

Р. Бейте

Геология

неметаллических

полезных

ископаемых



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МИР»

Geology
of the Industrial
Rocks
and Minerals

ROBERT L. BATES
The Ohio State University

HARPER & BROTHERS,
PUBLISHERS, NEW YORK

1960

Р. Л. БЕЙТС

**Геология
неметаллических
полезных
ископаемых**

Перевод с английского

П. П. СМОЛИНА и В. И. ФИНЬКО

Под редакцией

М. А. ЛИЦАРЕВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Москва 1965

Книга видного американского геолога Р. Бейтса — первый в мировой литературе справочник практически по всем видам неметаллического сырья. В эту группу, помимо каменных строительных материалов — гранита, диабазы, туфов и т. д., входят минеральные соли, агрономические руды (фосфориты, апатиты), графит, тальк, асбест, слюда, алмазы, сера и т. д. В книге даются детальные сведения по 33 видам неметаллического сырья, причем автор характеризует не только геологическую обстановку месторождений, но и приводит данные о методах разведки и технологии переработки первичного сырья.

Книга рассчитана на геологов, петрографов, минералогов, экономистов, технологов и инженеров, работающих в области добычи и переработки нерудных полезных ископаемых. Она будет незаменимым справочником и для студентов названных специальностей.

*Редакция литературы по вопросам
геологических наук*

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Значение неметаллических полезных ископаемых особенно возрастает в периоды интенсивной индустриализации. Так, в США именно за последние десятилетия стоимость ежегодно используемых неметаллов возросла для некоторых их видов в 11—12 раз (особенно наиболее массовых, например глин, и самых редких, например алмаза) и в целом резко превысила стоимость металлов. Однако широким кругам геологов остается в значительной мере неизвестной эта важная черта современного развития экономики, что отчасти связано с отсутствием общих руководств по неметаллическим полезным ископаемым как в нашей стране, так и за рубежом.

Действительно, после издания учебника П. М. Татарина и др. «Курс нерудных месторождений» (ОНИ Горно-геолого-нефтяное изд-во, М. — Л. — Новосибирск, 1934—1935) в СССР не появилось в свет по существу ни одного руководства, посвященного всему комплексу неметаллических полезных ископаемых. Фундаментальный многотомный справочник «Неметаллические полезные ископаемые» (Изд-во АН СССР), вышедший в свет не полностью в 1937—1941 гг., уже в значительной мере устарел и представляет собой библиографическую редкость. Существует, однако, обширная литература, посвященная отдельным полезным ископаемым или некоторым их группам. Прежде всего можно назвать серийные брошюры ВИМСа «Требования промышленности к качеству минерального сырья» и «Оценка месторождений при поисках и разведках», в которых, однако, отсутствуют сколько-нибудь развернутые описания месторождений. Из литературы, посвященной преимущественно геологии различных неметаллических полезных ископаемых, отметим монографии и статьи В. П. Петрова, а также ряд работ, вышедших под его редак-

цией, выпуски Трудов ВСЕГЕИ под редакцией П. М. Татаринова, том VI серии «Закономерности размещения полезных ископаемых», освещающий геологию комплекса магнезиально-силикатного сырья. Однако все эти и другие материалы подобного рода рассеяны в самых различных, зачастую малотиражных и труднодоступных для читателя изданиях. При таком положении в литературе по неметаллическим полезным ископаемым, естественно, существует острая потребность в общем руководстве, которую в некоторой мере может удовлетворить предлагаемая вниманию читателей книга Р. Л. Бейтса.

Руководство Бейтса рассчитано на читателя, овладевшего общегеологическими знаниями, поэтому в нем рассматриваются лишь вопросы, имеющие непосредственное отношение к конкретным неметаллическим полезным ископаемым, или общие для всей их группы геолого-экономические и технологические проблемы. По содержанию книга распадается на три части. В первой, вводной, части автор кратко рассматривает общие понятия, особенности генезиса, современные тенденции в использовании и технологии переработки всей группы неметаллических полезных ископаемых. В остальном руководство разбито на два крупных раздела, соответствующих основным подразделениям классификации неметаллических полезных ископаемых, разработанной автором. Во второй части описывается массовое нерудное сырье — горные породы, а в третьей — относительно редкое — минералы.

Определить, что, собственно, нужно включать в группу неметаллических полезных ископаемых, нелегко. Так, еще в 30-х годах бокситы считались у нас нерудным сырьем. В американских справочниках к неметаллам обычно причисляют монацит, пирит, титановые и марганцевые руды, циркониевое, стронциевое, гафниевое, бериллиевое и литиевое сырье. Большинство из этих полезных ископаемых Бейтс исключил из числа неметаллов, но оставил в своем учебнике бериллиевое и литиевое сырье, которое у нас считают рудным. В остальном группа неметаллических полезных ископаемых в понимании Бейтса имеет такой же объем, как и в СССР.

Отдельному полезному ископаемому посвящается в книге не более 20 страниц, однако в каждом разделе изложены довольно разнообразные сведения по следующей четкой схеме: вводные замечания, использование, свойства, генезис, условия распространения и примеры типичных месторождений, испытания и технология переработки, методы разведки и добычи.

При общей оценке книги Бейтса следует иметь в виду, что автор стремился дать руководство небольшого объема по всему комплексу неметаллических полезных ископаемых для широкого круга читателей-геологов. С этим связаны как некоторые достоинства, так и недостатки книги. К числу последних относятся несколько упрощенное изложение некоторых генетических вопросов и чрезмерная краткость описания отдельных полезных ископаемых. Главное же достоинство книги, помимо ее компактности, заключается хотя и в сжатых, но конкретных описаниях месторождений, часто с геологическими картами и разрезами, а также в очень четком показе органических взаимосвязей геологических, технологических и экономических факторов, которые следует иметь в виду при изучении неметаллических полезных ископаемых. Значительную ценность имеет также довольно полная библиография (более 1000 наименований), представленная, правда, преимущественно американской литературой.

Книга Бейтса обращена к американскому читателю, и поэтому автор в основном описывает месторождения США, используя преимущественно американскую литературу, и лишь в случае отсутствия отечественных месторождений обращается к зарубежным примерам. В этом с точки зрения советского читателя, также заключаются как отрицательные, так и положительные моменты. С одной стороны, вследствие своей «американской» специфики руководство потеряло в известной мере характер подлинно широкого обобщения и отдельные генетические типы полезных ископаемых, слабо представленные в США, оказались в нем недостаточно освещенными (например, алмазонасные трубки), так же как и некоторые виды использования сырья (например, каменное литье, успешно раз-

вивающееся в СССР и Чехословакии). С другой стороны, книга Бейтса цельно отражает состояние сырьевой базы и проблемы развития промышленности неметаллических полезных ископаемых технически высокоразвитой страны во всем их многообразии и взаимодействии. Особенно важно освещение таких новых или слабо используемых в СССР полезных ископаемых, как перлит, вермикулит, волластонит, пирофиллит, нефелиновый сиенит, и некоторых других. Очень интересны и многие технологические, горнотехнические и экономические данные, например, широкое развитие в США добычи каменных материалов на гигантских рудниках, возрождающих на современной технической основе старинные каменоломни.

Промышленное освоение месторождений неметаллических полезных ископаемых возможно лишь при тщательном их изучении в самых различных геологических и технолого-экономических аспектах. Подобное общее условие должно соблюдаться и при освоении рудных месторождений, однако при изучении неметаллов возникают дополнительные сложности, связанные прежде всего с двумя специфическими их особенностями.

1. В отличие от металлических полезных ископаемых состав и физические свойства нерудного сырья очень сильно сказываются не только на технологии переработки, но и в конечных промышленных изделиях. Тонкие особенности состава и свойств неметаллического полезного ископаемого могут играть главную роль в использовании его в том или ином производстве. Поясним значение этого положения для геологической практики на примере. В США тальк добывается более чем на 40 месторождениях, причем существуют обширные встречные перевозки талькового сырья внутри страны и наряду с экспортом, производится также импорт отдельных марок талька даже из таких отдаленных стран, как Франция и Индия. Помимо сложившихся экономических связей, подобное положение в гораздо большей мере обусловлено спецификой сырья отдельных месторождений. В связи с этим, например, открытие нового месторождения тремолитсодержащего

талька в главном талькопроизводящем штате США — Нью-Йорке — не имеет сколько-нибудь серьезного значения, но выявление там промышленных скоплений стеатитовых талькитов, ввозимых из других штатов и стран, оказалось бы весьма важным. В ряде случаев промышленную ценность месторождения в конкретном районе определяют и гораздо менее значительные различия состава и свойств сырья. Таким образом, если для оценки рудных месторождений нужно преимущественно определить лишь содержания, запасы, возможности извлечения ценных компонентов и транспортно-экономические условия, то при оценке неметаллических полезных ископаемых, помимо всего этого, необходимо также изучить поведение сырья в различных конечных продуктах и выявить потребность, например, не в тальке вообще, а в тальке специфических свойств, установленных на данном месторождении.

2. Многие неметаллические полезные ископаемые, с одной стороны, могут применяться в самых различных областях промышленности, а с другой — нерудное сырье самого различного происхождения частично взаимозаменяемо. Например, барит, каолин, тальк, пирофиллит могут частично заменять друг друга в качестве наполнителей, то же можно сказать о различном керамическом сырье, естественных строительных материалах и т. д. Поэтому и проблемы развития сырьевых баз неметаллических полезных ископаемых определенных экономических районов приобретают соответственный комплексный геолого-технологический характер.

Рассмотренные особенности неметаллических полезных ископаемых обязывают геолога-нерудника не только быть широко эрудированным в вопросах геологии, но и в совершенстве знать технологию переработки, возможности использования и экономику сырья в тесной увязке с конкретными особенностями его состава и свойств. При этом такие знания необходимы, как правило, для целого комплекса полезных ископаемых. К сожалению, специфика неметаллических полезных ископаемых нередко учитывается недостаточно, что приводит иногда к огромному экономическому ущербу. Мы остановились подробнее на этом вопросе для того, чтобы при-

влечь внимание читателя к необходимости правильного комплексного геолого-технологического-экономического подхода к изучению неметаллических полезных ископаемых, подхода, весьма четко аргументированного в книге Бейтса.

Предварительные замечания о руководстве Бейтса были бы неполными без оценки предложенной им классификации неметаллических полезных ископаемых, которая вследствие необычайной разнородности систематизируемых объектов представляет большие трудности. Бейтс подразделил металлы на две главные геолого-промышленные группы: 1) горные породы — массовое сырье с невысокой стоимостью единицы веса, встречающееся в крупных и широко распространенных месторождениях с относительно простым геологическим строением, и 2) минералы — относительно редкие и дорогостоящие полезные ископаемые, встречающиеся, как правило, в небольших месторождениях со сложным геологическим строением. Внутри групп Бейтс выделяет генетические подразделения полезных ископаемых по признаку их магматического, метаморфического и осадочного генезиса (в группе минералов выделен дополнительно раздел жильных и метасоматических полезных ископаемых). Всякая классификация в известной мере условна, и сам Бейтс хорошо видит, например, противоречивость в отнесении диатомита и нефелинового сиенита в геолого-промышленную группу минералов. Тем не менее подобная простая группировка, несомненно, интересна и близка другим классификациям такого рода, например аналогичному разделению неметаллических полезных ископаемых в учебнике П. М. Татарина и новейшим общим отечественным классификациям полезных ископаемых (например, В. И. Смирнова), в которых выделяются месторождения минералов, кристаллов, аморфных веществ и горных пород. Таким образом, общее подразделение металлов на промышленные группы горных пород и минералов можно признать целесообразным, однако дальнейшая генетическая типизация у Бейтса вызывает возражения в частности. Так, тальк отнесен к метаморфическим образованиям, тогда как наиболее ценные тальковые руды имеют, несомненно, метасоматическую

природу; то же можно сказать и о полигенетическом графите; явно полигенетическая сера попадает в одну рубрику с осадочными минералами. Имеются и другие несоответствия такого рода, в которых читатели без труда разберутся сами. Видимо, предложив самое общее подразделение на минералы и горные породы и рассматривая затем непосредственно отдельные неметаллические полезные ископаемые с выделением генетических типов их месторождений, П. М. Татаринов нашел наиболее простой выход из сложностей, возникающих при разработке классификации неметаллических полезных ископаемых.

Распространенные классификации, основанные на использовании сырья, с выделением таких групп, как абразивы, минеральные наполнители, кислотоупорные материалы и т. д., Бейтс вполне справедливо признает неудобными для систематического изложения сведений по геологии неметаллов и не использовал их при изложении материала в руководстве. Однако в связи с взаимозаменяемостью некоторых полезных ископаемых и подчеркиваемой самим Бейтсом необходимостью учета экономико-технологических факторов при изучении неметаллов полный отказ от рассмотрения таких групп нельзя считать правильным. Видимо, наиболее целесообразное построение подобного руководства должно разумно отражать как естественную классификацию, так и классификацию по признаку использования.

