схемы лицензирования экспорта, чтобы ограничить конкуренцию.¹⁶ Эти политические инструменты заставляют другие страны беспокоиться о будущем поставок редких металлов. Как отметила исследовательская

15. Оценки автора основаны на обсуждениях с Китайским обществом редкоземов, interview by David Abraham, Beijing, September 16, 2014.

16. Metal-Pages, «15 Antimony Smelters in China's Lengshuijiang to Merge», December 13, 2013, www.metal-pages.com/news/story/75928/15-antimony-smelters-in-chinas-lengshuijiang-to-merge/. Китай планирует произвести слияние пятнадцати сурьмяных заводов из-за проблем с избыточными мощностями в районе Ленгшуйцзян, где в 2014 году находилось 60% производства сурьмы в стране. В 2003 году в Китае было 400 производителей сурьмы, которая используется при производстве огнестойких материалов и свинцовых аккумуляторов. К 2011 году в стране было менее 20 производителей. Judith Chegwiddden and Jack Bedder, *Antimony: Changes in the Pattern of Supply and Demand* (Rockskill Information Services, 2012), bit.ly/1IhN5j9. China.org, «Metals Firm Sees Shares Rise on Market Debut», October 10, 2012, www.china.org.cn/business/2012-10/10/content_26744718.htm; Investor Intel, «China to Stockpile Heavy Rare Earths Again», October 17, 2012, investorintel.com/rare-earth-intel/china-to-stockpile-heavy-rare-earths-again/; China Tungsten Industry Association, «Tungsten Ore Supply Situation Is Difficult to Alleviate in Short-Term», accessed December 7, 2014, www.ctia.com.cn/TungstenNews/Print.asp?ArticleID=92789; Bob Davis, «China's State-Owned Sector Gets a New Boost», Wall Street Journal, February 23, 2014, online.wsj.com/articles/SB10001424052702303636404579396933232035544. Как отмечает China Nonferrous Mining в своем проспекте за 2012 год, «нам нравится государственная поддержка и льготный режим банковского кредитования и налогообложения».

группа конгресса США в отчете о критических материалах в 2015 году, «Китай, скорее всего, вступает в эпоху ограниченного экспорта сырья в длительной перспективе, что требует определенного типа долгосрочного планирования».¹⁷

Хотя многие страны считают, что Китай чрезмерно усиливает контроль над рынком редких металлов, в самом Китае думают совершенно иначе. Циньхуа Ван, заместитель председателя Китайской ассоциации производителей цветных металлов, отметил: «У нас недостаточно влияния в области редких металлов в мире, и мы не получили адекватной прибыли». Позже он добавил, что ожидает от Китая реорганизации, более эффективного сдерживания роста цен и усиления влияния на международном рынке.¹⁸ Основная часть этой стратегии зависит от импорта иностранных технологий, что заставляет нервничать японских торговых чиновников.

Чтобы воспрепятствовать миграции японских технологических корпораций в Китай, японское правительство раздавало компаниям гранты в размере до 70 млн долларов на программы, связанные со сбережением редких металлов и редкоземельных элементов, в качестве стимула для сохранения производственных мощностей в Японии. Но чиновники знают, что финансовые стимулы и выкручивание рук могут действовать только до определенного момента. В конечном итоге интересы бизнеса возьмут верх. Как заметил один японский торговый чиновник: «Невозможно какую-либо технологию удержать в Японии навсегда».¹⁹

17. Marc Humphries, *China's Mineral Industry and U. S. Access to Strategic and Critical Minerals: Issues for Congress*, (CRS Report No. R43864), Washington, DC: Congressional Research Service, March 20, 2015, fas.org/sgp/crs/row/R43864.pdf.

18. Minor Metals Trade Association, «The Fanya Metal Exchange and the Impact of Conflict Mineral», July 2014, www.mmta.co.uk/newsletter/crucible.

19. Japanese government consultant, interview by David Abraham,

Для Японии многое поставлено на карту. В одном только 2011 году страна потратила более 1 млрд долларов, чтобы снизить зависимость от китайских редких металлов. Как островная нация, которая нуждается в импортных материалах, Япония несколько десятилетий тому назад поняла, что устойчивые цепочки поставок ресурсов имеют решающее значение для стабильной экономики и региональной безопасности.

Но обо всем по порядку. В первой половине XX века погоня Японии за природными ресурсами, направленными на то, чтобы прокормить растущую, ограниченную ресурсами страну, привела к конфликту на всей территории Азиатско-Тихоокеанского региона. Во время Второй мировой войны японская армия вторглась в Китай, Корею, Индонезию и Бирму (ныне Мьянму) для обеспечения поставок.

Масштабная битва за редкие металлы в 2010 году, обсуждавшаяся в главе 2, усилила обеспокоенность японских властей экономической безопасностью своей страны в нескольких плоскостях. Во-первых, они озабочены тем, что Китай будет использовать торговлю редкими металлами в качестве геополитического оружия и снова сократит экспорт. Во-вторых, они опасаются продолжения массового ухода своих компаний в Китай, поскольку последний предлагает неограниченный доступ к дешевым ресурсам. В-третьих, японские власти боятся, что в Китае они лишатся своих технологий либо в результате кражи, либо из-за недостатка инноваций у себя дома. Это позволит Китаю напрямую конкурировать с японским экспортом, что станет большим ударом для японской экономики. Например, объем экспорта электроники в стране составляет около 120 млрд долларов и порядка 15–20% объема всех поставок за границу. «Наши отрасли зависят от этих материалов. Это

Tokyo, August 4, 2013; Japanese government officials, interviews by David Abraham, Tokyo, 2012 and 2013.

вопрос конкурентоспособности», — сказал мне один чиновник.²⁰

Так что в этом смысле, даже учитывая нынешние намного более низкие цены по сравнению с 2011 годом и, казалось бы, достаточные поставки, неопределенность в отношении будущих ресурсов по-прежнему вызывает беспокойство многих японских официальных лиц и компаний. И, не имея ресурсов внутри страны, они чувствуют себя в безвыходном положении. Как сказал другой чиновник: «У нас нет надежной альтернативы редкоземельным элементам, кроме Китая». То же самое можно сказать о вольфраме, индии и сурьме.

Чтобы избежать чрезмерной зависимости от Китая, стратегические цели Японии в области редких металлов должны состоять в том, чтобы увеличить доступность устойчивых каналов поставок редких металлов во всем мире и избавить компании от тех редких металлов, которые имеют наибольшие риски для поставок. План основан на четырех основных принципах: обеспечение ресурсов за рубежом посредством инвестиций и переговоров, вторичная переработка, разработка альтернативных материалов и создание запасов.

Токио предоставил таким компаниям, как Intermetallics, принадлежащей Масато Сагава, миллионы долларов для разработки способов удаления диспрозия из магнитов и финансово поддержал университеты для подготовки минерологов и инженеров. Кроме того, в 2011 году власти предоставили кредит в размере 325 млн долларов корпорации Lynas для развития своих редкоземельных заводов в Малайзии и Австралии.²¹

20. Willem Thorbecke, «Exchange Rate Pass-Through in the Japanese Electronics Industry», RIETI, March 12, 2012, accessed December 7, 2014, www.rieti.go.jp/en/columns/ao1_0338b.html.

21. «FIRB Approves Lynas Deal», *Sydney Morning Herald*, April 7, 2011, www.smh.com.au/business/firb-approves-lynas-deal-20110407-1d4xg.html.

Усилия Японии по финансированию разработки новых шахт и повышению эффективности вторичной переработки будут способствовать увеличению предложения, но неясно, смогут ли эти усилия привести к более безопасным поставкам ресурсов. Это медленные шаги, и даже, если, например, Японии удастся достичь поставленных перед собой целей по переработке, объем переработанных редкоземов к 2025 году будет удовлетворять лишь 10% спроса страны.²²

Кроме того, неясно, можно ли вообще достичь некоторых из этих целей в период кризиса. Например, Япония поставила перед собой задачу национального масштаба: обеспечить импорт японскими торговыми компаниями по меньшей мере 50% редких металлов. Но эта правительственная политика «бессмысленна», как выразился один японский производитель, потому что японские компании будут действовать в лучших деловых интересах компании, которые могут не совпадать с интересами страны.²³

В то время как Япония, вне всяких сомнений, обладает самой хорошо финансируемой стратегией безопасности в области редких металлов, другие страны предпринимали аналогичные усилия, хотя и расставляли другие акценты. Европейский союз сосредоточен на проведении исследований и снижении торговых барьеров в секторе редких металлов. Между тем США, также обеспокоенные справедливой торговлей, уделяют основное внимание обеспечению своих во-

22. Green Car Congress, «Report: METI, Toyota, Others to Ally to Develop Rare-Earth Recycling Tech», July 2012, www.greencarcongress.com/2012/07/ree-20120715.html.

23. Hiroshi Kawamoto and Wakana Tamaki, «Trends in Supply of Lithium Resources and Demand of the Resources for Automobiles», *Quarterly Review* 39, April (2011), www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/stfc/stto39e/q39pdf/STTqr3904.pdf. В Первую мировую войну Германия владела одной третьей добычи нитратов в Чили для производства взрывчатых веществ и удобрений, но поскольку Германия не контролировала морские коридоры, она не могла получить ресурсы. Alfred E. Eckes, *The United States and the Global Struggle for Minerals* (Austin: University of Texas Press, 1979), 13.

енных неограниченными запасами редких металлов. Многие страны создают запасы металлов по экономическим соображениям, но военные США накапливают их в целях обороны.