Термины Бейтса, широко принятые сейчас в США, например «промышленные горные породы и минералы», звучат непривычно для нашего читателя, хотя смысл, вложенный в них, вполне ясен. Вряд ли эти геолого-экономические понятия в таком терминологическом оформлении войдут в нашу литературу, поэтому по возможности они заменялись в тексте иными, более привычными для нас терминами, однако сама группировка Бейтса была, естественно, оставлена в оригинальном виде. «Внутриамериканскую» направленность руководства Бейтса мы стремились несколько снивелировать краткими примечаниями и комментариями, сущность которых сводится к следующему: 1) отмечены различия в использовании

отдельных терминов в американской и советской литературе и отличия в трактовке генетических вопросов; 2) приведены не указанные Бейтсом важные, а также появившиеся в последние годы виды использования и новейшая статистика добычи полезных ископаемых; 3) даны краткие заключительные замечания к каждому полезному ископаемому, причем новейшие статистические сведения (без СССР) приводятся по данным ежегодника «*Minerals yearbook*» за 1962 г., что позволяет при сопоставлении с цифрами Бейтса (1957—1958 гг.) оценить современные тенденции в развитии промышленности отдельных полезных ископаемых. Судя по периодической литературе, эти тенденции практически полностью сохранялись и в 1963—1964 гг. Цифры добычи в примечаниях даны, как и в переведенном тексте книги, в коротких тоннах, за исключением оговоренных случаев. В заключительном предельно кратком комментарии к каждому разделу подчеркнуты особенности сырьевой базы и использования данного полезного ископаемого в СССР, новейшие генетические представления о нем и даются ссылки на важнейшие отечественные работы.

П. П. Смолиным переведены главы 4, 6, 8, 9; В. И. Финько — главы 1—3, 5, 7, 10, 11.

М. Лицарев

П. Смолин

В. Финько

ОТ РЕДАКТОРА

Много тысячелетий назад, в незапамятные времена эпохи раннего плейстоцена, первобытный человек нашел камень, который был удобен для его руки, и впервые понял, что обладает орудием, которое делает его намного сильнее. Этого вообразимого предшественника современного исследователя можно считать, конечно не в полном смысле, первым потребителем промышленных горных пород. Позднее подобное использование камня стало по существу всемирным, о чем свидетельствует широкое географическое распространение эолитовых, палеолитовых и неолитовых кремневых орудий.

Использование соли человеком, предшествующее письменной истории человечества, и такие монументальные сооружения, как менгиры и пирамиды, свидетельствуют о том, что камень служил строительным материалом еще за тысячелетия до нашей эры. Применение извести и цемента было хорошо известно древним строителям, а простую керамику изготавливали еще в доисторическую эпоху. Знание основных руд и минералов, включая драгоценные и полудрагоценные камни, также относится к древним временам.

Тем не менее только в середине XVI в. появилась относительно исчерпывающая книга в области экономической геологии. Тогда вышла работа Бауэра (Агрикола) «Металлы», первый справочник по минералам и горному делу. Через столетие появился трактат Кирхера (1602—1680) «Подземные богатства». В VI, VII и VIII книгах его знаменитого трактата впервые речь идет о неметаллах. Кирхер приводит описание состава и использования таких природных ресурсов, как

соли, пески, глины, почвы, горные породы и драгоценные камни.

В эпоху современной индустрии экономическая геология становится важной академической дисциплиной, но, естественно, особое внимание уделяется изучению топливных материалов, таких, как уголь и нефть, а также металлов. Так, например, во «Введении в экономическую геологию» Тарра только 170 страниц из 635 посвящены неметаллам, в атласе «Мировые минеральные ресурсы» ван Ройена и Баулса только 40 страниц из 181 относятся к неметаллическим полезным ископаемым. Воскуил в своей книге «Минералы в мировой индустрии» только 42 из почти 300 страниц уделяет строительным материалам, удобрениям, сере и минералам, имеющим небольшое промышленное значение.

Президентская комиссия материальной политики под председательством Пэли в 1952 г. выпустила пятитомный доклад «Ресурсы для свободы», где о стратегических неметаллических полезных ископаемых говорится только в гл. 17—19 2-го тома. В общем подобное заключение можно сделать в отношении других ценных книг по экономической геологии, например трудов Райса, Эммонса, Лилли, Мак-Кинстри, Линдгрена и др. Правда, следует отметить, что 30 лет назад вышла книга Бэйли «Неметаллическое минеральное сырье», а 45 лет назад Баунокер опубликовал сводку «Строительный камень Огайо», примерно в это время Мерилл был национальным экспертом по этим промышленным материалам. Бэтман¹ в «Промышленных минеральных месторождениях» более беспристрастно, чем это делали до него, говорит о нерудных полезных ископаемых, посвящая им почти четвертую часть книги. Существуют также специальные относительно старые источники, такие, как «Производство строительного камня» (1939) Баулса, и вполне современные источники, такие, как «Минералогический ежегодник», который ведет Горное бюро США, и местные издания, какими является книга «Минеральные ресурсы Колорадо» Вандервилта (1947) и

¹ Есть русский перевод. Бэтман А. М., Промышленные минеральные месторождения, ИЛ, М., 1949.

Бюллетень N 176 Калифорнийского отделения Горного бюро США «Минеральные богатства Калифорнии».

Автор настоящей книги предпринимает попытку глубже ознакомить читателя с геологией и промышленным использованием тех важных, но мало освещенных в литературе природных ресурсов, которые нельзя отнести ни к топливным материалам, ни к металлам.

«Геология неметаллических полезных ископаемых» Вейтса делится на 11 самостоятельных глав, объединенных в 3 основные части. Часть I включает краткое «Введение», которое подчеркивает почти неосознанную важность данного предмета. Вторая глава посвящена классификации. В ней перечисляются 13 горных пород и 20 минералов, которые в дальнейшем рассматриваются в тексте.

Часть II включает гл. 3—6, из которых 3 и 4 посвящены изверженным и метаморфическим породам. Стоимость изверженных горных пород, используемых ежегодно, превышает 150 млн. долл. К их числу относятся не только такие обычные строительные материалы, как гранит, но и менее известные, например пемза, применение которой в качестве наполнителя бетона все расширяется. Сланец и мрамор, ежегодная стоимость добычи каждого из которых в необработанном виде составляет более 10 млн. долл., рассматриваются в гл. 4. Следующие две главы могут показаться необычными даже для профессиональных геологов, которым трудно представить, что мы «добываем» такие простые материалы, как песок, гравий и глины приблизительно на миллиард долларов каждый год! Большое внимание автор уделяет также рассмотрению известняков, доломитов, фосфатных пород, гипса и соли.

Часть III, включающая гл. 7—11, посвящена минералам изверженных пород, таким, как полевой шпат, слюда и литиевые минералы; минералам жил и замещения, таким, как кварц, флюорит, барит, магнезит; осадочным минералам и сере, в том числе россыпным алмазам, диатомиту, калиевым и натриевым минералам, боратам и нитратам, и, наконец,

минералам, имеющим небольшое промышленное значение, таким, как криолит, гранат, пирофиллит и трепел.

Ценность некоторых вышеперечисленных минералов также ошеломляющая. В 1957 г. барита добыто более чем на 12 млн. долл., хотя автор этих строк помнит относительно недавнее время, когда почти все огромные месторождения барита Арканзаса оценивались только в несколько тысяч долларов. В том же 1957 г. США импортировали почти на 50 млн. долл. промышленного алмаза, главным образом из района Бакванга, Конго, где добыча алмазов началась только в 1921 г.

Автор этой книги доктор Роберт Бейтс, уроженец штата Южная Дакота. Он окончил геологический факультет Айовского университета. В течение нескольких лет он занимался экономической геологией в одной из крупных нефтяных компаний. В 1941 г. он становится геологом Горного бюро штата Нью-Мексико, а с 1945 по 1947 г. работает начальником отделения этого бюро по газу и нефти. С 1947 г. Р. Бейтс — профессор геологии сначала в Ратджерсе, позднее в штате Огайо. Он продолжает консультировать работы в области экономической геологии и особое внимание уделяет нерудным полезным ископаемым. Таким образом, автор этой книги владел богатым и разнообразным практическим материалом в сочетании с большим опытом в преподавательской и исследовательской работе. Надеемся, что «Геология неметаллических полезных ископаемых» послужит веским доказательством справедливости вышесказанных слов.

К. Кронейс

Институт Райса
Декабрь 1959 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Читая курс неметаллических полезных ископаемых, я почувствовал острую необходимость в более или менее исчерпывающем пособии. Данная книга написана в надежде удовлетворить эту потребность. Поскольку она рассчитана на студентов, закончивших основной курс геологии, я полагаю, что читателю хорошо известны общие геологические термины и представления. В авторитетных книгах по неметаллическим полезным ископаемым большее внимание уделяется их добыче, производству и использованию, чем геологии. Несмотря на то что имеющиеся книги являются весьма ценными справочниками, ими трудно пользоваться как источниками систематической информации по геологии. В своей работе я попытался остановиться подробнее на месторождениях, происхождении и геологических взаимоотношениях, для чего пришлось создать новую классификацию, отличную от общепринятой. Благодаря этому принципиально отличному подходу к решению вопроса я надеюсь, что данная книга будет служить полезным дополнением к работам, посвященным главным образом технологии.

Книги, к которым обращался автор, принадлежат перу многих исследователей, писавших о хорошо знакомых им породах и минералах. Дело в том, что один человек не в состоянии квалифицированно написать о геологии такой разнообразной группы природных материалов, какой является группа неметаллических полезных ископаемых. Данная книга — компилятивная работа, ее автор лишь обобщил и привел в систему работы многих других исследователей. Поэтому я чувствую себя в большом долгу перед многими геологами, которые публиковали результаты оригинальных работ в области промышленных горных пород и минералов. Мне хотелось бы надеяться, что читатель отнесется с должным доверием к интересующим его разделам учебника.

В значительной мере я также обязан геологам, которые отнимали у себя драгоценное время, чтобы прочесть мою работу и сделать критические замечания. Андерсон прочел полную рукопись, сделал существенные замечания и дал множество полезных советов. Другие лица сделали критические замечания по отдельным разделам: Бауман по разделу «Известняки и доломиты»; Честерман по разделам «Пемза и пумицит» и «Перлит»; Форсайт — «Пески и гравий»; Джанс — «Минералы пегматитов»; Дженкс — «Промышленные минералы, не относящиеся к пегматитам»; Келлер — по главе, посвященной глинам; Мак-Конел — по разделу «Глины и фосфатные породы»; Мюссиг — «Бораты» и Морфи — по разделу, посвященному песчаникам.

В самом начале работы над книгой мне очень помогли обсуждения ее полного плана с Фуллером. Части вводной главы были критически прочтены Муром младшим и Уэйсом.

Хочу внести ясность, что каждый раздел в книге, касающийся той или иной породы или минерала, является только введением. Я предоставил читателю самому продолжить дальше разговор, начатый мной. Для этого особое внимание следует уделить ссылкам на литературу, особенно на относительно новые работы. Эти ссылки помогут более глубокому изучению вопроса, интересующего читателя.

За последние годы некоторые профессиональные геологи и инженеры выражали в печати мнение о том, что мы много делаем в подготовке специалистов, которые часто становятся просто техниками, и мало заботимся о том, чтобы подготовить людей с достаточно широким общим кругозором. Я считаю, что курс геологии нерудных полезных ископаемых является превосходной подготовкой для таких специалистов.

Успевающий студент должен получить широкий обзор разнообразных геологических принципов и процессов. Со многими из них он сталкивался и раньше, но при других обстоятельствах, с некоторыми из них он встретится впервые. Он также волей-неволей узнает о близких связях между геологией, технологией переработки и промышленным применением горных пород и минералов. И, наконец, к своему удивлению, он обнаружит, что существуют другие области прикладной геологии, кроме геологии рудных месторождений и нефти.

Роберт Л. Вейтс

Часть I
ВВЕДЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

Материальные ценности, которые человек извлекает из земных недр для осуществления своей производственной деятельности, включают следующие группы полезных ископаемых: 1) металлы и их руды; 2) минеральное топливо; 3) подземные воды и 4) большое число прочих веществ, которые нельзя отнести ни к одной из вышеперечисленных групп. Этой последней группе неметаллических полезных ископаемых, или иначе группе промышленных пород и минералов, и посвящена данная книга.

Термин *неметаллические полезные ископаемые*, или *неметаллы* краток и удобен и в дальнейшем изложении он широко применяется особенно в тех случаях, когда проводится аналогия с минералами — рудами металлов. Однако термин *промышленные породы и минералы* нагляднее и точнее передает широту использования и двойственную природу материалов, объединенных в данную группу. Убеждает нас в этом рассмотрение хотя бы некоторых областей применения этих материалов в промышленности. Более половины добычи неметаллических полезных ископаемых по стоимости (а по тоннажу значительно больше) потребляет строительная промышленность в виде дробленого и штучного камня и сырья для цементной промышленности, производства кирпича, черепицы и изоляторов. Сера, соль и известняки — основные материалы химической промышленности. Современное сельскохозяйственное производство все более зависит от применения фосфатов, нитратов и калийных солей. Глины вместе с полевыми шпатами, тальком и другими минералами составляют основу керамической промышленности. Известняки и флюорит столь же необходимы металлургии, как и железная руда. Металлургической промышленности необходимы также графит, магнезит, формовочные пески и огнеупорные глины. Другие горные породы и минералы используются в производстве абразивов, электроизоляторов, буровых растворов для нефтяных скважин, фильтрующих средств и смазочных материалов, используемых при очень высоких температурах.