Оценить эффективность этих стратегий очень сложно, поскольку большинство из них являются долгосрочными — требуется много лет для того, чтобы понять, какие последствия имели изменения в исследованиях и торговой политике. Но вряд ли десятки миллионов долларов в год, потраченные на исследования, и кое-какие запасы смогут защитить страны от множества рисков. Сложно поверить и в то, что эти страны осознают важность обеспечения поставок ресурсов. В конце концов, как мы отметили в главе 8, в 1950-х годах правительство США выделило около 250 млн долларов на изучение титана. Это больше, чем затраты страны на все редкие металлы за последнее десятилетие.

За последние десять лет большинство крупнейших экономик и многие аналитические центры, специализирующиеся на ресурсах, проводили исследования на предмет того, какое значение для них имеют редкие металлы и к чему может привести ограничение их поставок. Хотя отдельные допущения и методологии разнятся, большинство из них рассматривает критические риски в двух плоскостях: важность конкретного материала для экономики и вероятность перебоев в поставках.

Если объединить все перечни рисков из каждого отчета, опубликованного за последнее десятилетие, окажется, что более половины элементов периодической таблицы Менделеева «критичны» для той или иной страны.²⁴ Соединенные Штаты опасаются нехватки тербия, Европейский союз считает, что под

24. David Abraham, «Geopolitics and Minor Metals», paper presented at the Minor Metals Metal-Pages Conference, Shanghai, China, September 2013.

угрозой находится сурьма, а Британия беспокоится о вольфраме — металле, который она продавала Германии во время Первой мировой войны. В зависимости от автора конкретного исследования степень риска оценивается по-разному — от совсем небольшого числа до 40% всех материалов. Эти различные результаты основаны на формате исследований и предположениях авторов о том, как оценивать риски. И они заметно отличаются друг от друга, предлагая слабый ориентир для представителей правительственных структур и руководителей компаний.

Некоторые исследователи опасаются нехватки таких металлов, как теллур, который может быть в дефиците; другие считают, что экономические или рыночные риски грозят ниобию, а диспрозий уязвим из-за «отсутствия аналогов».²⁵ Но насколько реалистичны эти оценки?

Несмотря на разнообразие подходов, исследования не позволяют сделать вывод о том, каких металлов недостаточно. Как прокомментировал один критик этих исследований: «Методология незрелая, и результаты вряд ли будут полезны для всех сторон, конечная цель которых заключается в обеспечении будущих поставок минералов».²⁶ Основная причина лежит в отсутствии данных о спросе и предложении.

Министерство энергетики США в своем докладе «Стратегия в отношении критически важных материалов» отмечает, что оно не может использовать традиционные экономические модели или анализ для прогнозирования спроса и предложения в от-

25. European Commission, «Defining „Critical“ Raw Materials — Raw Materials — Enterprise and Industry», accessed December 7, 2014, ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/critical/index_en.htm.

26. Henrike Sievers, Bram Buijs, and Luis A. Tercero Espinoza, «Limits to the Critical Raw Materials Approach», *Proceedings of the ICE: Waste and Resource Management* 165, no. 4 (2012): 201–8, doi:10.1680/warm.12.00010, in Gus Gunn, *Critical Metals Handbook*, American Geophysical Union and Wiley, paper.com/books/critical-metals-handbook/146308/A_9781118755211_co1. 2014.

ношении материалов, которые являются ключевыми для области чистой энергии, из-за сложностей в предсказании непредвиденных технологических прорывов.²⁷ Трудно, если не невозможно рассчитать типы и количество ветровых турбин, солнечных панелей и приливных энергетических систем, планируемых к производству, а также количество ресурсов, которые потребуются для них в течение двух последующих десятилетий. На самом деле исследовательские институты всегда плохо прогнозировали спрос даже на гораздо более очевидные ресурсы вроде угля.

Спрос на уголь должен быть предсказуем, поскольку уголь в основном используется для производства электроэнергии. Спрос зависит от производственных мощностей всех предприятий по сжиганию угля и от прогнозируемого экономического роста — чем быстрее рост, тем больше потребление угля. Несмотря на простоту прогнозирования спроса на уголь, Международное энергетическое агентство (МЭА) существенно недооценило использование угля в первом десятилетии 2000-х годов. В 2004 году МЭА спрогнозировало, что к 2030 году мировой объем потребления угля будет расти на 1,4% в год и достигнет примерно 3600 метрических тонн в нефтяном эквиваленте (мера, позволяющая сравнивать различные источники энергии). Однако к 2011 году в мире сжигалось 3700 метрических тонн черного топлива в нефтяном эквиваленте благодаря росту Китая и Индии. Если множество экспертов в МЭА не могут предвидеть спрос на уголь, предсказание спроса на каждый малый металл будет в лучшем случае догадкой, поскольку об этих материалах известно гораздо мень-

27. U.S. Department of Energy, *Critical Materials Strategy*, 1st ed., e-book (2010), 90, energy.gov/sites/prod/files/edg/news/documents/criticalmaterialsstrategy.pdf: «Рыночную динамику, которая влияет на ключевые для коммерциализации технологий чистой энергетики материалы, невозможно описать при помощи традиционных экономических моделей или простого экономического анализа».

ше, — и еще меньше о том, где и как они добываются и обрабатываются.²⁸

Роберту Яффе, физику-теоретику Массачусетского технологического института (MIT), который был одним из ведущих авторов-составителей доклада Американского физического общества и Общества исследований материалов в 2011 году под названием «Обеспечение материалов для новых технологий», сложно убедить скептически настроенных законодателей в том, что США не нужно быть независимыми от минералов. Независимы ли Соединенные Штаты от кофе, бананов или даже шафрана? — спросил меня Яффе. — Быть независимым от всего этого множества продуктов невозможно», — сказал он мне, добавив, что это дорого, потому что «бананы у нас не растут».²⁹

Яффе отчасти прав. США импортируют 86% всех потребляемых страной морепродуктов, хотя они контролируют больше мирового океана, чем любая другая страна.³⁰ Но жители в Соединенных Штатах не требуют независимости от рыбы. Пока в стране есть надежные и недорогие поставки морепродуктов,

28. World Energy Outlook for 2002 and 2004, Worldenergyoutlook.org. В World Energy Outlook за 1998 год используются миллионы тонн в угольном эквиваленте, которые были конвертированы в миллионы тонн в нефтяном эквиваленте с использованием собственного конвертера МЭА. См.: «IEA: Unit Converter», www.iea.org/stats/unit.asp; Maria van der Hoeven, Coal Medium-Term Market Report 2013, www.iea.org/Textbase/npsum/MTCOalMR2013SUM.pdf. Китай использовал 2806 млн тонн в угольном эквиваленте в 2012 году или 7500 метрических тонн. Hartmuth Zeiß, Global Coal: Trends and Outlook: What It Means for the EU? Thirteenth European Round Table on Coal, March 17, 2011; American Physical Society, «New APS-MRS Report: Energy Critical Elements — Developing New Technologies to Foster U.S. Energy Independence», 2011, www.aps.org/about/pressreleases/elements-report.cfm.

29. Robert Jaffe, interview by David Abraham, Cambridge, MA, February 21, 2013.

30. Источник статистических данных: National Marine Fisheries Service. Paul Greenberg, «Why Are We Importing Our Own Fish?» New York Times, June 20, 2014, nyti.ms/1pn57Fw.

имеет ли значение, откуда они взялись? Так почему мы должны быть независимыми от металлов? — удивляется Яффе. У этого вопроса нет четкого ответа.

Дело не в том, что Яффе не беспокоится о будущих поставках редких металлов. Когда в 2011 году произошел кризис редкоземов, он говорил о них, как о «хите сезона» из-за шумихи, возникшей только вокруг этого типа редких металлов. Яффе беспокоился и о поставках других важных материалов, в том числе теллура, германия и лития. «С множеством других элементов могут возникнуть проблемы в будущем», — сказал Яффе в своем выступлении перед членами конгресса в 2011 году.³¹

Яффе считает абсурдной идею, что Соединенные Штаты способны обеспечить свою ресурсную безопасность. Но он противится давней популистской одержимости ресурсной независимостью в Америке.³² Чувство опоры на свои силы у США отсылает к первопроходцам, которые шли на Запад в поисках природных ископаемых, от золота до угля, когда у страны не было недостатка в необходимых ей ресурсах. Только в начале прошлого века американцы начали приобретать ресурсы за рубежом.³³

Соединенные Штаты по-прежнему сохраняют тенденцию к самодостаточности и обладают бóльшим

31. David Kramer, «Rare-Earth Metals Shortage Eases, for Now», *Physics Today*, 2011, scitation.aip.org/content/aip/magazine/physicstoday/news/10.1063/PT.4.0573, doi:10.1063/pt.4.0573; «Testimony of Dr. Robert Jaffe», before the Energy and Environment Subcommittee of the House Science Committee, 2011, science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/hearings/120711_Jaffe.pdf.

32. Kramer, «Rare-Earth Metals Shortage Eases».

33. Как сказал в 1920 году американский геолог Джосая Спэрр: «Наши собственные обширные запасы полезных ископаемых настолько обильны, что до недавнего времени американский капитал и предпринимательство не считали необходимым прибегать к внешнему миру, как это давно уже сделали европейские народы». Josiah Spurr, *Political and Commercial Geology and the World's Mineral Resources* (New York: McGraw-Hill, 1920), vi.

количеством ресурсов, чем другие страны, но они упорно верят в свободный рынок. Рынок распределяет ресурсы и капитал; правительство не должно выбирать победителей. Вот почему в 2011 году, когда Solyndra, производитель солнечных панелей, обанкротился даже после получения субсидий от федерального правительства, президент Обама столкнулся с негативной реакцией консервативного крыла конгресса.³⁴ Перед американскими политиками стоит непростой выбор: самодостаточность в ресурсах или свободный рынок.

В отсутствие государственного вмешательства денежные инвестиции в месторождения полезных ископаемых будут наиболее продуктивными. В отношении многих металлов эти месторождения находятся не в Соединенных Штатах. Как отмечает Яффе, самодостаточность требует немалых затрат. Но конгрессмены, более озабоченные национальной безопасностью, чем экономикой, его аргументы оставляют без внимания.

Хотя военные США используют ограниченное количество редких металлов (всего 5% всех редкоземельных элементов, потребляемых в Соединенных Штатах), потребности военных служат основным драйвером политических дискуссий США в области ресурсов. «Консенсуса в отношении того, что считать стратегическими и критическими материалами, не существует. Но мы все хорошо знаем о поведении Китая, — сказал мне один сотрудник Комитета природных ресурсов.³⁵ И добавил: — Трудно привлечь внимание конгресса к проблемам, связанным с минералами, если они не рассматриваются в аспекте безопасности или стратегической важности».

34. Joe Stephens and Carol D. Leonnig, «Solyndra: Politics Infused Obama Energy Programs», *Washington Post*, December 14, 2010, www.washingtonpost.com/solyndra-politics-infused-obama-energy-programs/2011/12/14/gIQA4H1HP_story.html.

35. Jeff Phillips, telephone interview by David Abraham, November 8, 2013.

Вместо того чтобы принимать законы о защите природных ресурсов, конгресс использует озабоченность по поводу поставок редких металлов в качестве способа вновь обсудить давнишние конфликты, связанные с горной добычей, окружающей средой и землепользованием. На самом деле конгресс не мог даже дать определение критическим материалам. Председатель комитета «Док» Гастингс отметил, что при таком определении возможен сценарий, когда основные материалы, такие как песок и гравий (вряд ли стратегические), окажутся недоступными для экстренного строительства.

Без каких-либо решений со стороны конгресса правительство предприняло скромные усилия по расширению исследований по разработке альтернативных материалов для замены редких металлов более глубокому изучению рынков редких металлов и продолжению увеличения запасов для целей обороны.³⁶ Несмотря на манипулирование и некоторые усилия по обеспечению доступа к редким металлам, многие из этих усилий упускают из вида более широкую картину. Учитывая такое количество редких металлов разной степени чистоты, которые входят в многочисленные компоненты, обеспечение поставок редких металлов — сложная задача.

Для удовлетворения растущих потребностей мир нуждается в более устойчивых цепочках поставок малых металлов. Шаги по сокращению зависимости от редких металлов создают возможности в странах

36. В 1994 году запасы США состояли из девяноста сырьевых материалов. Пятнадцать лет спустя, в 2009 году, это число снизилось до двадцати четырех, потому что Соединенные Штаты распродали свои запасы. Теперь, в 2014 году, Соединенные Штаты увеличивают свои запасы, но при нынешнем сокращении расходов правительство США вряд ли выделит миллиарды долларов на накопление ресурсов. Committee on Armed Services, House of Representatives, *Hearing: Proposed Reconfiguration of the National Defense Stockpile*, 1st ed., e-book (Washington, DC, 2009), www.hsdl.org/?view&doc=112062&coll=limited.

с налаженными поставками. И это имеет глубокие экономические последствия.

В докладе Яффе содержалось предостережение, что нехватка критически важных металлов «может значительно затормозить внедрение новаторских энергетических технологий. Это, в свою очередь, ограничит конкурентоспособность промышленных отраслей США и отечественных научных проектов и в конечном итоге снизит качество жизни в Соединенных Штатах». Но угрозы для экономического здоровья нации более серьезны в долгосрочной перспективе.

Три исследователя из Университета Карнеги–Меллона продемонстрировали, что инновации США в области редкоземельных магнитов резко сократились, когда американские редкоземельные отрасли мигрировали в Китай.³⁷ Лишенные поставок сырья, американские исследователи стали меньше заниматься изучением редкоземельных материалов. Между тем азиатские страны расширили свой экспертный потенциал.

Не следует недооценивать перемещение исследовательских рабочих мест в страны с наиболее технологически перспективными материалами. Это большая экономическая проблема, поскольку редкие металлы «лежат» в основе будущих устойчивых отраслей, таких как «зеленые» технологии.

Около 4% всех патентов США, выпущенных в период между 1986 и 2013 годами, касаются редкоземельных элементов. Если добавить количество патентов, связанных с молибденом и вольфрамом, двумя другими малыми металлами, фигурировавшими в торговом иске, поданном США в 2012 году, который Китай проиграл, это число вырастет почти

37. Brian J. Ficarek, Francisco M. Veloso, and Cliff I. Davidson, «Offshoring Technology Innovation: A Case Study of Rare-Earth Technology», *Journal of Operations Management* 26, no. 2 (2008): 222–38, doi:10.1016/j.jom.2007.02.013.

вдвое.³⁸ Учитывая столь малое количество профессионалов в этой области, Соединенные Штаты теряют экспертные навыки для разработки собственных ресурсов и отдают будущие технологические достижения другим странам.

Университеты США также не обеспечивают достаточное количество ученых, необходимых в век редких металлов. Лука Эрсег, основатель компании по добыче лития *Symbol Materials*, заявил, что, поскольку ни один американский университет не готовит специалистов по геотермальной энергии, ему потребовался почти год, чтобы найти квалифицированных кандидатов.³⁹

США уже стали свидетелями подобного падения в атомной отрасли. Когда-то мировой лидер в области технологий, в настоящее время США пытаются вернуть себе ту позицию, которую они потеряли в начале 1980-х годов.⁴⁰ Японские власти находятся в таком же положении. Один представитель сокрушался, что страна теряет свою компетенцию в полировке стекла, необходимую при производстве высококачественных линз, поскольку компании покидают Японию из-за проблем с дефицитом редкоземельных металлов. Япония быстро отреагировала на запрет Китая на экспорт редкоземельных металлов в 2010 году, поскольку Япония — крупнейший в мире рынок импорта редкоземельных металлов для своей высокотехнологичной и тяжелой промышленности.

38. Источник статистических данных: U. S. Patent Office, patft.uspto.gov.

39. Manuel Quinones, «Push to Rebuild Depleted U. S. Workforce Begins in the Classroom», February 13, 2012, E&E, www.eenews.net/stories/1059959839.

40. Center for Strategic and International Studies Nuclear Energy Program, *Restoring U. S. Leadership In Nuclear Energy: A National Security Imperative* (Lanham, MD: Roman and Littlefield, 2013), available at csis.org/files/publication/130614_RestoringUSLeadershipNuclearEnergy_WEB.pdf. Ядерная авария на АЭС Три-Майл-Айлэнд в 1978 году считается катализатором перемен в области ядерного развития США.

С другой стороны, нынешний недостаток высокотехнологичного производства в Соединенных Штатах, по-видимому, позволяет стране сохранять относительную независимость от китайских ресурсов.

Эта ситуация может быстро измениться. Соединенные Штаты начинают возвращать домой производства, ранее выведенные за рубеж. Возьмем решение Apple в 2013 году начать производство компьютеров на заводе в Техасе впервые с 2004 года. Этому примеру последовали и другие компании, такие как General Electric и Caterpillar. Фактически, согласно исследованию Boston Consulting Group, проведенному в 2014 году, 16% крупных компаний переводят свои предприятия обратно в США, за два года увеличив этот показатель более чем в два раза. По мере того как все больше технологий переезжают обратно в Соединенные Штаты, а «зеленые» технологические компании процветают в пределах страны, Вашингтон, подобно Токио, со временем станет осознавать все большую важность цепочки поставок редких металлов, а также связанные с ними опасности.⁴¹

Политический ответ на растущий спрос на редкие металлы не очевиден, и он не может просто любой ценой стимулировать производство ресурсов внутри страны. Как отмечается в отчете Яффе, ставка на импорт выгодна США, «если иностранные источники многочисленны, расположены в разных стра-

41. Juliette Garside, «Apple Creates 2,000 Jobs Shifting Production Back to US», *Guardian*, November 5, 2013, www.theguardian.com/technology/2013/nov/05/apple-creates-us-jobs-renewable-energy; Mark Crawford, «Manufacturing in America: Bigger, Better and Bolder», *Area Development*, Q1 2014, www.areadevelopment.com/manufacturing-industrial/Q1-2014/US-manufacturing-upswing-innovation-productivity-11278770.shtml; Boston Consulting Group, «U. S. Executives Remain Bullish on American Manufacturing, Study Finds», 2014, www.bcg.com/media/pressreleasedetails.aspx?id=tc-cm:12-174453; Antoine van Agtmael and Fred Bakker, «Made in the U.S.A. (Again)», *Foreign Policy*, March 28, 2014, foreignpolicy.com/2014/03/28/made-in-the-u-s-a-again/.

нах и способны поставлять сырье по более низкой цене, чем внутренние альтернативы». США необходимо оставаться предусмотрительными, говорится в докладе, потому что даже если часть этих «зеленых» энергетических применений получит дальнейшее развитие, геологическая скудность, длительные сроки налаживания цепочек поставок и сложные методы обработки редких металлов могут привести к тому, что их может не хватить для удовлетворения спроса.

«История на стороне поиска новых источников», — говорит Яффе, имея в виду, что инвестиционные деньги идут на поиск новых месторождений, когда цены на металл высоки, «но я боюсь, что этот аргумент может не сработать в отношении этих материалов».