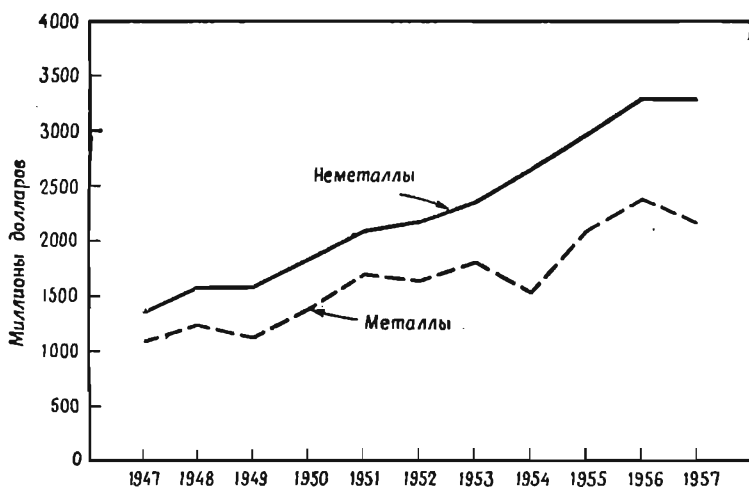
Для современной промышленности в настоящее время совершенно необходимы по меньшей мере 35 различных пород и минералов.

Широта применения неметаллических полезных ископаемых в промышленности отражается в величине и стоимости их ежегодной добычи. По размерам годовая добыча камня, песка и гравия в тоннах не уступает величине ежегодной добычи угля вместе с рудами металлов. Американское бюро общественных дорог подсчитало в 1956 г., что принятая программа строительства дорог потребует, кроме всего прочего, 1399 млн. баррелей¹ цемента и 9170 млн. т заполнителей для бетона. Даже добыча относительно дорогостоящих минералов требует переработки огромного объема породы. Так, на каждой из нескольких асбестовых обогатительных фабрик в Квебекском асбестовом районе ежедневно перерабатывается до 15 тыс. т породы. В течение полувека, с 1900 по 1950 г., стоимость (в устойчивых долларах) металлических полезных ископаемых, добытых в США, возросла немногим больше, чем в два раза, в то же время стоимость неметаллов, использованных в строительстве, увеличилась более чем в пять раз, а некоторых неметаллов — даже в 11 раз. Как видно из фиг. 1.1, ежегодная валовая стоимость нерудных полезных ископаемых в настоящее время не только больше валовой стоимости металлов, но и увеличивается она значительно быстрее по сравнению с металлами.

Вокруг поисков нефти и благородных металлов возник дух приключений и романтики. Недавно мы были свидетелями того же в отношении урана. Хотя добыча золота никогда не может сравниться с добычей песка и гравия, тем не менее некоторые неметаллические полезные ископаемые добываются из месторождений, по стоимости сравнимых с богатейшими месторождениями металлов. В качестве примера можно привести алмазные поля Конго, месторождения буры в Калифорнийской пустыне и месторождения асбеста в восточном Квебеке. При чтении этой книги студент-геолог обнаружит, что большое разнообразие процессов, приводящих к образованию пород и минералов, проблемы обнаружения и разработки их месторождений, делают учение о неметаллических полезных ископаемых весьма привлекательной областью науки. Кроме того, для любознательных, пытливых

¹ Баррель цемента составляет 376 фунтов. Другая мера цемента СЭК (куль) составляет четверть барреля (94 фунта) или около 1 куб. фута.

геологов, инженеров и химиков в изучении дальнейшего использования и промышленного применения горных пород и



Фиг. 1.1. Стоимость неметаллических и металлических полезных ископаемых, добытых в США в период с 1947 по 1957 г. (в миллионах долларов).

минералов открывается много манящих дорог. Давайте рассмотрим некоторые характерные особенности этой группы полезных ископаемых.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Различия в условиях образования и распространения в природе

Широкий диапазон применения неметаллических полезных ископаемых в промышленности, о чем упоминалось раньше, соответствует большому разнообразию условий образования и нахождения этих полезных ископаемых в природе. Если рассмотреть хотя бы первую группу изверженных пород (гл. 3), то в ней мы обнаружим кислые интрузивные породы (граниты), основные интрузивные породы (диабазы), основные излившиеся породы (базальты), ярко выраженную пирокластическую породу (пемзу) и стекловатые породы (перлиты), среди которых присутствуют неизменные первичные экстрезивные породы и продукты изменения

обсидианов или риолитов. Подобное разнообразие характерно и для других групп промышленных пород. Еще в большей мере оно свойственно группам промышленных минералов. Очевидно, геология этих материалов не объединяется в единое целое одним или двумя основными положениями. Напротив, специалист, изучающий геологию неметаллических полезных ископаемых, сам придет к выводу, что эти полезные ископаемые охватывают всю сферу геологических процессов. Он познает, что действительно есть все основания для термина *неметаллы*. Одним словом, легче сказать, что не входит в понятие *неметаллические ископаемые*, чем ответить на вопрос, что они из себя представляют. Разнообразное использование неметаллических полезных ископаемых в промышленности и различие условий их залегания в природе затрудняет разработку их классификации. В следующей главе эти вопросы рассматриваются более подробно.

Взаимосвязь с промышленностью

Промышленные породы и минералы и многочисленные продукты, полученные из них, сложно связаны с промышленным производством. Производство или обработка одного из неметаллических полезных ископаемых невозможна без применения других видов неметаллических ископаемых. Добыча серы методом Фраша, ведущаяся на побережье Мексиканского залива, требует огромного количества пресной воды, которую перед закачиванием в скважины необходимо профильтровать и предварительно обработать. На одном крупном заводе для этих целей используется не менее семи химических реактивов¹. Эти химикаты производятся шестью различными компаниями, расположенными в разных частях страны, из известняка, каменной соли, доломита и других полезных ископаемых. Большая часть серы, добываемой с помощью этих материалов, перерабатывается в серную кислоту, третья часть которой в свою очередь идет на производство других неметаллических полезных ископаемых и переработку фосфатных пород при изготовлении из них удобрений. На некоторых крупных заводах, производящих высококачественные заполнители, песок и гравий отделяются от нежелательных примесей в тяжелых средах с применением ферросилиция, который готовится из песка с высоким

¹ Безводный ортофосфат натрия, белая известь, каустическая сода, безводный сульфит натрия, 58%-ная легкая сода (сода Сольве), гашеная доломитовая известь, нитрат натрия.

содержанием кремнезема, т. е. из другого неметаллического полезного ископаемого. Гашеная известь используется при распиловке песчаника на штучный камень для предотвращения появления железистых пятен. Пожалуй, почти невозможно представить себе обработку одного неметаллического полезного ископаемого без применения других видов неметаллов.

Неметаллические полезные ископаемые используются также в металлургической и нефтяной промышленности. Согласно последним данным¹, при выплавке железа и производстве стали в районах западного побережья США около 15% стоимости материалов, загружаемых в металлургические печи, приходится на долю нерудных ископаемых. Это в основном флюсы и огнеупоры: шамотные глиняные огнеупоры, известняки, доломиты, флюорит, формовочные пески и бентониты. Если говорить о нефтяной промышленности, то в далеко не полный список неметаллов, используемых этой промышленностью, попадут барит и бентонитовые глины для бурения скважин, песок для создания искусственной трещинной зоны в скважинах, флюорит, соль, сера и некоторые типы глин для очистки нефти.

Читателю, наверное, показалось, что многие неметаллические полезные ископаемые применяются в промежуточных стадиях различных промышленных процессов и производств, о которых большинству из нас почти или вообще ничего не известно. Мы не можем не знать, конечно, что песок используется при изготовлении бетона, камень — в строительстве зданий, соль за обеденным столом, но немного удивительно, например, узнать, что любой из жителей США ежегодно «употребляет» серной кислоты вдвое больше, чем сахара. Короче говоря, применение многих неметаллических полезных ископаемых в промышленности настолько специфично, что большинство потребителей никогда и не слышало о них.

Значение физических свойств

При изготовлении изделий из меди совершенно безразлично, откуда получен металл: из бедных порфировых месторождений, из системы жильных залежей или из других типов месторождений, медь остается медью, откуда бы ее ни добывали. То же можно сказать о химических продуктах, полученных из некоторых неметаллических полезных ископаемых.

¹ K. W. Mote (1958). Industrial minerals used in California's iron and steel industry, Min. Eng., 10, 765—767.

Хлор остается хлором независимо от того, получен он из соляных рассолов в Нью-Йорке, соляных пластов в Мичигане или из соляных куполов на побережье Мексиканского залива. Но большая часть неметаллических полезных ископаемых ценится именно за свои физические свойства, которые остаются неизменными в конечном продукте. В качестве примера таких неметаллических полезных ископаемых можно привести статуарный камень, дробленый камень, используемый в качестве заполнителя бетона, слюду, асбест, диатомит и графит. Потребителям графита, например, хорошо известно, что графит различных месторождений резко отличается по чистоте, размерам и форме частиц, твердости и смазочным свойствам. Таким образом, характер природных образований многих неметаллических полезных ископаемых определяет пути их использования в промышленности. Поэтому геологи, занимающиеся изучением нерудных полезных ископаемых, должны знать возможности конечного использования любого данного вида нерудного сырья в промышленности значительно лучше, чем их коллеги, изучающие рудные полезные ископаемые. Как отмечает Лэски¹, «линия, разделяющая геологию и экономику, выражена очень нечетко». Но ни в одной области она не является столь неясной, как в области неметаллических полезных ископаемых.

Заменители и синтез

Многие виды неметаллических полезных ископаемых находятся под постоянной угрозой замены другими материалами. Некоторые из этих материалов сами являются неметаллическими ископаемыми. Гравий для заполнения бетонных смесей может быть заменен более подходящим дробленным камнем, полевой шпат в керамике заменим тальком и нефелиновым сиенитом. Некоторые неметаллические полезные ископаемые находятся под угрозой замены их искусственными продуктами. Так, строительный камень постоянно конкурирует с кирпичом, кровельные сланцы — с искусственными кровельными материалами. Корунд, который в течение многих лет применялся в качестве абразивного материала, почти вытеснен из этой области применения карбидом кремния и другими искусственными продуктами. В общем, чем разнообразнее свойства природного материала, тем вероятнее, что он не только удержит за собой существующие об-

¹ S. G. Lasky (1950). Mineral-resource appraisal by the U. S. Geological Survey, Colo. School of Mines Quart., 45, № 1A, 10.

ласти применения промышленности, но даже расширит их.

Для некоторых высокоценных неметаллических полезных ископаемых существует другая проблема, а именно проблема замены их аналогичными синтетическими минералами. Промышленный синтез пьезокварца и технических алмазов уже решенная проблема. Теперь усилия направлены, правда пока еще без особых успехов, на синтез промышленного мусковита и асбеста в размерах, достаточных для применения в промышленности¹. Основная задача этих исследований заключается в том, чтобы, решив проблему промышленного синтеза мусковита и асбеста, освободить страну от зависимости от иностранных источников. Кроме того, синтетические продукты должны обладать однородными качествами и низкой ценой.

Стоимость транспортировки к месту потребления и средняя цена единицы товарной продукции

Если в стоимости полезного ископаемого значительную долю составляет стоимость его транспортировки от места добычи, то говорят, что этот материал обладает высокой *стоимостью транспортировки к месту потребления* (place value). Обычный песок или гравий являются ценными полезными ископаемыми, если их месторождения расположены рядом с промышленным центром или крупным строительным объектом. Они применяются в качестве заполнителей бетона, и их основная функция в нем — заполнить пространство между цементом. Поскольку это громоздкие, тяжелые материалы, не обладающие особыми специфическими свойствами (они с успехом могут быть заменены дробленным камнем), стоимость одной тонны песка или гравия, или *средняя цена единицы товарной продукции* (unit value), относительно низкая и она должна резко уменьшаться с увеличением расстояния от места потребления для того, чтобы эксплуатация карьера была рентабельна. Высокая стоимость транспортировки к месту потребления хорошо подтверждается тем, что только небольшое количество гравия перевозится из округа в округ, еще меньше — из штата в штат и никогда гравий не перевозится с одного побережья на другое морским путем.

С другой стороны, стоимость таких полезных ископаемых, как технические алмазы или листовая слюда, определяется их специфическими свойствами или комплексом свойств —

¹ W. A. Weyl (1953). Synthetic minerals, Economic geology, 48, 288—305; 1955 Fiftieth Anniversary Volume, 282—299.

твердостью, гибкостью, диэлектрической прочностью, устойчивостью к кислотам. Эти характерные, только им присущие свойства так повышают среднюю цену единицы товарной продукции этих полезных ископаемых, что становится возможной перевозка их к месту потребления даже из весьма отдаленных мест добычи. Благодаря невысокой стоимости перевозки таких полезных ископаемых они представляют собой предмет широкой международной торговли.

Выше приведены крайние примеры. Большая часть неметаллических полезных ископаемых имеет промежуточные значения средней цены единицы товарной продукции и стоимости транспортировки к месту потребления. Для каждого из неметаллических полезных ископаемых эти стоимостные характеристики могут меняться время от времени в зависимости от новых условий: открытия новых месторождений, появления заменителей, усовершенствования процессов переработки и обогащения.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

В геологии неметаллических полезных ископаемых применяется ряд специфических терминов. Кроме того, некоторые одинаковые наименования пород и минералов по-разному понимаются в геологии и промышленности. Такие случаи рассматриваются в соответствующих разделах. Однако некоторые общие термины требуют кратких комментариев.