Но это в случае, если у нас нет плана.

Как достичь процветания в век редких металлов

В 1970 ГОДУ на наших рабочих столах размещались желтые блокноты, пишущие машинки и лотки для бумаг, а не иконки программ. Хотя компьютеры на обычном столе еще не появились, ресурсные изменения были не за горами. Centronics представила матричный принтер, Intel начала продавать микрочипы, а программисты только что отправили первое электронное сообщение на ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) — предшественник современного интернета. Спустя несколько лет Джордж Пэйк, возглавлявший Исследовательский центр корпорации Херох, предсказал, что к 1995 году телевизоры, подключенные к клавиатурам на офисных столах, прозвучат погребальным звоном по бумаге. «Я смогу вызывать документы из своих файлов на экран голосом или нажав кнопку, — говорил он. — Я смогу получать почту и любые сообщения. Не знаю, много ли еще бумажных копий мне понадобится». Как оказалось, очень много.¹

1. «Definition of: Centronics Interface», *PC Magazine*, accessed December 19, 2014, www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,1237,t=Centronics+interface&i=57167,00.asp; Michelle Kessler, «First Internet Message Sent 40 Years Ago Today», *USA Today*, October 29, 2009, accessed December 19, 2014, content.usatoday.com/communities/technologylive/post/2009/10/620000700/1#.T_JppvXueSo. Журнал *Administrative Management* предсказывал, что «к концу 1970-х мы должны были выбраться из колеи Гутенберга, что должно было оказать глубокое влияние на использование ре-

Несмотря на все высокотехнологичные гаджеты, которые должны были снизить потребность в бумаге, со времен Пэйка использование бумаги в Америке почти удвоилось. Сейчас мы потребляем больше бумаги, чем когда-либо: 400 млн тонн по всему миру, и эти цифры растут. Это примерно килограмм бумаги на одного офисного сотрудника в день.²

Бумага — не единственный ресурс, который мы стали использовать в больших объемах. Технологические достижения часто обещают, что материалов будет использоваться меньше, но историческая реальность такова, что они требуют использовать больше материалов, делая нас зависимыми от все увеличивающегося количества природных ресурсов. В настоящее время в мире потребляется гораздо больше «материала», чем когда-либо. Мы используем в 34 раза больше строительных материалов, таких как камень и цемент, и в 27 раз больше руды и промышленных мате-

сурсов». «Management and the Information Revolution», *Administrative Management* 31, no. 1 (January 1970), цит. по: Gil Press, «The Paperless Office of the Future, Still», *The Story of Information*, 2011, infostory.com/2011/09/06/the-paperless-office-of-the-future-still/. Пять лет спустя в журнале *Business Week* впервые появился термин «бесбумажный офис», подытоживая мнение о том, что дни бумаги сочтены. «The Office of the Future», *Bloomberg Business Week*, June 30, 1975, accessed December 19, 2014, www.businessweek.com/stories/1975-06-30/the-office-of-the-futurebusiness-week-business-news-stock-market-and-financial-advice. В той же статье Винсент Э. Джулиано из консалтинговой компании Arthur D. Little выразился в том же духе, сказав, что в 1980-х годах использование бумаги в деловом мире сократится, «а к 1990 году большая часть документооборота будет электронной»

2. United Nations Statistics Division, «United Nations Statistics Database», accessed December 19, 2014, unstats.un.org/unsd/databases.htm; Michael Saylor, *The Mobile Wave: How Mobile Intelligence Will Change Everything* (New York: Vanguard Press, 2012). К 2020 году этот показатель вырастет на 20%, до 500 млн тонн. Forest Industries, «Global Paper Consumption Is Growing: Paper and Pulp Industries — Paper, Paperboard and Converted Products», July 10, 2013, accessed December 19, 2014, www.forestindustries.fi/industry/paper_cardboard_converted/paper_pulp/Global-paper-consumption-is-growing-1287.html.

риалов, таких как золото, медь и редкие металлы, чем это было чуть более века назад. Кроме того, каждый из нас использует больше ресурсов. Сегодня человек потребляет в 10 раз больше минералов, чем на рубеже XIX–XX веков.³ В значительной степени это связано с нашим высокотехнологичным стилем жизни.

В 1980-х годах американцы собирались вокруг телевизора или игровой системы Atari. Сегодня развлекательные системы, использующие плоские экраны, подключаются к цифровым видеорекордерам, колонкам и игровым системам, снабженным камерами и датчиками движения. Кассетные проигрыватели и граммофоны прошлых лет были сданы в антикварные магазины, но многие новые товары дополнили существующие, а не сделали их устаревшими. Микроволновая печь произвела революцию на кухне в западных странах, но она не заменила плиту, духовку или гриль. Подобным образом, поскольку планшетный компьютер и смартфон синхронизируются друг с другом, мы считаем их взаимодополняющими устройствами, несмотря на близкую функциональность. У американцев, похоже, нет проблем с этой избыточностью: уже в 2013 году более трети американцев имели планшет, ноутбук и смартфон.⁴ Это говорит о том, что американцы покупают множество гаджетов. По данным Ассоциации бытовой электроники, средняя американская семья владеет 28 различными электронными устройствами, не считая кухон-

3. Ernst Ulrich von Weizsäcker et al., «Decoupling 2 Technologies, Opportunities and Policy Options», United Nations Environment Programme, 2014, www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/IRP_DECOUPLING_2_REPORT.pdf; «Growth in Global Materials Use, GDP and Population during the 20th Century: Online Global Materials Extraction 1900–2009 (update 2011)», Social Ecology Vienna, 2009, accessed December 19, 2014, uni-klu.ac.at/socec/inhalt/3133.htm; von Weizsäcker et al., «Decoupling 2 Technologies».

4. *Deloitte Digital Democracy Survey*, 8th ed. (e-book, 2014), www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-deloitte-digitaldemocracy_102014.pdf.

ной техники, электроинструментов или стиральных машин.⁵

Для того чтобы найти подтверждение этой модели глобального потребления, достаточно просто взглянуть на наш мусор. Количество электронных отходов, производимых в мире, растет примерно на 17% в год, хотя общий объем сбора отходов в некоторых странах выровнялся.⁶ В скором времени нам придется избавляться более чем от 1 млрд компьютеров в год. Это связано не только с тем, что у нас стало больше таких устройств, но и с тем, что мы используем их весьма недолго. Средний жизненный цикл смартфона составляет около 22 месяцев. Аналогично срок эксплуатации ноутбуков, планшетов и многих других наших высокотехнологичных гаджетов — менее трех лет. Это происходит не потому, что товар становится непригодным к использованию, когда мы его выбрасываем, а потому, что он устаревает, как правило, из-за своей конструкции.⁷

iFixit, сайт, посвященный ремонту этих не подлежащих восстановлению высокотехнологичных гаджетов, отмечает: «Apple зарабатывает миллиарды, про-

5. Laura Hubbard, Consumer Electronics Association, e-mail, January 31, 2014.

6. По оценкам, темпы роста с 2011 по 2015 год составили 17,2%. «Global E-Waste Management Market (2011–2016)», Markets and Markets, 2011, accessed December 19, 2014, www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/electronic-waste-management-market-373.html; U.S. Environmental Protection Agency, *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2012*, www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/2012_msw_fs.pdf; von Weizsäcker et al., «Decoupling 2 Technologies».

7. «Toxic Computer Waste in the Developing World», ScienceDaily, June 3, 2014, accessed December 19, 2014, www.sciencedaily.com/releases/2014/06/140603114327.htm; Andy Walton, «Life Expectancy of a Smartphone», *Small Business*, accessed December 19, 2014, smallbusiness.chron.com/life-expectancy-smartphone-62979.html. О среднем сроке службы смартфона. David Pogue, «Should You Upgrade Your Phone Every Year?—Not Anymore», *Scientific American*, August 20, 2013, accessed December 19, 2014, www.scientificamerican.com/article/should-you-upgrade-your-phone-every-year-not-anymore/.

давая нам оборудование со встроенным механизмом, который отсчитывает часы до своей смерти», имея в виду встроенный аккумулятор, который, по мнению iFixit, начинает терять заряд, как только заканчивается гарантия. Чтобы заменить аккумулятор в смартфоне, вы должны либо пойти в магазин Apple, либо отправить телефон в Apple по почте вместе с чеком на 80 долларов. Поскольку немногие готовы отказаться от своего телефона на срок, который требуется для ремонта, они, скорее всего, купят обновленную версию смартфона. Вдобавок к этому американские компании мобильной связи институционализируют потребление малых металлов, предлагая новый «бесплатный» телефон каждые полгода.⁸ Из-за этого жизненный цикл товаров теперь измеряется месяцами, а не годами. И это оказывает значительное влияние на использование наших ресурсов.

Согласно отраслевому исследованию, проведенному в Японии, в 1970-х годах жизненный цикл среднего товара составлял пять лет, а около 80% всех используемых в нем материалов, — не менее трех лет. Сразу после наступления нового тысячелетия эта динамика кардинально изменилась. Двадцать процентов всех товаров выбрасывалось через год, а половина — менее чем через два года.⁹

8. «Apple's Latest „Innovation“ Is Turning Planned Obsolescence into Planned Failure», iFixit Blog, January 20, 2011, accessed December 19, 2014, www.ifixit.com/blog/2011/01/20/apples-latest-innovation-is-turning-planned-obsolence-into-planned-failure/; Apple, «iPhone Support — Screen Damage», iPhone Screen Damage Repair, accessed May 19, 2014, www.apple.com/support/iphone/repair/screen-damage/; Brian Clark Howard, «Planned Obsolescence: 8 Products Designed to Fail», *Popular Mechanics*, accessed December 19, 2014, www.popularmechanics.com/technology/planned-obsolence-460210#slide-8. По состоянию на январь 2014 года план T-Mobile позволяет обновлять телефоны каждые полгода. *Sprint* завершил свою программу ежегодных обновлений в январе 2014 года. T-Mobile, «iPhone 6 Is Here: Phone Upgrade Anytime», accessed May 7, 2014, t-mo.co/IsMUCCI.