Термин *руда* (*ore*) происходит от англо-саксонского слова, обозначающего кусок металла, вероятно меди или бронзы. Оно обычно применялось к агрегату минералов, из которых экономически выгодно получить один или несколько металлов. В последние годы это понятие несколько изменилось, и теперь считается, что получаемое из руды вещество не обязательно должно быть металлом¹. Хотя термин *руда* в этой книге используется нечасто, автор считает, что он применим только к отдельным неметаллическим полезным ископаемым, которые при добыче приходится отделять от ассоциирующего с ними ненужного материала. В таких выражениях, как «плавиковая руда» или «серная руда», есть смысл, и они не нарушают традиционного смысла этого термина. С другой стороны, такие термины, как *известняковая руда* или *перлитовая руда*, которые можно встретить в лите-

¹ W. R. Jones (1954). Ore: what is it? Can. Min. and Met. Bull., 47, № 502, 106—107; B. W. Brown (1956), A modern definition of ore, Economic Geology, 51, 282—283.

ратуре, совершенно неприемлемы, так как они относятся к материалам, которые добываются и используются целиком, не подвергаясь никакому разделению на минералы.

Термин *поиски* (prospecting) означает поисковые работы для обнаружения промышленно ценного месторождения полезного ископаемого¹. В некоторых отраслях горной промышленности, особенно в нефтяной, термин *поиски* используется в качестве синонима термина *разведка* (exploration) — процесса изучения обнаруженного месторождения с целью определения размеров, формы и промышленной ценности месторождения. В этой книге термин *разведка* применяется только в смысле изучения уже обнаруженного месторождения. Термин *подготовительные работы* (development) означает подготовку месторождения к эксплуатации, но часто это понятие расширяют, включая в него и сам процесс разработки месторождения.

Термин *рудник* (mine) обычно применяется к подземным горным разработкам (неважно, как утверждает Марк Твен, кто копает: лжец или честный человек). Но этот термин употребляют иногда и к открытым карьерам, мелким выработкам и даже к группе скважин для извлечения расплавленной серы вместе с находящимися на поверхности вспомогательными сооружениями. В таком случае термин *добыча* (mining) означает различные способы извлечения полезных ископаемых, применяемые на таких горных предприятиях.

Основные тенденции в технологии и исследовании

При разработке полезных ископаемых естественно возникает заинтересованность в сокращении стоимости работ на всех этапах добычи и переработки минерального сырья. Поскольку большинство добываемых неметаллических полезных ископаемых имеет большие объемы с низкой стоимостью единицы товарной продукции, основные усилия направляются на расширение механизации добычи. Современные горные машины непрерывного действия и конвейеры на подземных работах, мощные экскаваторы и земснаряды на открытых разработках в значительной степени удешевляют перемещение огромного объема горных пород. На некоторых месторождениях по экономическим соображениям применяются подземные разработки, но обычно открытая разработка значительно дешевле подземной, и поэтому ее стремятся вести

¹ J. B. Thoenen (1932). Prospecting and exploration for sand and gravel, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 6668, 10.

езде, где только возможно. Большинство неметаллических полезных ископаемых добывается путем валового извлечения или общепринятыми горными методами, но некоторые полезные ископаемые, такие, как слюда и кристаллооптическое сырье, не могут быть добыты никакими другими способами, кроме мелких выработок, проходимых с использованием дорогого ручного труда.

Обогащению добытого материала также придается большое значение. Для обогащения неметаллических полезных ископаемых применяется самая разнообразная технология — от простого дробления, промывки и отсева по крупности до сложных процессов воздушной сепарации и флотации. Флотация, впервые примененная для обогащения металлических руд, теперь успешно используется при обогащении фосфатных пород, цементного сырья, флюорита, полевого шпата, талька, силвина и других неметаллов. Другие процессы обогащения неметаллических ископаемых описываются в разделах, посвященных отдельным неметаллическим полезным ископаемым. Следует отметить, что еще далеко не все проблемы обогащения неметаллических полезных ископаемых разрешены. Например, до сих пор не разработан экономически целесообразный метод обогащения руд, содержащих тонкозернистый берилл.

Параллельно с совершенствованием техники добычи и переработки пород и минералов ведутся поиски новых областей применения получаемых продуктов. Обзор состояния промышленности неметаллических полезных ископаемых приводит к заключению, что успешно развиваются те отрасли промышленности и предприятия, которые широко используют результаты исследований по применению и сбыту продуктов, в то время как предприятия со слабой программой исследовательских работ или вовсе не ведущие их оказываются неконкурентноспособными. Среди многих хорошо известных неметаллических полезных ископаемых, находящихся все новые и новые области применения, можно назвать пемзу, которая в течение многих лет занимала скромное место в качестве одного из обычных природных абразивов. В 40-х годах нашего века была доказана возможность использования пемзы в качестве легкого заполнителя бетона, и с тех пор производство ее увеличилось во много раз (фиг. 3.3, стр. 75). Применение талька в керамике впервые началось в 1930 г., а уже в 1957 г. его потребление в керамике составило 32% от значительно возросшей добычи по сравнению с 1930 г. В результате научных исследований на рынке появляются все новые минеральные продукты. Пер-

лит, который еще в 1945 г. считался изверженной породой, не имеющей практического значения, в настоящее время является основой новой процветающей отрасли промышленности. Разработка крупного месторождения нового промышленного минерала с высоким качеством сырья может быть начата даже при наличии только уверенности, что этот минерал найдет применение в промышленности. Так, в штате Нью-Йорк было полностью разведано месторождение волластонита и в 1952 г. построена обогатительная фабрика стоимостью 2 млн. долл., хотя еще не было найдено потребителей для всех продуктов этой фабрики, за исключением одной фракции волластонитового концентрата. Параллельно со строительством обогатительной фабрики велись исследования волластонитового концентрата и побочных продуктов обогащения волластонитовой руды, в результате которых была установлена возможность почти полного использования получаемых фабрикой продуктов. Обогатительная фабрика строилась с таким расчетом, чтобы можно было при необходимости изменять и совершенствовать схему обогащения¹.

РОЛЬ ГЕОЛОГА

Круг неметаллических полезных ископаемых настолько широк, что о работе геолога можно сказать только в общих чертах. Производящий концерн, привлекая к работе геолога, требует от него участия в одной или нескольких следующих сферах деятельности: 1) общих геологических исследованиях; 2) поисках новых месторождений; 3) промышленной оценке проявлений полезных ископаемых; 4) расширении запасов известных месторождений; 5) подготовке месторождений к промышленному освоению².

Общие геологические исследования, направленные на выяснение закономерностей распространения и происхождения полезных ископаемых, обогащающие геологическую теорию и поднимающие ее значение в открытии новых месторождений, до сих пор не получили должного развития. В некоторых

¹ R. B. Ladoo (1954), Wollastonite, a new industrial mineral, *Pit and Quarry*, 47, № 6, 52—56.

² По методике поисков и разведок существует обширная литература на русском языке, в том числе ряд общих руководств (А. С. Великого, А. К. Войтовича и А. А. Розина, В. С. Домарева, В. М. Крейтера, В. И. Смирнова, А. А. Яжжина и др.); сведения о методах промышленного изучения отдельных неметаллических полезных ископаемых можно найти в соответствующих выпусках: «Требования промышленности к качеству минерального сырья», «Оценка месторождений при поисках и разведке», «Инструкции к применению классификации запасов». — *Прим. ред.*

отраслях промышленности неметаллических полезных ископаемых в проведении широких теоретических геологических исследований нет острой необходимости. Например, известные запасы каменной соли настолько велики, что на их базе возможно значительное увеличение добычи. Но запасы большинства неметаллических полезных ископаемых ограничены, и в ближайшем будущем появится необходимость в освоении новых месторождений, а современная геологическая теория не может оказать существенной помощи в обнаружении этих месторождений. Это особенно справедливо в отношении полезных ископаемых, залегающих под значительными толщами пустых пород — калийных солей, троны, буры, серы соляных куполов. (Главная причина щедрой поддержки нефтяной промышленностью общетеоретических геологических исследований заключается в том, что нефть и газ всегда встречаются только в скрытых на больших глубинах месторождениях.) Нет основания считать, что большая часть месторождений ценных неметаллических полезных ископаемых уже открыта. Высказывание Беннермена о металлах в равной мере можно отнести и к некоторым неметаллическим полезным ископаемым: «Трудности, с которыми сталкивается минеральная промышленность в настоящее время, заключаются не в отсутствии месторождений, а в недостаточности наших знаний о том, как их обнаруживать»¹. Детальное геологическое картирование и изучение отдельных месторождений, а также крупномасштабное картирование рудных районов возглавляется Комитетом по общим исследованиям². Можно ожидать, что в будущем к работе такого рода будет привлекаться все больше геологов.

Студенту может показаться невероятным, что большинство месторождений полезных ископаемых в прошлом было открыто не геологами. Но если говорить о металлах, то большинство выходящих на поверхность месторождений было обнаружено старателями, которые «тщательно исследовали поверхность Земли, особенно внимательно испытывая образцы пород, выглядевшие необычно, и, что особенно важно, проходили горные выработки, шахты и штольни с целью изучения малейших проявлений полезных ископае-

¹ H. M. Bannerman (1957). The search for mineral raw materials, Min. Eng., 9, 1108.

² J. L. Gillson, R. H. Jahns (1947). Report of committee on basic research in the field industrial minerals and rocks, Economic Geology, 42, 737—746.

мых»¹. Магнетито-бруситовое месторождение у Габбса. Невада, открыто старателем, то же можно сказать о крупнейшем в США месторождении вермикулита Либби в Монтане, которое было открыто благодаря выявлению старателем следов ванадия во вмещающих породах. Этот список можно продолжить. Что касается месторождений неметаллических полезных ископаемых, залегающих на большой глубине, то многие крупнейшие из этих месторождений были обнаружены случайно при бурении на другие полезные ископаемые.

Так, крупные калийные месторождения штата Нью-Мексико найдены при бурении на нефть, также была открыта и сера в районе побережья Мексиканского залива. Крупнейшие месторождения боратов в Калифорнии обнаружены при бурении на воду. В прошлом систематические геологические исследования отдельных территорий были большой редкостью, да и теперь они проводятся в ограниченных масштабах, в основном при поисках массового сырья — строительных материалов, флюсов, песков и гравия, мало интересующих старателей. Геологические исследования начинаются обычно с тщательного знакомства с литературой, особенно по тем районам, в которых известны проявления интересующего геолога-разведчика полезного ископаемого. Другими словами, отправной пункт в такой работе — список месторождений полезных ископаемых, зарегистрированных ранее. Полевые исследования в отдаленных малоизученных районах проводятся с использованием аэрофотоматериалов, аэромагнитной съемки и других современных методов поисков и разведки. Цель подобных геологических работ — как общее изучение района, так и поиски месторождений полезных ископаемых.

Если открытое месторождение имеет перспективы промышленного значения, оно должно быть тщательно изучено и оценено. При оценке месторождения учитываются следующие факторы: 1) размещение месторождения с учетом транспортировки и сбыта добытого полезного ископаемого; 2) количество и качество полезного ископаемого; 3) возможность отработки месторождения; 4) обогатимость и другие технологические свойства полезного ископаемого; 5) наличие воды, топлива и, наконец, энергетических ресурсов и другого необходимого сырья в данном районе¹. Разу-

¹ V. E. McKelvey (1950). The field of economic geology of sedimentary mineral deposits, in P. D. Trask, ed., Applied Sedimentation, New York, Wiley, 493.

меется некоторые из этих факторов негеологические, тем не менее для оценки месторождения геолог должен собрать данные по всем перечисленным пунктам, за исключением, возможно, первого. Разрешение большинства проблем по оценке месторождения требует участия целого коллектива специалистов. Геолог должен быть тесно связан с горным инженером, отвечающим за добычу полезного ископаемого, а также со специалистом по обогащению, обеспечивающим экономическую эффективность процесса обогащения. Усилиями такой группы специалистов определяется объем полезного ископаемого, который может быть добыт на месторождении и экономически выгодно использован. Это требует намного большей точности и более крупномасштабных исследований по сравнению с применяемыми геологами при составлении обычных отчетов и карт. При разведке месторождения проводится картирование масштаба 200 футов в дюйме или крупнее. Определяется состав вмещающих пород, мощность и характер вскрыши. Изучается изменение качества полезного ископаемого по поверхностным образцам и данным бурения. Бурением прослеживают, кроме того, залежь на глубину. Затем предпринимается попытка оконтурить залежь полезного ископаемого по *бортовому содержанию* (cutoff limit), за пределами которого разработка полезного ископаемого экономически нецелесообразна. Примерами факторов, которые контролируют бортовое содержание в залежи, могут служить определенное количество магния в известняках или степень пластичности глин. В арканзасских баритовых месторождениях бортовое содержание для баритовой руды определяется количеством в руде сланцев и других примесей. Бортовое содержание здесь выражается определенным значением удельного веса. Руда с удельным весом ниже 3,2 считается непригодной для разработки. Все эти вопросы должны быть выяснены в процессе разведки до начала освоения месторождения — строительства обогатительной фабрики, железнодорожной ветки и прочих сооружений. Необходимость точного предварительного опробования и изучения месторождения определяется тем, что «на одном карьере или шахте могут встречаться одновременно различные типы руд (чистая руда, загрязненная руда, окисленная руда и др.) и пустых пород¹». В статье, из которой взята приведенная выше цитата, подробно рассмотрены геологи-

¹ J. E. Castle (1950). Economic evaluation of an industrial mineral project, Min. Eng., 10, 677.