9. Tatsuo Ota, Lecture at the Metal Bulletin Events Asian Ferro-alloys Conference, «Trade and overseas investments in the chrome, nickel

Кроме того, сегодня потребителям гораздо проще покупать много высокотехнологичных товаров, потому что они дешевле (а в некоторых случаях значительно дешевле) других товаров, таких как продукты питания. С начала 1980-х годов потребительские цены на телевизоры и другое видеооборудование упали более чем на 90%. Но эти тенденции еще не касаются того, что может оказаться главной причиной использования ресурсов редких металлов, — технологий будущего.¹⁰

С помощью щепотки редких металлов Роберт Тенент, старший научный сотрудник Национальной лаборатории по возобновляемым источникам энергии в Голдене, штат Колорадо, превращает простое стекло в высокотехнологичные окна. Окна Тенента позволяют солнечному свету, а не теплу проходить сквозь стекло или, наоборот, солнечному теплу, но не свету. Иногда окна могут устранить и то и другое: щелкните переключатель, и в течение пяти минут они потемнеют. Эти окна служат частично шторами, частично изоляцией и, конечно, основаны на передовых технологиях. Секреты Тенента кроются в нескольких граммах вольфрама и индия.¹¹

Его окна стоят в витринном здании его лаборатории — офисе площадью 33 445 квадратных метров, который не использует внешних источников электропитания, поэтому поддержание прохладной температуры летом и теплой — зимой крайне важно.

and manganese markets from Japan», March 25–27, 2009; unnamed Mitsubishi corporate employee, interview by David Abraham, Tokyo, Japan, November 9, 2011.

10. Malik Crawford and Jonathan Church, eds., «CPI Detailed Report Data for January 2014», Bureau of Labor Statistics, www.bls.gov/cpi/cpid1401.pdf.
11. Rob Tenent, interview by David Abraham, Golden, CO, July 13, 2013; Devin Powell, «Smart Glass Blocks Heat or Light at Flick of a Switch», Nature, August 14, 2013, www.nature.com/news/smart-glass-blocks-heat-or-light-at-flick-of-a-switch-1.13558; Tenent, interview, July 13, 2013.

Окна Тенента хороши не только для лаборатории; они имеют прекрасную «зеленую» перспективу: замена старых окон может сэкономить до 4% всей энергии, потребляемой в США. Но в то же время эти окна будут представлять собой огромную нагрузку на каналы поставок редких металлов, потому что в одних только США более 1813 квадратных километров традиционных окон. С ростом спроса на эти окна наступит следующий этап века редких металлов, когда инфраструктура, которая лежит в основе нашей современной жизни, станет высокотехнологичной — это парк электрических автобусов, дороги, построенные из солнечных панелей, или лифты, которые работают на магнитах вместо кабелей. Майкл Силвер, главный исполнительный директор материаловедческой компании American Elements, говорит мне: «Вентиль [идей] раскручен на полную. Начинаешь видеть в действии астрономические объемы используемых материалов последних десяти лет».¹²

Современные инновации включают в себя не только новые продукты производства, но и существующие технологии, используемые по-новому. Представьте себе стены внутри спальни, облицованные плоскими панелями, которые меняют цвет в зависимости от вашего настроения. Или «зеркала» в ванной комнате, которые отображают жизненные показатели вашего тела, собранные с датчиков и камер по всему дому. Компания General Electric представляет, как может выглядеть кухня будущего, спроектированная вокруг хаба с панелью для приготовления пищи, в которой используются функции голоса, движения и распознавания лиц, чтобы вы могли по-

12. National Renewable Energy Laboratory, «Research Support Facility», January 9, 2014, www.nrel.gov/sustainable_nrel/rsf.html; GreenBiz, «NREL Opens State-of-the-Art Net-Zero Energy Facility», July 8, 2010, www.greenbiz.com/news/2010/07/08/nrel-opens-state-art-net-zero-energy-facility; Powell, «Smart Glass Blocks Heat;» Michael Silver, telephone interview by David Abraham, March 13, 2014.

делиться с другими через интернет своими кулинарными творениями.¹³

Может показаться, что нам еще далеко до таких новшеств, но чтобы представить себе, с какой скоростью могут развиваться новые технологии, вспомните смартфон. Всего через четыре года после его появления 6% мирового населения стали его владельцами, что сделало такие телефоны одной из самых быстрорастущих технологий. Несколько лет спустя планшет совершил такой же скачок за срок в два раза более короткий, и теперь почти половина всех американцев может похвастаться этим гаджетом. Такой уровень проникновения технологий создает новые нормы и увеличивает использование редких металлов. Согласно отчету Cisco, американской компании, специализирующейся на сетевом оборудовании, в 2010 году более 12,5 млрд устройств были подключены к интернету. К 2020 году это число вырастет в четыре раза и достигнет 50 млрд. Межсетевое взаимодействие будет стимулировать спрос на редкоземельные металлы не только для самих товаров, но и для инфраструктуры, которая снабжает их энергией. Это особенно справедливо для новых «зеленых» технологий.¹⁴

13. David Szondy, «GE Reveals Vision for Homes of the Not-Too-Distant Future», October 13, 2013, www.gizmag.com/ge-future-home-2025/29282; General Electric, «Home 2025: GE Envisions Home of the Future», www.geappliances.com/home2025/.

14. «Материальные требования на единицу генерируемой энергии в случае с низкоуглеродными технологиями могут быть выше, чем для генерирования энергии при помощи обычного ископаемого топлива: в 11–40 раз больше меди для фотоэлектрических систем и в 6–14 раз больше железа для ветровых турбин». E. Hertwich, E. van der Voet, S. Suh, A. Tukker, M. Huijbregts, P. Kazmierczyk, M. Lenzen, J. McNeely, and Y. Moriguchi, «Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials», A report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Resource Panel, United Nations Environment Programme, 2010, www.greeningtheblue.org/sites/default/files/Assessing%20the%20environmental%20impacts%20of%20consump-

В то время как богатые страны используют больше редких металлов, скорость, с которой развивающиеся страны сокращают технологический разрыв, беспрецедентна. Например, в 1995 году только 7% городских жителей Китая имели холодильники, 12 лет спустя это число выросло до 95%.¹⁵

Национальный разведывательный совет правительства США прогнозирует, что за следующие два десятилетия численность среднего класса во всем мире может вырасти почти втрое, или на 2 млрд человек, что эквивалентно населению примерно двух Китаяв или шести Америк. «Такой взрыв приведет к битвам за сырье и промышленные товары», — говорится в отчете совета за 2012 год. Добавьте к этому наш глобальный запрос на поиск альтернативной «зеленой» энергии — и спрос на редкие металлы взмоет до небес. Между тем, согласно Японскому институту металлов, потребность в редких металлах, таких как кобальт, вольфрам и литий, к 2050 году вырастет примерно в пять раз и превзойдет наши текущие запасы многих из них.¹⁶

tion%20and%20production.pdf; John Heggstuen, «One in Every 5 People in the World Own a Smartphone, One in Every 17 Own a Tablet», Business Insider, December 15, 2013, www.businessinsider.com/smartphone-and-tablet-penetration-2013-10; Pew Research Center Internet American Life Project, «Device Ownership over Time», November 13, 2013, www.pewinternet.org/data-trend/mobile/device-ownership/; Dave Evans, «The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything», CISCO, April 2011, www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf.

15. Nicola Twilley, «What Do Chinese Dumplings Have to Do with Global Warming?» New York Times, July 26, 2014, www.nytimes.com/2014/07/27/magazine/what-do-chinese-dumplings-have-to-do-with-global-warming.html.
16. National Intelligence Council, «Global Trends 2030: Alternative Worlds», December 1, 2012, accessed December 19, 2014, www.dni.gov/index.php/about/organization/global-trends-2030; Kohmei Halada, Masanori Shimada, and Kiyoshi Ijima, «Forecasting the Consumption of Metals up to 2050», *Journal of the Japan Institute of Metals* 71, no. 10 (2007): 831–39.

Грядущий кризис ресурсов повышает вероятность того, что богатые ресурсами страны будут использовать свои собственные ресурсы, которые становятся все более ценными, для получения стратегических и экономических преимуществ. Это предвещает напряженные столкновения между отдельными компаниями и странами, поскольку эти страны продолжают ужесточать контроль над металлами, или, что еще хуже, снова могут сократить торговлю редкими металлами. Такое масштабное использование ресурсов пугает Роджера Аньелли, бывшего президента и генерального директора горного гиганта Vale. Как он сказал мне в 2013 году: «Реальность такова, что планета слишком мала для того числа жителей, которые будут жить на ней в 2025 году. По мере того как технологии дешевеют, потребности в ресурсах растут, и значит, мы столкнемся с изменениями в геополитике. Такова реальность».¹⁷

И все же я бы сказал, что ответом на наши опасения по поводу редких металлов не должен стать отказ от их использования из-за наших геополитических страхов. Скорее, стоит увеличить поиск ресурсов, использовать их более эффективно и совершенствовать наши знания в области геологии, металлургии и материаловедения.