ческие и иные факторы, которые необходимо принимать во внимание при оценке нового месторождения.

Прослеживание разрабатываемых залежей и нахождение новых в пределах известного рудного района проводится теми же способами, которые только что описаны. Геолог здесь работает в тесном контакте с инженером. Запасы большинства пластообразных осадочных полезных ископаемых, подобных известняку, или нерудных материалов, подобных пескам и гравиям, распространение которых контролируется рельефом, могут быть увеличены благодаря тщательному картированию и исследованию образцов этих пород, отобранных из естественных обнажений, скважин, шурфов и опытных шахт. Как это ни странно, трудноразрешимые проблемы могут возникнуть даже в отношении сравнительно простых полезных ископаемых. Так, прослеживая в боковых направлениях мощные слои гипса на разрабатываемом месторождении в Новой Шотландии, установили, что иногда гипс резко и причудливо замещается ангидритом, не представляющим практической ценности. Геологам пришлось затратить немало труда, чтобы разобраться во взаимоотношениях этих пород. Для расширения запасов известных месторождений или нахождения новых месторождений неметаллических полезных ископаемых, залегающих в структурно очень сложно построенных комплексах, как, например, фосфатные месторождения Айдахо или флюоритовые месторождения штатов Иллинойс — Кентукки, необходимо проводить детальное картирование с применением бурения.

В повседневной работе рудничному геологу приходится решать вопросы, совершенно отличные от рассмотренных выше. Она аналогична работе, проводимой в районном отделении нефтяной компании, и заключается в постоянном учете и обобщении данных по разрабатываемым месторождениям. На крупномасштабные карты ежедневно наносятся новые данные. Таким образом, на этих картах отражаются все данные, собранные день за днем в забоях карьеров, подземных выработках и буровых скважинах. К этим картам обычно прилагаются детальные разрезы. Нередко в геологической службе рудника можно увидеть блок-диаграммы разрабатываемого месторождения. Сбросы, складки, выклинивания и другие нарушения нормального залегания рудного горизонта картируются и проектируются в направлении проводимых эксплуатационных работ. Эта работа иногда бывает однообразна и трудоемка. В качестве примера такой работы можно привести подсчет и регистрацию тончайших жилок хризотил-асбеста в керне серпентинита на асбестовом месторождении.

Но только благодаря такой кропотливой работе геолог получает данные о полезных ископаемых в недрах, сведения о запасах месторождения к некоторому моменту и, очевидно, наиболее достоверные материалы для понимания генезиса месторождения.

В некоторых необходимых случаях геолог может участвовать в руководстве горных работ на руднике, обогащении полезного ископаемого или операциях по сбыту продукции.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Свойства и применение неметаллических полезных ископаемых, распространение месторождений, методы добычи и обогащения, сведения о торговле, перевозках и ценах, а также библиография по всем этим вопросам приводятся в следующих трех книгах. Это основные работы, к которым следует в первую очередь обращаться всем интересующимся неметаллическими полезными ископаемыми:

1. Неметаллические полезные ископаемые (1959). (Industrial Minerals and Rocks, 3 ed., New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers).
2. Л а д у, М а й е р с (1951). Неметаллические минералы (R. B. Laddo, W. M. Myers, Nonmetallic Minerals, 2ed., New York, McGraw Hill).
3. Факты и проблемы промышленности минералов, 1956 (Mineral facts and problems, 1956, U.S. Bureau of Mines Bull., 556, Washington, D. C., Government Printing Office).

Статистические данные по неметаллическим полезным ископаемым и краткие сводки всех изменений в промышленности минералов приводятся в ежегодниках Горного бюро США (Minerals Yearbook, Washington, U. S. Bureau of Mines, D. C., Government Printing Office).

Ниже приводится список основных работ по экономической геологии и месторождениям рудных и неметаллических полезных ископаемых:

- Бэтман (1950). Промышленные минеральные месторождения (A. M. Bateman, Economic Mineral Deposits, 2ed., New York, Wiley).
- Бэйли (1930). Неметаллическое минеральное сырье (W. S. Bayley, Non-metallic Mineral Products, New York, Holt).

Эммонс (1940). Основные принципы экономической геологии (W. H. Emmons, Principles of Economic Geology, 2ed., New York, McGraw-Hill).

Лилли (1936). Геология промышленных месторождений полезных ископаемых (E. R. Lilley, Economic Geology of Mineral Deposits, New York, Holt).

Линдгрэн (1933). Минеральные месторождения (W. Lindgren, Mineral Deposits, 4 ed., New York, McGraw-Hill).

Райс (1937). Экономическая геология (H. Ries, Economic Geology, 7 ed., New York, Wiley).

Тарр (1930). Введение в экономическую геологию (W. A. Tarr, Introduction to Economic Geology, New York, McGraw-Hill).

В двух весьма ценных книгах рассматриваются вопросы сбора и систематизации первичных геологических материалов, их обработка и оформление:

1) Феррестер (1946). Полевая и рудничная геология (J. D. Forrester, Field and Mining Geology, New York, Wiley).

2) Мак-Кинстри (1948). Рудничная геология (H. E. McKinstry, Mining Geology, New York, Prentice — Hall).

Рост значения неметаллических полезных ископаемых в промышленности от того скромного положения, которое они занимали прежде, до современного промышленного значения освещается в работе Баулса «Семьдесят пять лет прогресса неметаллических полезных ископаемых» (O. Bowles (1948). Seventy-five years of progress in the nonmetallics, Seventy-five Years of Progress in the Mineral Industry, New York, A. I. M. E., 303—357).

Исчерпывающий анализ сырьевых проблем Соединенных Штатов можно найти в пяти томах Президентской комиссии материальной политики (под председательством Пэли), 1952. (The President's Materials Policy Commission (W. S. Paley, Chairman), 1952, «Resources for Freedom, 5 volumes, Washington, D. C., Government Printing Office.)

В этом так называемом «Докладе Пэли» («Paley report») для студентов, интересующихся неметаллическими полезными ископаемыми, особенно будет полезна гл. 7 т. I «Развитие минеральных ресурсов» и гл. 16, 18 и 19 т. II, в которых рассматриваются отдельные стратегические неметаллические полезные ископаемые, а в т. IV раздел «Перспективы развития технологий».

Данные о мировых минеральных ресурсах и международной торговле приводятся в атласе ван Ройена и Баулса, 1952, «Минеральные ресурсы мира» (W. van Royen, O. Bowles, *The Mineral Resources of the World*, New York, Prentice-Hall).

Сведения о важных стратегических минералах содержатся в книге Де Милле «Стратегические минералы» (1947). (J. V. DeMille, *Strategic Minerals*, New York, McGraw-Hill).

Введением в экономику минерального сырья может служить книга Воскуила «Минералы в мировой промышленности» (1955). (W. H. Voskuil, *Minerals in World Industry*, New York, McGraw-Hill).

Геологические управления некоторых штатов США выпустили общие обзоры по месторождениям полезных ископаемых этих штатов. Автор считает из этих обзоров особенно ценной книгу под редакцией Райта «Минеральные богатства Калифорнии» (1957) (L. A. Wright (ed.), *Mineral commodities of California*, Calif. Div. Mines Bull., 176).

Ценным введением в геологию месторождений неметаллических полезных ископаемых Канады является книга «Геология промышленных месторождений полезных ископаемых Канады» (1957) (Canadian Institute of Mining and Metallurgy, *The Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits*, Montreal, Canad. Inst. Ming. and Met.).

В конце описания отдельных неметаллических полезных ископаемых приводятся наиболее важные работы по геологии этих материалов.

КЛАССИФИКАЦИЯ

Рациональное изучение ряда различных, но связанных между собой объектов требует определенной классификации или упорядочения¹. Каким же образом следует классифицировать промышленные горные породы и минералы при их геологическом изучении?

ТРАДИЦИОННАЯ ГРУППИРОВКА

В вышеупомянутых трех основных книгах, посвященных неметаллическим полезным ископаемым, вопросы классификации решаются приблизительно одинаково. В каждой из этих работ число описываемых видов неметаллических ископаемых колеблется от 35 до 90, в зависимости главным образом от личной склонности авторов к объединению в группы или, наоборот, подразделению близких видов полезных ископаемых. Список наиболее важных неметаллических ископаемых приведен в табл. 2.1. Этот список составлен в алфавитном порядке. Такое расположение отдельных видов неметаллических ископаемых в списке удобно для получения общих сведений о свойствах, применении, основных типах месторождений, методах добычи и обогащения и основных статистических данных по каждому из этих ископаемых.

Однако этот порядок вряд ли целесообразен при геологическом изучении нерудных ископаемых. Никто не станет изучать минералы или полезные ископаемые в алфавитном порядке. Кроме того, такая классификация включает явно различные категории неметаллических полезных ископаемых:

Минералы: асбест, барит и др.

Горные породы: гипс, фосфатные породы и др.

Группы пород: дробленый камень, штучный камень

Заводские продукты: цемент, известь

Сложные группы: абразивы, огнеупоры.

¹ Эта глава представляет собой переработанный вариант статьи автора «Классификация неметаллических полезных ископаемых», опубликованной в журнале *Economic Geology*, 1959, 54, 248—253.

Таблица 2.1

**Условный список наиболее важных неметаллических
полезных ископаемых**

Абразивы	Магнетит
Алмаз	Натровые минералы
Асбест	Нефелиновый сениит
Барит	Нитраты
Берилл	Огнеупоры
Бораты	Пемза и пумицит
Вермикулит	Перлит
Гипс	Песок и гравий
Глины	Полевой шпат
Графит	Пьезокварц
Диатомит	Сера
Дробленый камень	Сланец
Известняк	Слюда
Калиевые минералы	Соль
Литиевые минералы	Тальк
	Флюорит
	Фосфатные породы
	Цемент
	Штучный камень

Разумеется, логическим объектом геологического изучения являются минералы и породы. Естественно, что изучать геологию разнородных групп пород, производственных продуктов или природных и искусственных веществ нерационально, вернее, невозможно. Особенно очевидна недостаточность геологического обоснования в такой группе, как абразивы, которая включает:

Минералы: алмаз, гранат и др.

Горные породы: песчаник, пумицит и др.

Искусственные продукты: карбид кремния, плавленый глинозем и др.

В табл. 2.1 не входят такие породы, как гранит, базальт, мрамор, песчаник и известняк. Чтобы, например, найти сведения об известняке, надо просмотреть разделы о цементе, дробленом камне, штучном камне и извести (а в более обширном списке неметаллических полезных ископаемых надо смотреть также мел, отбеливающие вещества, литографский камень и другие полезные ископаемые). Ясно, что традиционная группировка неметаллических ископаемых, основанная на эконо-

мическом принципе (по применению в промышленности), неприемлема для изучения их геологии (их распространения в природе).

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

Можно твердо придерживаться строго геологической линии, подразделяя неметаллические полезные ископаемые на три основные группы: изверженные, метаморфические и осадочные с более дробным делением внутри каждой группы. Но и такая классификация имеет недостатки. Во-первых, отдельные породы и минералы попадут в различные основные группы, что сделает изложение предмета малосвязным. Во-вторых, эта классификация оторвана от экономических факторов. Генетическая классификация столь же неудобна при использовании ее для разрешения прикладных вопросов, связанных с применением неметаллических полезных ископаемых в промышленности, как условная классификация в вопросах распространения отдельных полезных ископаемых в природе. Очевидно, необходима классификация, которая включала бы элементы и геологические, и экономические.

ОСНОВА ПРЕДЛАГАЕМОЙ КЛАССИФИКАЦИИ.

Один из недостатков условного списка неметаллических полезных ископаемых (табл. 2.1) заключается в том, что в нем такие материалы, как песок и гравий, дробленый камень и гипс, приравнены к техническим алмазам, листовой слюде и пьезокварцу. Первые из названных неметаллических ископаемых резко отличаются от последних во многих отношениях, например объемом добычи, стоимостью единицы товарной продукции, стоимостью транспортировки к месту потребления и доступностью месторождений.

В качестве основы для подразделения всех неметаллических полезных ископаемых на две большие группы представляется целесообразным выбрать несколько критериев, прежде всего экономических. Эти критерии приведены в табл. 2.2.

В этой таблице песок и гравий, очевидно, относятся к группе I. Они производятся в огромных количествах, а стоят всего один-два доллара за тонну. Значение их стоимости транспортировки к месту потребления таково, что они выдерживают перевозку от месторождения до места потребления на расстояние не более двух десятков миль. Очень редко песок и гравий являются предметом международной торговли. Месторождения песка и гравия многочисленны и широко распространены,

Таблица 2.2

Критерии для подразделения неметаллических полезных ископаемых

Критерии	Группа I	Группа II
Объем добычи	Большой	Маленький
Стоимость единицы продукции	Низкая	Высокая
Стоимость транспортировки к месту потребления	Высокая	Низкая
Импорт и экспорт	Малый	Большой
Распространение в природе	Широкое	Ограниченное
Геология	Простая	Сложная
Переработка	Простая	Сложная

а геология их относительно проста. Обработка обычно заключается в простой промывке и сортировке по размеру зерен.