Чтобы справиться с потенциальным дефицитом ресурсов, мы должны учитывать разные аспекты поставок малых металлов. Весь мир и каждая страна в отдельности нуждаются в надежном снабжении достаточным количеством ресурсов при минимальном воздействии на окружающую среду и через устойчивые каналы поставок. Поэтому нам нужно превратить редкие металлы в товары: мы должны стремиться сделать их более дешевыми, более доступными и производить их с наименьшими последствиями для

17. Roger Agnelli, interview by David Abraham, São Paulo, Brazil, May 6, 2013.

окружающей среды. Международные усилия в этом вопросе будут иметь решающее значение, в том числе для расширения, понимания и улучшения материального развития и потоков, инвестирования в образование, связанное с использованием и сохранением ресурсов, и изменения механизмов регулирования, чтобы лучше управлять запуском новых горнодобывающих проектов.

В век редких металлов нам нужно либо научиться лучше прогнозировать будущее, либо создать надежные цепочки поставок для тех редких металлов, которые могут быть востребованы (или и то и другое вместе). Однако достижения наших экспертов в прогнозировании технологического будущего, мягко говоря, не слишком убедительны.

- «Телевидение не сможет удержаться на рынке более полугода. Люди быстро устанут смотреть на фанерную коробку», — Дэррил Занук, основатель Twentieth Century Pictures (1946).¹⁸
- «Нет причин, по которым кто-то хотел бы иметь компьютер в своем доме», — Кен Олсен, основатель Digital Equipment Corporation (1977).¹⁹
- «Я предсказываю, что интернет... вскоре эпически вспыхнет сверхновой, а в 1996 году потерпит катастрофическое крушение», — Роберт Меткалф, основатель 3Com и Ethernet (1995).²⁰

Поскольку мы не знаем, какое изобретение ожидает успех, мы не можем оценить, и какой из редких

18. Gordon Gable, «Top 10 Bad Tech Predictions», *Digital Trends*, November 4, 2012, accessed December 19, 2014, www.digitaltrends.com/features/top-10-bad-tech-predictions/4/#ixzz2s4mjo7iC.

19. Erin Skarda, «Top 10 Failed Predictions», *Time*, October 21, 2011, accessed December 20, 2014, content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,2097462_2097456_2097467,00.html.

20. Bob Metcalfe, «From the Ether: Predicting the Internet's Catastrophic Collapse and Ghost Sites Galore in 1996», *Info World*, December 4, 1995, bit.ly/1AlCm3B.

металлов будет особенно востребован. Тридцать лет назад диспрозий применялся редко. Теперь, отчасти благодаря его использованию в магнитах, без него невозможно представить нашу новую высокотехнологичную жизнь. Галлий, из-за своей низкой температуры плавления, может оказаться полезным в 3D-печати, которая станет чем-то типа домашнего производства. Или гадолиний, родственник элемент диспрозия, который в течение долгого времени был многообещающим материалом для генерирования энергосберегающего охлаждения в магните. Эта технология в будущем может революционизировать рынок холодильников, сделав этот прибор доступным для миллиардов людей, у которых его нет. Либо она может навсегда так и остаться технологией будущего.²¹

Вместо того чтобы предсказывать будущее, мы должны подготовиться к нему. И для этого нам нужно больше таких людей, как Тору Окабе. Окабе — профессор материаловедения в Токийском университете, который настолько очарован титаном, что раздает его в качестве подарков. Когда мы встретились на конференции в Южном Китае, он протянул мне небольшой запечатанный мешочек с маленькой титановой спиралью, чтобы объяснить концепцию памяти формы. (Он сказал мне, что, если растянуть спираль, она вернется к своей первоначальной форме, что делает титан полезным, например, в стеклянных рамах.) Титан — не просто игрушка для материаловедов, он

21. K. Binnemans, P. T. Jones, K. Acker, B. Blanpain, B. Mishra, and D. Apelian, «Rare-Earth Economics: The Balance Problem», JOM, 2013, www.kuleuven.rare3.eu/wp-content/plugins/rare/images/papers/binnemans_jom_2013.pdf; Molycorp, «Advanced Communications», accessed December 19, 2014, www.molycorp.com/technology/green-element-technologies/advanced-communications; APS Physics, «New Prototype Magnetic Refrigerators Hold Commercial Promise», accessed December 19, 2014, www.aps.org/publications/apsnews/200305/refrigerators.cfm; Binnemans et al., «Rare-Earth Economics: The Balance Problem».

имеет множество применений, и если бы он был менее дорогим, то трансформировал бы наши потребности в ресурсах, потому что титан прочнее стали, легче ее на 45% и устойчив к коррозии.²²

Сложность, связанная с титаном, четвертым по распространенности металлом в земной коре, заключается в том, что его дорого производить из-за высоких температур, необходимых для обработки, что делает его экологически опасным. Окабе стремится повысить эффективность обработки титана и сделать его более доступным. Если он преуспее, малая толика титана может заменить сталь в мостах, зданиях и даже инструментах. Титан может стать «зеленой» альтернативой. Для продукции, в которой вместо стали будет использоваться титан, потребуется меньше металла, что приведет к уменьшению горных работ и значительно сократит выбросы углекислого газа.

У Окабе есть преимущества в сравнении с другими исследователями. Он живет в Японии, и его университет получает некоторую поддержку со стороны государства, в то время как большинству металлургов в других странах повезло меньше. В Соединенных Штатах, из-за закрытия правительством Бюро шахт в 1995 году, профессор Колорадской школы горного дела Патрик Тейлор практически не имел возможности привлекать государственное финансирование для исследований добывающей металлургии. Поэтому он все чаще вынужден сотрудничать с зарубежными

22. American Chemical Society, «Toward Lowering Titanium's Cost and Environmental Footprint for Lightweight Products», December 18, 2013, accessed December 19, 2014, www.acs.org/content/acs/en/pres-room/presspac/2013/acs-presspac-december-18-2013/toward-lowering-titaniums-cost-and-environmental-footprint-for-lightweight-products.html; America's Navy, «Future Naval Force May Sail with the Strength of Titanium», April 3, 2012, www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=66264; Minor Metals Trade Association, «Minor Metals in the Periodic Table», accessed December 19, 2014, www.mmta.co.uk/metals/Ti.

ми фирмами.²³ Финансовая поддержка имеет крайне важное значение, но так как отрасль ориентирована на конечный результат, корпоративные спонсоры не заинтересованы в экспериментальных исследованиях, то есть той работе, которая, по словам Тейлора, расширяет границы, — исследования, которые могут действительно революционизировать отрасль. Для Тейлора поддержка правительства США была бы хорошим подспорьем. Кроме того, согласно оценкам аналитиков, государственная поддержка в области физики и химии является наилучшим прогнозом экономического роста во многих странах и может приносить до 10 долларов на каждый доллар, инвестированный в изучение материалов.²⁴

Помимо экономического роста, миру необходимо больше университетских программ в области горного дела, металлургии и материаловедения для восполнения недостатка специалистов в горнодобывающей и металлообрабатывающей отраслях. Они нужны для столь востребованных научных открытий. Усиление государственной поддержки очень важно, но этого недостаточно.

К сожалению, наши самые лучшие и блестящие ученые, имеющие степень в материаловедении и физике, не занимаются исследованиями. Они уезжают в Кремниевую долину или на Уолл-стрит, говорит мне Элиза Алонсо, бывший научный сотрудник

23. Колорадская школа горного дела получила финансирование от правительства США после того, как два года назад правительство создало Центр критических материалов.

24. Klaus Jaffe, Mario Caicedo, Marcos Manzanares, Mario Gil, Alfredo Rios, Astrid Florez, Claudia Montoreano, Vicente Davila, and Alejandro Raul Hernandez Montoya, «Productivity in Physical and Chemical Science Predicts the Future Economic Growth of Developing Countries Better than Other Popular Indices», *PLoS ONE*, no. 6 (2013): E66239, available at www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0066239#pone-0066239-g001; Materials Research Society, «Research Investment: Economic Growth — Research Materials Innovations», www.mrs.org/return-on-investment-economic-growth.

Массачусетского технологического института. Когда я спросил, многие ли из ее коллег остаются в материаловедении после почти десятилетней учебы, она засмеялась: «Вы бы не стали этого делать». Вакансии, которые открываются в других местах, слишком заманчивые и финансово привлекательные, чтобы отказываться от них.²⁵ Нам необходимо привнести романтику и престиж в работу с металлами и создавать компании, которые задают серьезные вопросы, ответить на которые могут только достижения в области материаловедения: например, как построить более экономичный автомобиль и коммерциализировать космические путешествия.

Провидцы, подобные Илону Маску, соучредителю PayPal, который был принят на докторскую программу по материаловедению в Стэнфорде, начали основывать компании, которые ставят именно такие вопросы, — Tesla и Space-X. Нам нужно больше таких людей. Нам просто надо создать такой же ажиотаж вокруг материаловедения, какой существует вокруг предпринимательства. В настоящий момент 70% миллениалов хотят участвовать в предпринимательских начинаниях, не связанных с корпоративными структурами. Нам необходим такой же уровень оживления и в науке, чтобы из нее не уходили коллеги Алонсо. Они важны не только для новых прорывов в области редких металлов, но и для разработки более эффективных способов использования металлов, с которыми мы имеем дело в настоящее время, а также для открытия более доступных и экологически чистых материалов, которые могут уменьшить нашу растущую зависимость от некоторых ограниченных ресурсов.²⁶

25. По данным Национального научного фонда, в 2012 году были присуждены 743 докторские степени. National Science Foundation, «Science and Engineering Doctorates», November 2014, www.nsf.gov/statistics/sed/2012/data_table.cfm.

26. «Big Demands and High Expectations: The Deloitte Millennial Survey», January 2014, www2.deloitte.com/al/en/pages/about-deloitte

Хотя исследования играют чрезвычайно важную роль в постижении тайн материаловедения, для обеспечения устойчивых поставок ресурсов необходимо изменить и привычки потребителей, а также бизнес-модели. Поэтому нам нужно кардинально пересмотреть наши отношения с гаджетами; мы не можем продолжать покупать новые смартфоны из-за того, что умирает аккумулятор. Наши гаджеты должны работать дольше. Замена треснувшего стекла экрана смартфона должна стать такой же простой операцией, как замена батареек в пульте дистанционного управления. Сервисные службы для высокотехнологичных товаров должны стать столь же повсеместными, как химчистки. Компании, подобные Apple, которые ответственны за короткий срок службы своих товаров, должны играть важную роль в продлении жизненного цикла своей продукции, продавая запасные части и обеспечивая легкий доступ к материалам внутри своих гаджетов. По сути, им нужно раскрыть экосистему своих товаров ради спасения нашей планеты.

Предложение продавать меньше товаров, которые могли бы служить дольше, может звучать как объявление анафемы рыночной экономике; но не все так мрачно. Для компании Caterpillar, которая в 1972 году запустила программу вторичного производства, возврат оборудования стал основной частью бизнеса. Фактически эта программа помогла компании открыть рынки в развивающихся странах и создать новую прибыль благодаря тому, что восстановленную продукцию дешевле производить: она стоит до 60% от цены нового трактора. Кроме того, компании мо-

te/articles/2014-millennial-survey-positive-impact.html. Примером научных прорывов, которые могли бы уменьшить зависимость от редких металлов, может служить использование перовскита в солнечных приложениях. Mark Peplow, «Perovskite Solar Cell Bests Bugbears, Reaches Record Efficiency», IEEE Spectrum, January 7, 2015, spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/solar/perovskite-solar-cell-bests-bugbears-reaches-record-efficiency.

гут передавать свою продукцию в лизинг, как это делают автомобильные дилеры, забирая машину назад после использования. Они вкладывают столько же усилий в восстановление отслужившей свой срок техники, сколько и в ее функционирование.²⁷

Правительствам необходимо привлекать компании к ответственности за воздействие, причиняемое их продукцией. Было бы проще и прибыльнее, если бы одна компания утилизировала миллионы телефонов сама, чем попросила каждого из миллионов людей самих заботиться о переработке своих телефонов. Это не только более эффективно, но и создает запасы исходного сырья и удешевляет производство за счет масштаба, что способствует формированию прибыльной цепочки поставок для переработки.

Регуляторам стоит требовать от компаний, чтобы сервисное обслуживание после окончания срока эксплуатации товаров входило в их стоимость, как это делается в корпорации Dell. Наложение на компании обязательств перерабатывать свою собственную продукцию стимулирует их более эффективно использовать материалы (особенно редкие металлы), разрабатывать более доступные для переработки или повторного использования продукты и создавать более экологически безопасные и легко перерабатываемые сплавы. Эффективная утилизация продлит жизненный цикл редких металлов и снизит необходимость в горных работах.²⁸ Но только четверть всей

27. Walter R. Stahel, «Caterpillar Remanufactured Products Group», Product-Life Institute, accessed December 19, 2014, www.product-life.org/en/archive/case-studies/caterpillar-remanufactured-products-group; Caterpillar, «Growth from Sustainability: Caterpillar's Experiences plus Wishes for Collaboration with Singapore-based Companies», accessed December 19, 2014, www.simtech.a-star.edu.sg/SMC/media/1198/growth_from_sustainability-caterpillarsexperiencesnwishesforcollaborationwithsingaporebasedcompanies.pdf; Caterpillar, «2012 Year in Review: Solid Rock», 2013, s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10005383.

28. Christian Hagelüken and Christina E. M. Meskers, «Complex Life Cycles of Precious and Special Metals», in *Linkages of Sustainabili-*

электроники США оканчивает свой путь в эффективных системах переработки. Теперь в таких местах, как Южный Портленд, штат Мэн, компании уже начали разбирать свалки ценных металлов, от которых в 1970-х годах избавлялось предыдущее поколение. Мы не должны воспроизводить ту же модель, выбрасывая гаджеты, усыпанные редкими металлами.²⁹

Одним из простых шагов по улучшению эффективности использования малых металлов может быть маркировка. Чтобы люди начали принимать обоснованные решения о своем потреблении ресурсов, им нужно знать, что они потребляют. Маркировка также заставит компании разобраться в том, какие материалы находятся в их товарах, и может облегчить процесс переработки, если в штрих-коде товара содержится информация о нем.³⁰

В отчете Фонда Эллен МакАртур говорится, что экономика замкнутого цикла, основанная на восстановлении, повторном использовании и переработке, к 2025 году сэкономит 1 трлн долларов материальных затрат и создаст 1 млн рабочих мест только в Европе. Кроме того, она может дать толчок для развития технологии повторного использования следующего поколения, остро необходимой миру.³¹

ty, ed. T. E. Graedel and E. van der Voet, 165–197 (Cambridge, MA: MIT Press, 2010), published online August 2013, oxfordindex.oup.com/view/10.7551/mitpress/9780262013581.003.0010?rskey=Hwg-oCi&result=2.

29. В 2011 году американское агентство EPA подсчитало, что страна выбросила 2,4 млн тонн электронных продуктов. Environmental Protection Agency (EPA), «Statistics on the Management of Used and End-of-Life Electronics», accessed December 19, 2014, www.epa.gov/epawaste/conserves/materials/ecycling/manage.htm. Electronics TakeBack Coalition, «E-Waste Problem Overview».

30. «Why Are Rare Earth Metals So Important?» accessed December 19, 2014, lamprecycling.veoliaes.com/newsletter/September2013/6.

31. Desiree Mohindra, «Circular Economy Can Generate US\$1 Trillion Annually by 2025», World Economic Forum, accessed December 19, 2014, www.weforum.org/news/circular-economy-can-generate-us-1-trillion-annually-2025.

Еще один способ взять под контроль использование малых металлов, даже лучший, совсем нетехнологичен: это экономное использование ресурсов. Меры по энергосбережению, такие как повышение эффективности энергосетей, электроники и зданий, уменьшают необходимость строительства или расширения инфраструктуры, в основе которой лежат малые металлы. Например, установление дополнительной изоляции будет гораздо менее ресурсоемким в вопросе снижения потребности в энергии, чем установка солнечной панели для производства более эффективной энергии; это также хороший способ потреблять меньше редких металлов.³²

Хотя решение проблемы ресурсной безопасности нельзя получить только от правительства, правильное законодательство и нормативные изменения могут оказать большое влияние. Помимо расширения ответственности производителей, увеличения финансирования технологических инноваций и принятия мер по энергосбережению, правительствам следует разработать долгосрочные планы по наращиванию поставок редких металлов. Хорошим началом для стран, располагающих ресурсами, было бы уточнение сроков и процесса рассмотрения новых горнодобывающих работ и определение мест, не имеющих ограничений для разработки. Учитывая, что сроки, необходимые для открытия шахт, возросли более чем до десяти лет, правительствам следует изучить методы ускорения процессов экологически безопасных разработок. Богатые страны не должны передавать на аутсорсинг загрязнение окружающей среды.

Другая роль правительства заключается в том, чтобы способствовать созданию и распространению рыночной информации для решения проблем рынка,

32. Francois-Xavier Lienhart, «The Implementation of an Energy-Saving Society Contributes to the Environment, People and Economy», presentation, Ministry of Economy, Trade and Industry, Tokyo, Japan, November 1, 2011.

которые обсуждались в главе 5. Это та роль, которую помогает выполнять Геологическая служба США, хотя сокращение финансирования за последние годы отрицательно сказалось на качестве собираемой информации. Такие исследования могут помочь выявлять слабые места в поставках и прогнозировать будущие тенденции. Правительствам также следует более тесно сотрудничать с научно-исследовательскими учреждениями и технологической отраслью, чтобы лучше понимать будущий спрос на редкие металлы.

Правительства могут способствовать стимулированию производства, предлагая налоговые льготы, субсидированное страхование для снижения инвестиционных рисков в горнодобывающей отрасли, и финансирование займов или вложение в акционерный капитал компаний. Менее традиционные стимулы, такие как соглашения о закупках, могут обеспечить производство и инвестиции в периоды неустойчивого ценообразования. А для стартапов, вроде Avalon Rare Metals в Канаде, государственная поддержка и общие заявления о политической поддержке могут стать стимулом, необходимым для обеспечения долгосрочного финансирования инвесторов. Но большинство правительств за пределами Азии не склонны выбирать фаворитов.

В некоторых исследованиях утверждается, что накопление редких металлов является ключевым инструментом государственной политики для обеспечения материалами в периоды дефицитов. Однако такие меры вряд ли оправдают ожидания, поскольку производителям нужны материалы различных сортов, что делает практически невозможным создание достаточных запасов необходимых материалов. Более того, если у страны, которая создает запасы, нет перерабатывающих мощностей, накопление редких металлов не слишком отличается от накопления консервных банок с тунцом без консервного ножа — диктуемо благими намерениями, но бесполезно. Накопление запасов может оказаться крайне до-

рогостоящим делом, потому что правительства часто покупают в периоды высоких цен, что приводит к еще большему их росту.