Большая часть сказанного справедлива также и в отношении дробленого камня и гипса, в то время как технические алмазы, высокосортная слюда и пьезокварц по отношению к этим полезным ископаемым занимает прямо противоположную позицию.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

Применение критериев, приведенных в табл. 2.2, ко всем неметаллическим полезным ископаемым приводит к отчетливому выводу: группа I включает горные породы, а группа II — минералы. Следовательно, в первую очередь неметаллические полезные ископаемые подразделяются на *промышленные горные породы и промышленные минералы*, причем это подразделение основывается главным образом на экономических факторах. Поскольку конечная цель этой классификации — группировка полезных ископаемых для геологического изучения, подразделение внутри каждой из двух основных групп проводится на геологической (генетической) основе. В табл. 2.3 приведена классификация неметаллических полезных ископаемых, которая используется в этой книге. Следует отметить, что в этой классификации все материалы, сходные по генезису, например обломочные горные породы или минералы пегматитов, попадают в соответствующие группы и могут быть рассмотрены в логической последовательности,

Не все породы и минералы, приведенные в табл. 2.3, полностью отвечают соответствующим требованиям, перечисленным в табл. 2.2, но большинству из них они все-таки отвечают. Например, каменная соль отнесена к группе пород потому, что она добывается в больших количествах из огромных по размерам месторождений (в США по крайней мере в 6 штатах); кроме того она подходит и под другие критерии табл. 2.2,

Таблица 2.3

Классификация неметаллических полезных ископаемых
применяемая в этой книге

Промышленные породы	Промышленные минералы
Изверженные горные породы	Минералы изверженных пород
Граниты	Нефелиновый сиенит
Базальты и диабазы	Полевой шпат
Пемза и пумицит	Слюда
Перлит	Литиевые минералы
Метаморфические породы	Берилл
Сланцы	Гидротермальные и метасоматические минералы
Мраморы	Пьезокварц
Осадочные породы	Флюорит
Песок и гравий	Барит
Песчаники	Магнезит
Глины	Минералы метаморфических пород
Известняки и доломиты	Графит
Фосфатные породы	Асбест
Гипс	Тальк
Соль	Вермикулит
	Минералы осадочных пород
	Алмаз
	Диатомит
	Минералы калия
	Минералы натрия
	Бораты
	Нитраты
	Сера

предъявляемые к полезным ископаемым группы I. Калийные соли относятся к промышленным минералам потому, что добываются они в значительно меньших по сравнению с каменной солью количествах, цена их значительно выше; в США эксплуатируются только два месторождения калийных солей. Кроме того, калийные соли отвечают и ряду других требований, предъявляемых к полезным ископаемым группы II.

Обсуждение классификации

Некоторые места табл. 2.3 могут показаться не вполне обоснованными. Разумеется, нефелиновый сиенит привыкли считать изверженной породой, а не минералом, точно так же как скопления остатков ископаемых кремнистых микроорганизмов, называемые диатомитами, — осадочной породой. С точки зрения общепринятых петрологических норм оба эти утверждения правильны. Но исходя из критериев, на которых основывается данная классификация, необходимо рассматривать эти материалы как промышленные минералы. Месторождения обоих этих полезных ископаемых весьма ограничены, добываются они в относительно небольших количествах, стоимость их весьма высокая благодаря специфическим свойствам этих полезных ископаемых, что позволяет транспортировать их на большие расстояния. С другой стороны, в этой классификации все-таки не достигается полной последовательности. Так, например, применение тех же критериев для подразделения неметаллических ископаемых на две основные группы к пескам специального назначения и высокосортным глинам позволяет отнести их к категории промышленных минералов. Но они отнесены к промышленным породам потому, что их происхождение и закономерности распространения месторождений удобнее изучать вместе с родственными им менее «аристократичными» породами.

Хотя ювелирные алмазы в основном добываются из коренных месторождений в изверженных породах, технические алмазы почти целиком получают из аллювиальных отложений, и, следовательно, они должны рассматриваться в качестве осадочного полезного ископаемого. Большая часть вермикулитовых месторождений, вероятно, образовалась в результате поверхностного изменения в зоне выветривания, но сам вермикулит образуется за счет минералов метаморфических пород, тесно с ними связан, и поэтому он попал в группу минералов метаморфических пород.

Из группы промышленных пород и минералов исключены минералы, которые по происхождению или по использованию

стоят ближе к металлам, чем к неметаллам. Ильменит, основной источник титановых пигментов, встречается наряду с магнетитом в виде сегрегаций в магматических породах или позднематематических инъекциях. Металлические сульфиды, используемые частично для получения серы, отнесены к рудным полезным ископаемым. Бокситы, хотя они и служат источником получения абразивов и огнеупоров, главным образом алюминиевая руда. Все эти минералы обычно рассматриваются в работах, посвященных рудным месторождениям.

В этой книге также не упоминается гильсонит — строительный материал, представляющий собой твердую разновидность нефти, описание которого можно найти в работах по геологии нефти. К промышленным минералам автор не относит и драгоценные камни. Хотя из морской воды и атмосферы извлекаются многие важные неметаллические продукты, они здесь также не рассматриваются.

Основную массу производства неметаллических полезных ископаемых составляет добыча 13 пород и 20 минералов, перечисленных в табл. 2.3. Минералы, имеющие небольшое промышленное значение, кратко освещены в гл. 11. В книге основное внимание уделяется месторождениям США, за исключением тех полезных ископаемых, которые из-за недостатка внутренних ресурсов импортируются США.

Используемая в этой книге классификация предназначена для рассмотрения геологических аспектов неметаллов. Она не претендует на вытеснение или замену традиционной группировки, используемой в справочниках. Эта классификация не конкурирует с существующими классификациями, а лишь дополняет их. Автор предлагаемой классификации будет счастлив, если она окажется столь же полезной для геологического изучения промышленных пород и минералов, как традиционная классификация, незаменимая для справок по технологии.



Часть II

ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ПОРОДЫ

ИЗВЕРЖЕННЫЕ ПОРОДЫ

Промышленностью США ежегодно используются различные изверженные породы на сумму более 150 млн. долл. Около 50% по стоимости приходится на долю гранита и родственных ему пород, а около 45% на долю базальтов и диабазов. Остальные 5% распределяются между пемзой, пумицитом и перлитом.

Эти две наиболее важные в промышленном отношении изверженные породы в обычных классификациях магматических пород занимают крайние положения. Гранит — полнокристаллическая, кварцсодержащая светлая порода; встречается в природе в виде интрузивных массивов, из которых она добывается в ряде широко распространенных месторождений. Базальт и диабаз — афанитовые, бескварцевые темные плотные породы, образуют потоки или силлы и добываются в основном в северо-восточных и северо-западных штатах США из пластовых месторождений.

Пемза и родственный ей пумицит (вулканический пепел) — пористые стекловатые породы, образовавшиеся в результате взрывного вулканизма, продукты которого накапливались в виде пирокластики. Другая стекловатая порода — перлит — частично является первичным продуктом вулканизма, а отчасти продуктом изменения риолита или обсидиана. Площади распространения пемзы, пумицита и перлита ограничены районами третичного и четвертичного вулканизма в западной части США. Промышленное применение этих трех материалов пока еще находится в начальной стадии.

ГРАНИТ

Введение

Коммерческое значение термина *гранит* значительно шире геологического. В промышленности этот термин употребляется не только по отношению к настоящему граниту, но и к гранито-гнейсу, а также к промежуточным породам серии габбро-гранит. *Черным гранитом* называются габбро, диабаз, анортит

и пироксенит в тех случаях, когда они используются в виде полированного штучного камня. Минеральный состав этих пород приведен в табл. 3.1. Однако, несмотря на столь широкое использование этого термина, гранитом обычно называют породу, состав которой колеблется от гранита до гранодиорита. Химический состав типичного нормального гранита приводится в табл. 3.2 на стр. 73. В дальнейшем в этой книге термин «гранит» используется в широком промышленном значении.

Применение

Дробленый гранит используется в основном в качестве заполнителя бетона, дорожного щебня и балласта для железно-дорожного полотна. Кроме того, в небольших количествах дробленый гранит используется в качестве гравия на птицефермах, как фильтрующий материал в некоторых фильтрах, в виде мелкого щебня гранит применяется при строительстве водосливов плотин, волноломов, молов и других подобных сооружений. В строительстве штучный гранит применяется в основном в следующих сооружениях: 1) при сооружении памятников и монументов; 2) в строительстве зданий в качестве материала для фундаментов, ступенек, колонн и др. и 3) в качестве бордюрного камня при сооружении мостовых и мощении тротуаров.

Поскольку применение гранита в виде штучного и дробленого камня весьма различно, резко различаются и методы его добычи и обработки. С экономической точки зрения методы производства дробленого и штучного камня имеют мало общего.

Свойства дробленого гранита

Важнейшие свойства дробленого гранита — *прочность* (сопротивление удару), *твердость* (сопротивление изнашиванию) и *крепость* (морозостойкость). Два первых свойства определяют стоимость продукции дробленого гранита; по прочности устанавливается степень измельчения и податливость взрыву, а твердость сказывается на изнашивании дробилок и других машин, которые используются при добыче и дроблении камня. Крепость важна при обычном использовании камня. Почти любой свежий мелко- и среднезернистый гранит обладает всеми этими свойствами и может быть использован в дробленном виде. Основной фактор, определяющий добычу дробленого гранита, — близость месторождения к месту потребления, а не отклонения прочностных характеристик камня.

Минеральный состав гранитов, используемых в промышленности

Порода	Основные минералы		Аксессуары и второстепенные минералы
	Полевой шпат	Другие минералы	
«Гранит»			
Гранит, гранито-гнейс	Калиевый полевой шпат	Кварц	Биотит, роговая обманка, натровый плагиоклаз, (пироксен)
Сиецит	Калиевый полевой шпат		Биотит, роговая обманка, натровый плагиоклаз, (пироксен)
Кварцевый монзонит	Примерно равные количества калиевого полевого шпата и плагиоклаза	Кварц	Биотит, роговая обманка, (пироксен)
Гранодиорит	Плагиоклаз среднего состава, подчиненное количество калиевого полевого шпата	Кварц	Роговая обманка, биотит, (пироксен)
Кварцевый диорит	Плагиоклаз среднего состава	Кварц	Роговая обманка, биотит, пироксен
Диорит	» » »		Кварц, роговая обманка, биотит, пироксен
«Черный гранит»			
Габбро, диабаз	Плагиоклаз среднего до основного состава	Пироксен, более или менее значительные количества оливина	Роговая обманка, (кварц)
Анортозит	Плагиоклаз среднего до основного состава		
Пироксенит		Пироксен	

По Спокю [L. E. Spock (1953). Guide to the study of Rocks, 48] с изменениями автора.

Свойства штучного гранитного камня

Требования, предъявляемые к граниту, используемому в качестве штучного камня, значительно выше, чем требования к граниту, идущему на дробленый камень. Цвет гранита зависит главным образом от содержания в нем полевого шпата и изменяется от бледно-розовато-серого, розового и желто-розового до ярко-красного. Для таких гранитов имеются специальные торговые названия, например: светло-красный, цвета красного дерева, радужный и др. В тех гранитах, в окраске которых отсутствуют розовый и красный цвета, переход от светло- до темно-серых тонов в основном зависит от соотношения полевого шпата и кварца с биотитом и роговой обманкой.

Для крупного месторождения гранита весьма желательна однородность окраски; такой гранит может получить широкую известность благодаря определенному цвету. Этот фактор может определить устойчивость его потребления в течение долгих лет. Иризирующая игра цветов, характерная для лабрадора, — специфическая особенность «черного гранита» (анортозита).

Твердость полевого шпата и роговой обманки колеблется от 5,0 до 6,5 по шкале Мооса, а твердость кварца равна 7,0. Эти минералы и определяют высокую твердость гранитной породы; фактически гранит — наиболее твердая порода из числа используемых в строительных целях. Твердость гранита не только увеличивает стоимость добычи, но повышает также стоимость распиловки и полировки камня.

Структура гранита изменяется от мелкозернистой до грубозернистой, а некоторые граниты обладают порфировидной структурой. К среднезернистым относят граниты со средним размером зерен полевых шпатов не более $\frac{1}{4}$ дюйма. Однако основное требование, которое предъявляется к структуре гранита, используемого в качестве штучного камня, не мелко- или крупнозернистость, а однородность. Недостаточная однородность ряда гранитных массивов делает невозможным их использование для получения штучного камня. Равномерной должна быть не только величина зерен, но и их распределение. «Узлы» (скопления минералов или включения вмещающих пород) особенно нежелательны.

Исключение из этого правила могут составлять некоторые разновидности гранито-гнейсов, применяемых в качестве штучного камня. В этих породах полосы светлого гранитного материала чередуются с причудливо расположенными линзовидными участками и полосами более темной породы. При

полировке крупные блоки такой породы приобретают очень эффектный полосчатый вид.

Кеслер и др. (Kessler, Insley, Sligh, 1940) произвели серию определений физических свойств 116 образцов гранитов из 17 штатов США. Они установили, что их пористость колеблется от 0,4 до 3,84% и в среднем составляет 1,29%. Эти образцы не пропитались полностью водой даже после пребывания в воде в течение года. За это время поры большинства образцов заполнились водой меньше чем наполовину. Для определения крепости 14 образцов гранитов подверглись 4500 циклам замораживания в условиях, имитирующих условия службы каменной стены выше уровня земли, а затем эти образцы подверглись еще 500 циклам замораживания, при которых они были погружены на полдюйма в воду. Ни один из испытанных образцов гранита не обнаружил никаких признаков разрушения. Прочность образцов гранита на сжатие колебалась от 7700 до 53 800 и в среднем составляла 24 500 фунт/кв. дюйм. Это значительно превышает нормальную нагрузку, которую испытывает камень в процессе службы в сооружениях. Так, вес гранитной колонны высотой 600 футов оказывает на свое основание давление равное только 700 фунт/кв. дюйм.

Кеслер и др. определили также причину отслаивания гранита — в нижних частях гранитных сооружений случайно были обнаружены незаметные, но тем не менее имеющие серьезное значение расслоения породы. Отслаивание в большей или меньшей степени случайно. Оно не характерно для какого-либо определенного типа гранита, развивается как в жарком, так и в холодном климате, обнаруживается на внешних и внутренних поверхностях и присуще как современным, так и старым сооружениям. Изучение образцов выветрелого гранита из трех зданий показало, что отслаивание обусловлено образованием в поверхностном слое гранита сульфата кальция, вероятнее всего гипса. Сульфат возникает в результате реакции серной кислоты атмосферы (например, образовавшейся из SO₂ от сгорания угля) с кальцийсодержащими минералами гранита.

Генезис

Концепция образования гранита за счет кристаллизации жидкой магмы подвергалась и раньше сомнению, а в настоящее время она является предметом оживленной дискуссии. Противоположная ей гипотеза, подтверждаемая многими полевыми данными, обосновывает образование некоторых

0,4 кг
фунт

дюйм - 2,54 см фунт - 0,45 кг

кг
м²

гранитов за счет ранее существовавшей твердой породы без прохождения стадии жидкого расплава. Процесс «гранитизации» по существу представляет собой метасоматизм или замещение, осуществляющееся, вероятно, в результате «пропитывания» горных пород просачивающимися плутоническими растворами. Аргументация и основные положения магматической и метасоматической точек зрения на генезис гранитов наиболее полно представлены в докладах ряда геологов на конференции по вопросам происхождения гранитов (Gilluly et al., 1948).

Некоторые месторождения гранитов имеют бесспорно магматическое происхождение. Они несогласно секут структуры вмещающих пород, содержат неориентированные включения вмещающих пород с резкими контактами и несут многие другие признаки, доказывающие образование их в результате затвердевания жидких интрузий. Примером магматических гранитов может служить гранит Барре в Вермонте (Murthy, 1957, стр. 88—95). С другой стороны, Челмсфордский гранитный массив в восточной части Массачусетса, содержит четкие выдержанные слои, смятые в складки, в которых местами сохраняются реликты сланцеватости. Направление слоистости и положение включений в этом граните соответствуют региональному структурному плану района. Каррье (Currier, Jahns, 1952) считает, что этот массив образовался в результате метасоматического замещения осадочных пород.

Если гранитные флюиды проникают в массу ранее образовавшихся пород по плоскостям сланцеватости или слоистости, то возникают так называемые гибридные породы, занимающие промежуточное положение по происхождению между магматическими и метасоматическими. Проникшие в породу флюиды кристаллизуются в виде бесчисленных тонких прослоек, которые переслаиваются с более или менее измененной вмещающей породой. Такие послонные инъекции придают породе отчетливо выраженную полосчатую структуру. Мортонский гранито-гнейс, разрабатываемый на западе штата Миннесота, частично образовался путем сложной инъекции гранитной магмы в диоритовые и габброидные породы, а частично при взаимодействии гранитной магмы с этими породами (Lund, 1953). В результате в светлом граните наблюдается серия вытянутых линз и прослоев темных пород. Считают, что деформации, которые происходили при остывании в этих гнейсах, привели к образованию закрученной структуры. Примерами сложных интрузий, нарушенных послонными деформациями, могут служить также некоторые граниты Северной Каролины (Councill, 1954).

В некоторых районах соотношения между гранитами и вмещающими породами не установлены или не ясны, поскольку огромные размеры гранитных массивов исключают возможность проследить картину контактных явлений горными работами.

Структурные особенности гранитных массивов

Большинство гранитных массивов независимо от их происхождения имеет некоторые общие структурные особенности. При добыче дробленого камня эти структурные особенности не имеют большого значения, но при разработке месторождений штучного камня они очень важны.

Случайный наблюдатель и даже опытный геолог могут сразу не заметить в стенках гранитного карьера некоторой линейной или плоскостной ориентировки кристаллов в гранитном массиве. Тем не менее оказалось, что большинство гранитов обладает различными свойствами по разным направлениям. Направление наиболее легкого разделения породы, совпадающее с системой наиболее хорошо развитых трещин, называется *расколом* (rift), а второе направление легкого раскола породы, совпадающее с направлением вытянутости зерен породы, называется *волоκнистостью* (grain). В большинстве месторождений одно направление располагается вертикально или почти вертикально, а второе — горизонтально или почти горизонтально. Плоскость, перпендикулярная расколу и волоκнистости, называется *торцовой плоскостью*, или *торцом*.

Дейл (Dale, 1923), детально изучавший структурные особенности гранитов Новой Англии, считает, что раскол и волоκнистость в породах образованы системой пересекающихся под прямым углом мельчайших трещинок размером 0,09—1,3 мм, пересекающих зерна кварца и полевого шпата. Раскол параллелен ориентировке пластинок слюды в породе и совпадает с направлением доминирующей спайности полевых шпатов. (Опытные камнетесы гранитного района центральной части штата Миннесота могут найти направление раскола породы на ощупь с завязанными глазами.) Плоскости раскола и волоκнистости грубо параллельны или совпадают с плоскостями ориентировки мельчайших жидких включений в кварцевых зернах. По трещинкам, параллельным направлениям раскола и волоκнистости, выделяются вторичные минералы (серицит, лимонит). Очевидно, направления раскола и волоκнистости возникли в гранитах во время кристаллизации в условиях напряжений в земной коре и, следовательно,

являются неотъемлемыми постоянными свойствами, которые породы приобретают в процессе образования.

Трещины в гранитах встречаются так же часто, как и в других породах. Считается, что они возникают под действием регионального напряжения скручивания. Они обычно образуют две вертикальные системы, пересекающиеся друг с другом под прямым углом. Кроме того, в породах встречаются трещины промежуточного направления, изогнутые и неправильные трещины. В производстве штучного камня имеют важное значение расстояние между трещинами и наличие окраски по этим трещинам. Если расстояние между трещинами главной системы колеблется в пределах 10—30 футов, то на таком месторождении легко получить прямоугольные блоки и добыча камня развивается равномерно. Если трещины проходят на меньшем расстоянии, такой гранит невозможно использовать в качестве штучного камня. В результате окисления и других химических процессов порода по трещинам может быть окрашена, так как трещины служат естественными путями для циркуляции грунтовых вод.

Окрашенная порода («разрушенная порода») обычно просто выбрасывается. Если такая окрашенная порода достаточно прочна, встречается в виде крупных блоков и имеет приятный вид, она используется в виде особой разновидности штучного гранита.

Плитообразная отдельность (sheet structure) выражается в способности гранитного массива распадаться на отдельные плиты или «слои» по трещинам, параллельным поверхности массива. Во многих карьерах эта структурная особенность оказывается весьма полезной. Плитообразная отдельность образована плоскими плитами или тонкими линзовидными телами гранита, которые с глубиной становятся толще, шире и правильнее. Эта структура не зависит от структур раскола, волокнистости и трещиноватости. Трещины отдельности могут пересекать дайки, включения, ксенолиты кровли гранитного массива и вмещающие породы. И на возвышенностях, сложенных гранитами, и в долинах, прорезающих гранитные массивы, трещины отдельности располагаются преимущественно параллельно поверхности рельефа. Плитообразная отдельность особенно хорошо развита в менее трещиноватых частях гранитных массивов. В самых глубоких карьерах Новой Англии в гранитах встречается пластовая отдельность — в карьерах Барре в штате Вермонт на глубине 200 футов, а в карьере Куинси в штате Массачусетс даже на глубине 320 футов,

Плитообразная отдельность встречается не только в карьерах, но и в природных выходах гранитных пород, где она обнаружена довольно давно. Это не совсем понятное явление, хотя его природа обсуждается в геологической литературе уже в течение многих лет. Джанс (Jahns, 1943) критически рассмотрел имеющиеся в литературе представления о причинах возникновения плитообразной отдельности и привел новые данные по плитообразной отдельности для ряда обнажений гранитов и карьеров в штатах Массачусетс и Нью-Гэмпшир. Плитообразная отдельность обусловлена, по его мнению, расширением породы в результате ослабления давления на породы за счет сноса доледниковой эрозией части вышележащих пород. Так как разгруженная порода расширяется, возникающие силы направлены в сторону ближайшей обнаженной поверхности, вследствие чего устанавливается замечательное соответствие между плитообразной отдельностью и топографией местности. В самом деле, представление о доледниковой конфигурации гранитных возвышенностей можно получить на основании изучения положения плитообразной отдельности и ее соотношения с современным рельефом.

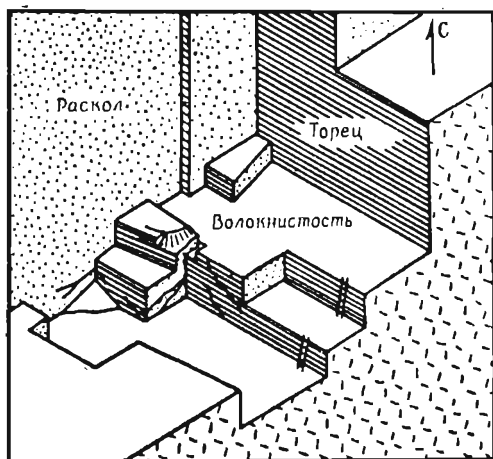
Соколов (1955) показал, что в некоторых местах трещины плитообразной отдельности представляют собой поверхности скольжения, вероятно возникшие в результате сдвига. Согласно его представлениям, они могут возникнуть в результате регионального горизонтально направленного тектонического давления, а не в результате разгрузки гранитных массивов от вышележащих отложений¹.

Вызывает недоумение, почему плитообразная отдельность развита не повсеместно, а только в некоторых гранитных массивах. Гранитные карьеры Барре в штате Вермонт, в которых граниты характеризуются отчетливо выраженной отдельностью, находятся на расстоянии меньше мили от гранитных карьеров, в которых граниты лишены отдельности. В двух крупнейших карьерах штучного камня Северной Каролины, расположенных у Солсбери и на горе Эри, граниты не имеют плитообразной отдельности. Ясно, что отдельность гранитов еще требует дальнейшего изучения.

При добыче гранитного штучного камня необходимо иметь в виду еще одну особенность гранитных массивов — их тенденцию расширяться в боковых направлениях с огромной

¹ На русском языке см. также Беликов Б. П., О методе изучения трещинной тектоники строительного и облицовочного камня, М., Изд-во АН СССР, 1953. — *Прим. ред.*

силой при снятии нагрузок. Это напряжение, горное давление (strain) особенно отчетливо выражено в глубоких карьерах. Вполне обычно линейное расширение порядка $\frac{1}{2}$ дюйма на 100 футов породы. Местами наблюдаются большие величины линейного расширения. Сила горного давления более чем достаточна для разрушения *перемычек* (web) между близко



Фиг. 3.1. Схематическая зарисовка гранитного карьера Эйджес в районе Барре в штате Вермонт. Трещины, образовавшиеся в результате снятия горного давления, показаны кривыми и неправильными линиями (White, 1946). Местоположение карьера показано на геологической карте, приведенной на фиг. 3.2.

расположенными буровыми скважинами. Если эти напряжения освобождаются во время бурения, буровой инструмент может заклинить. Во многих карьерах, чтобы ослабить горное давление для обеспечения нормальной эксплуатации, предварительно проходят широкую выемку или линию буровых скважин крупного диаметра.

В глубоких карьерах у Барре в штате Вермонт частично освобожденные блоки в результате снятия нагрузки горного давления обладают способностью трескаться, взрываться (rock-bursts), в результате чего на их углах образуются трещины, секущие плоскости раскола и волокнистости (фиг. 3.1). Эти трещины могут быть пологими или крутыми, но они неизменно наклонены в сторону ближайшей наиболее глубокой выработки или в сторону высокой поверхности забоя. Чтобы

уменьшить ущерб от внезапного растрескивания блоков, рекомендуется избегать широких высоких забоев и глубоких узких выемок (White, 1946).

Расширение породы вверх в результате уменьшения нагрузки в карьере разрешается за счет образования пластовой отдельности или, возможно, просто путем упругого изгибания массива или поднятия, но при этом остается горизонтальная составляющая расширения. Эта колоссальная сила — горное давление сохраняется в породе до тех пор, пока она не освободится в рельефе в глубоком карьере (шахте или глубоком разрезе). Именно эта сила, которая разрушает перегородки между скважинами, вызывает растрескивание блоков пород и придает определенную правдоподобность выражению *живая порода*.

Дайки аплита, пегматита или базальта понижают качество камня, так же как и *кварцевые жилы*. Скопления (knots) темноцветных минералов или включения вмещающих пород портят вид полированной поверхности гранита, и блоки, содержащие такие включения, обычно выбраковываются. *Волосные трещины* (hair lines), выполненные тончайшими дайками или жилками, не заметны на грубо тесаной поверхности камня, но их следует избегать в блоках, предназначенных для полировки. Особенно нежелательны такие трещины, если они расположены независимо от системы трещин в породе и равномерно распределены по породе.