Более полезным, хотя и менее политически приемлемым для правительств может быть введение правил или стимулирование компаний создавать запасы необходимых им редких металлов и изготовленных из них компонентов. Компании знают свои потребности и поэтому имеют преимущество перед правительствами в выборе материалов для создания запасов. Но, как мы видели в главе 6, компании не склонны тратить свои деньги на ресурсы, которые могут упасть в цене.

Правильная политика крайне важна, но не менее важно избегать поспешных решений. После того как в 2010 году Китай ограничил доступ к редкоземельным элементам, Токио быстро принял стратегическое решение уменьшить зависимость страны от китайских редкоземов, побуждая компании не использовать материалы из Китая. Японцы выглядели дальновидными, поскольку в 2011 году цены на редкоземы взлетели. Но вскоре цены резко упали, потому что их повышение было больше связано с геополитикой, чем с экономикой. И план Японии возымел обратный эффект.

После первоначального стремления делать запасы редкоземельных элементов японские компании быстро и резко сократили их использование, особенно это коснулось легких редкоземов, которые Япония использовала в больших количествах. В последующие два года, когда цены упали, они, вероятно, упали намного ниже, чем могли бы, из-за резкого сокращения спроса со стороны Японии. Снижение цен привело к тому, что многие западные редкоземельные компании оказались в крайне трудном положении. Многие из них могли не пережить этот кризис, что парадоксальным образом сделало Японию еще более зависимой от Китая в долгосрочной перспективе.

Опрометчивое решение Токио помочь своим компаниям уйти от использования редкоземельных

элементов также имело еще один скрытый эффект. Когда компании последовали политике правительства и сократили количество редкоземельных элементов в своей продукции, это привело к созданию менее энергоэффективных двигателей во всех товарах, начиная от кондиционеров и заканчивая лифтами. Хотя потеря в производительности при переходе на менее мощный магнит или другую систему может быть несущественной для отдельного товара, эффект возрастает, когда вся планета покупает, например, кондиционеры, которые менее эффективны даже на несколько процентов.³³

Правительствам необходимо позволить компаниям решать краткосрочные рыночные проблемы. Суть в том, что, если правительства не будут готовы финансово гарантировать развитие международной цепочки поставок сырья и постоянно проводить ее мониторинг, обеспечить непрерывное снабжение будет невозможно. Единственный случай, когда правительства должны вмешиваться, — это предлагать краткосрочное решение, чтобы избежать экономического краха или обеспечить отсутствие брешей в цепочках снабжения военной обороны страны.

Как мы видели, страны мало что могут сделать индивидуально для повышения безопасности ресурсов, потому что цепочки поставок глобализированы. Более того, поскольку цепочки поставок редких металлов уникальны, многие из стратегий обеспечения их жизнеспособности аналогичны стратегиям обеспечения цепочек снабжения других природных ресурсов. Например, отдельным странам, зависящим от ресурсов, необходимо укреплять политические связи с со-

33. По словам Элиаса Странгаса, главы Лаборатории электрических машин и приводов штата Мичиган, если бы не события 2010 года, постоянный магнит использовался бы более широко. Статистика Стива Константинидеса показывает резкое снижение использования магнитов после 2010 года. Steve Constantinides, «Magnetic Materials and Market Sit-Rep», presentation, The Motor & Motion Association, November 4–6, 2014.

седями, особенно с теми, кто богат ресурсами, как это сделали Соединенные Штаты со странами Латинской Америки в первой половине XX века. Создание торговых миссий и заключение торговых соглашений для увеличения торговли и инвестиций в ресурсы приносят пользу стране происхождения, но появившееся в результате этого дополнительное производство принесет пользу и всему миру. Однако в конечном счете так же, как отдельная страна не может обеспечить свою ресурсную безопасность, остальной мир тоже не может этого делать. Нужны совместные усилия.

Чтобы избежать конфликтов в будущем, полезно было бы рассмотреть на глобальном форуме вопросы, вызывающие беспокойство в связи с поставками редких металлов. Поскольку такого форума не существует, пришло время его создать. После дефицита нефти в начале 1970-х годов шестнадцать стран основали Международное энергетическое агентство (МЭА) для обеспечения бесперебойных поставок нефти. Миссия агентства расширилась, чтобы «способствовать разнообразию, эффективности и гибкости во всех секторах энергетики».³⁴ Теперь нам необходимо Международное агентство по материалам, МЭА для минеральных ресурсов, включая редкие металлы.

Крайне важно иметь организацию, которая собирает статистику, составляет обзоры о состоянии рынка и предоставляет платформу для обсуждения странами вопросов, связанных с природными ресурсами. Международное агентство по материалам со своим штатом сотрудников может разрабатывать стратегии для внедрения передовой практики в области управления ресурсами. Диалог и стремление сделать рынки прозрачными будет нашей лучшей надеждой в деле предотвращения будущих конфликтов из-за ресурсов. А любое агентство по материалам станет го-

34. International Energy Agency, accessed December 19, 2014, www.ica.org/.

раздо более эффективной площадкой для обсуждения разногласий, чем Всемирная торговая организация, особенно когда речь идет о редкоземельных материалах, которые входят в состав магнита Масато Сагава.

В своей продукции производители редкоземельных магнитов теперь используют меньше редкоземельных элементов, включая диспрозий, чем в 2010 году, когда Китай сократил экспорт в Японию. Одной из причин послужило то, что компании, в том числе та, которую возглавляет Сагава, стали использовать диспрозий более избирательно. Другие компании обнаружили, что добавление тербия, редкоземельного элемента, производимого только в Китае, может помочь уменьшить потребность в диспрозии.³⁵

Когда я спрашиваю Сагаву о переходе от диспрозия к тербию, он предупреждает меня: «Дефицит тербия станет гораздо более серьезной проблемой, чем дефицит диспрозия».³⁶ И добавляет, что использование тербия, в четыре раза более редкого, чем диспрозий, является временным решением. Но включение в магнит тербия напоминает мне похожее решение, к которому пришел Сагава тридцать лет тому назад, когда добавил диспрозий к своему рецепту магнита. Компаниям, возможно, удастся сократить количество тербия и диспрозия в магнитах на 20–30% за пятилетний срок, но темпы роста магнитов за тот же период могут превысить 50%. Это означает, что, несмотря на использование этих редкоземельных элементов в меньшем количестве в расчете на один магнит, наш общий спрос на редкоземельные элементы будет расти.

Сейчас мы переживаем критический момент истории. Скорость технологических изменений ско-

35. Thomas Jefferson National Accelerator Facility, Office of Science Education, «The Element Terbium: It's Elemental», accessed December 19, 2014, education.jlab.org/itselemental/ele065.html.

36. Masato Sagawa, e-mail, December 8, 2014.

ро опередит способность наших цепочек поставок производить редкие металлы по нужным нам ценам. Чтобы удовлетворить этот растущий спрос на редкие металлы, необходимы глубокие изменения в том, как мы используем и продаем нашу продукцию. Я боюсь, что недостаток внимания к этой новой динамике в век редких металлов и ее понимания, а также недостаток внимания к этим критическим материалам и их понимания затормозит наше процветание и негативно скажется на окружающей среде. Я надеюсь, что эта книга в какой-то мере послужит призывом к действию и побудит новое поколение узнать больше о составляющих наших гаджетов, оружия и перспективах стабильности нашего будущего.

Научное издание

ДЭВИД АБРАХАМ

ЭЛЕМЕНТЫ СИЛЫ

**Гаджеты, оружие и борьба
за устойчивое будущее
в век редких металлов**

Главный редактор издательства ВАЛЕРИЙ АНАШВИЛИ
Научный редактор издательства АРТЕМ СМИРНОВ
Выпускающий редактор ЕЛЕНА ПОПОВА
Обложка, дизайн, верстка СЕРГЕЙ ЗИНОВЬЕВ
Корректор ТАТЬЯНА РЕДЬКИНА

Издательство Института Гайдара
125993, Москва, Газетный пер., д. 3-5, стр. 1



Подписано в печать 05.04.2019.
Тираж 1000 экз. Заказ 3526. Формат 60×90/16.
Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»
Филиал «Чеховский Печатный Двор»
142300, Московская обл., г. Чехов, ул. Полиграфистов, 1
Сайт: www.chpd.ru, E-mail: sales@chpd.ru, тел: 8(499)270 73 59

В «Элементах силы» Дэвид Абрахам пытается вскрыть экраны наших устройств и посмотреть, что прячется за ними.

Financial Times

Тех из нас, кто восхищается гибридными автомобилями, смартфонами и ветровыми турбинами, но не очень понимает, откуда происходят индий, европий и тантал, начинают тревожить смутные сомнения. В этой выдающейся книге Абрахам показывает, что страны, контролирующие редкие металлы, будут контролировать будущее.

Роберт Макфарлейн, бывший советник по национальной безопасности и соучредитель Совета энергетической безопасности

С умом и чуткостью к деталям Абрахам подает сигнал тревоги и привлекает внимание к приближающимся трудностям, связанным с ресурсами. Мы вступаем в эпоху, когда необходимость в нескольких граммах металлов с чудными названиями будет иметь огромные геополитические последствия.

Джеймс Ставридис, декан Школы права и дипломатии им. Флетчера в Университете Тафтса и верховный главнокомандующий НАТО (2009–2013)

Абрахам рассказывает удивительные истории о ряде металлов, которые могут показаться несущественными, но которые лежат в основе нашего стиля жизни, что мало кто понимает вне научных и определенных деловых кругов.

Родрик Эггерт, Колорадская школа горного дела и Институт критических материалов

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНСТИТУТА
ГАЙДАРА