Распространение и производство

Промышленные месторождения гранитов приурочены к районам развития крупных массивов невыветрелых гранитных пород, которые обладают описанными выше свойствами, выходят на поверхность или залегают под маломощной толщей насосов, а кроме того, расположены на достаточно близком расстоянии от мест потребления. Этим условиям удовлетворяют многие районы складчатых сооружений с широким развитием интрузивных горных пород в Новой Англии, области провинции Пидмонт и районы, расположенные к югу от нее, особенно в штатах Каролина и Джорджия, а также некоторые районы выходов на поверхность кристаллических докембрийских пород у южной границы Канадского щита, особенно в штатах Висконсин, Миннесота и северо-восточной части штата Южная Дакота. В западных штатах известны многочисленные выходы гранитов, приуроченных к структурным поднятиям, но только немногие из них расположены доста-

точно близко от центров потребления и имеют промышленное значение.

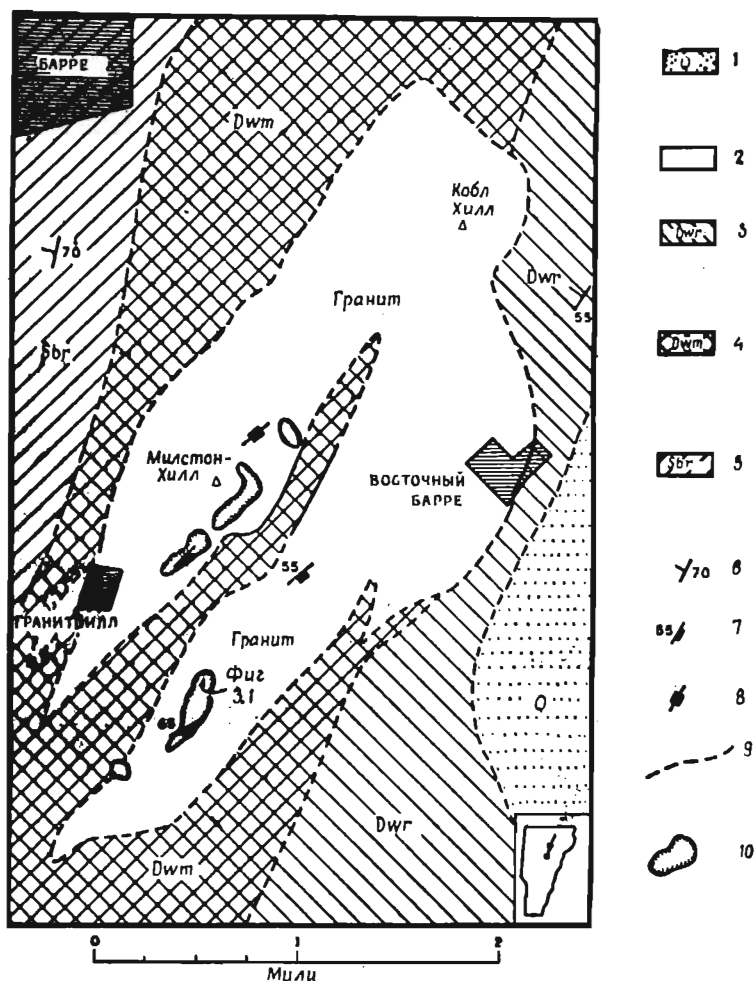
Отсутствие элювиального покрова на большинстве гранитных массивов Новой Англии и штатов Миннесота — Висконсин объясняется плейстоценовым оледенением, уничтожившим здесь почвенный покров и выветрелые породы. Обнажения гранитов в поясе, протягивающемся от Милбанка в Южной Дакоте к юго-востоку по долине реки Миннесоты, приурочены к невысоким холмам в пределах днища речной долины. Они были затоплены и эродированы ледниковой рекой Уоррен — огромным потоком талой воды, который дренировал ледниковый покров последней стадии оледенения. Хотя многие гранитные массивы провинции Пидмонт сильно выветрелые и покрыты остаточной корой выветривания, свежие породы здесь встречаются на небольшой глубине в так называемых «каменных горах» — эрозионных останцах, возвышающихся над общим уровнем пенеплена, образующего этот район.

В последние годы дробленный гранит производится в 29 штатах. Однако более $\frac{3}{4}$ общего производства дробленого гранита давали Калифорния и четыре юго-восточных штата: Джорджия, Северная Каролина, Южная Каролина и Виргиния. Производство штучного гранита сосредоточено в трех районах: Новой Англии, особенно в штатах Мэн, Массачусетс и Вермонт; в юго-восточной части США, особенно в штатах Северная Каролина и Джорджия; в штатах Миннесота, Висконсин и Южная Дакота. Небольшие количества штучного гранитного камня производятся также в 14 прочих штатах США¹.

Район Барре в штате Вермонт

В этом известном районе граниты слагают массив длиной около 4 км, протягивающийся на север-северо-восток (фиг. 3.2) (Balk, 1927; Murthy, 1957). Вмещающие гранитный массив породы представлены сланцами, кварцитами и метаморфизованными известняками формаций Уэстмор и Уэйтс-Ривер (девон?), входящими в мощную толщу палеозойских метаморфизованных осадочных пород, которая слагает восточную и центральную части Вермонта (White, Jahns, 1950). Эти породы опрокинуты и круто падают в западном направлении так же, как и контакт гранитов со сланцами. Гранитный массив залегает в общем согласно с направлением сланцеватости

¹ В 1962 г. в США добыто 902 тыс. т штучного гранита и более 49 млн. т дробленого; производство этих материалов непрерывно возрастает (в 1961 г. соответствующие цифры были 662 тыс. т и 43 млн. т). — *Прим. ред.*



Фиг. 3.2. Геологическая карта района развития гранитов в окрестностях Барре в штате Вермонт. Карьер, изображенный на фиг. 3.1, находится юго-восточнее населенного пункта Гранитвилл (Murthy, 1957).

1—ледниковые отложения и аллювий (четвертичные); 2—4—девон (?): 2—серые биотитовые граниты, 3—формация Уайтс-Ривер, известковистые сланцы и метаморфизованные известняки; 4—формация Вестмор, сланцы и кварциты; 5—силурийская (?) формация Бартон-Ривер, филлиты, сланцы, метаморфизованные известняки; 6—простиране и падение слоев; 7—простиране и падение трещин; 8—простиране вертикальных трещин; 9—предполагаемые контакты; 10—действующие карьеры.

вмещающих пород, хотя местами он резко сечет направление сланцеватости. Все контакты гранита с вмещающими породами резкие, а многие из них подобны острию ножа.

Гранит относительно устойчив к эрозии и обнажается в виде двух выступающих в рельефе возвышенностей или куполов. На южной из этих возвышенностей, известной под названием Милстон-Хилл, имеются глубокие карьеры. В них обнажаются массивные серые средне- и тонкозернистые биотитовые граниты исключительно однородной текстуры, которые широко применяются в качестве строительного и статуарного камня. Плоскость раскола ориентирована в северо-восточном направлении и расположена почти вертикально, плоскость волокнистости горизонтальна (местами обозначается как «постель»), торцовая плоскость вертикальна и образована поперечными трещинами в гранитном массиве (фиг. 3.1). Кроме того, имеются заметные продольные трещинки, размером от нескольких дюймов до нескольких футов, расположенные вертикально или падающие круто к юго-востоку. Плитообразная отдельность наблюдается в карьерах на вершине возвышенности Милстон-Хилл. У дневной поверхности мощность пластов около одного фута или меньше, а на глубине 200 футов она возрастает до 30 футов. В граните встречаются немногочисленные дайки темных лампрофиров мощностью до нескольких футов, ориентированные параллельно направлению вытянутости гранитного массива. Они, вероятно, приурочены к трещинам.

В стенках карьера видны блоки полосчатых сланцев размером до нескольких футов в поперечнике, включенные в гранит. Они были наклонены и повернуты, так как направление их сланцеватости не параллельно сланцеватости вмещающих пород. Контакты этих включений с гранитами резкие. На глубине в гранитном массиве были встречены значительно более крупные ненарушенные включения сланцев, и карьер был заложен в обход этих включений. Они вытянуты в том же направлении, что и гранитный массив, и рассматриваются в качестве «ребер» или «перегородок» вмещающих пород, между которыми внедрилась гранитная магма.

Граниты Барре необыкновенно однородны на всем протяжении, несут небольшие следы взаимодействия с вмещающими породами или включениями и по существу залегают согласно с вмещающими породами. На их контактах с вмещающими породами не обнаружено никаких краевых сбросов или зон дробления, что позволяет сделать вывод о том, что гранит образовался из магмы, постепенно внедрившейся в сланцы.

Гора Эри в Северной Каролине

В западной части Пидмонта Северной Каролины близ горы Эри в округе Сарри обнажается обширный гранитный массив, имеющий форму низкого купола площадью 70 акров (Councill, 1954). Штучный камень добывается в неглубоком, но широком карьере, расположенном на вершине и на склоне (крутизна 12°) купола. Гранит исключительно плотный и однородный. Он не содержит никаких жил, даек или трещин, отсутствует также плитообразная отдельность. Плоскость раскола, располагающаяся почти горизонтально, используется для искусственного образования плоскостей отслоения, которое ведется довольно простым методом. На желаемую глубину, обычно 6 или 8 футов, бурится ряд шпуров. Чтобы провести горизонтальное отделение блока от вмещающей породы, в этих скважинах последовательно взрывается серия небольших зарядов черного пороха. Затем в скважине цементируется трубка, поступающий по ней сжатый воздух отделяет блок от нижележащей породы. Этот метод позволяет «отслаивать» гранитные слои любой толщины.

Среднезернистый очень светлый серый гранит горы Эри широко известен как белый гранит. Если судить по минеральному составу, то это фактически не гранит, а кварцевый монцит:

Минерал	%
Кварц	26
Ортоклаз	32
Плагиоклаз	33
Биотит	8
Апатит, циркон, мусковит, хлорит, эпидот	1
	<hr/> 100

Биотит иногда скапливается в виде полос, но в общем минералы распределены равномерно и порода имеет однородную структуру. Этот гранит широко используется при сооружении мавзолеев, в виде крупных блоков в тяжелом строительстве и в форме штучного тесаного камня (небольших блоков правильной формы и размеров) для облицовки жилых зданий. В этом карьере также действует крупная камнедробильная установка.

Район Сент-Клауд, штат Миннесота

В центральной части штата Миннесота в окрестностях населенного пункта Сент-Клауд докембрийские кристаллические породы перекрыты тонким покровом ледниковых

валунных отложений, которые местами уничтожены эрозией, вскрывшей низкие холмы, сложенные свежим гранитом. Из многочисленных действующих в этом районе карьеров наиболее важная группа карьеров расположена в округе Стернс в нескольких милях к юго-западу от Сент-Клауда. Здесь добывают гранит трех разновидностей: розовый, красный и серый (Schwartz, Thiel, 1952; Thiel, 1935). Большинство карьеров дает какую-то одну разновидность, и только в немногих карьерах добываются граниты двух разновидностей. Для гранитов характерно развитие даек. Дайки красного гранита секут серые граниты; обратных пересечений не обнаружено, что свидетельствует о более молодом возрасте красных гранитов. В серых гранитах обычны дайки аплитов. Кроме того, встречаются многочисленные дайки диабазов мощностью от менее одного дюйма до 6—8 футов. Местами наблюдаются узловые стяжения и волосные трещины. Хорошо развита система удобных для разработки трещин, но плитообразная отдельность развита слабо или отсутствует вовсе. Плоскость раскола расположена горизонтально, а плоскость волокнистости (линия раскалывания — «чип») располагается вертикально.

Один из известнейших видов миннесотских гранитов («роквиллский розовый») добывается на куполообразном возвышении, расположенном примерно в 10 милях юго-западнее Сент-Клауда. Главные трещины имеют простирание СЗ 70°; кроме того, существуют еще три второстепенные системы трещин, но расстояние между ними настолько велико (от 20 до 100 футов), что ведет лишь к небольшим потерям при добыче. Пластовая отдельность отсутствует. Гранит исключительно однороден, лишен дефектов и очень крупнозернист. Порода состоит из бледно-розовых кристаллов ортоклаза длиной $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ дюйма, расположенных в грубозернистой основной массе, состоящей из облачно-серого кварца и черного биотита. Этот гранит может быть получен в виде крупных блоков, хорошо принимающих полировку. После полировки гранит приобретает высокие декоративные свойства и широко используется, особенно в качестве декоративного камня.

Методы добычи

К гранитному массиву, обнажающемуся на вершине холма, можно добраться с помощью ступенчатого карьера, заложенного на склоне. Этот тип горных выработок считается самым выгодным, особенно при добыче дробленого камня, так как он дает возможность развивать длинные и высокие забои, в которых удобно проводить взрывные работы и подво-

дить транспортные средства прямо к забою. Однако в тех случаях, когда поверхность месторождения плоская, разработку выгоднее вести камерным карьером (pit quarry). Если в пределах месторождения качество гранита выдержано на достаточно большой площади, карьер может быть широким и мелким. Однако многие гранитные карьеры имеют значительную глубину, достигающую 200—300 футов. Методы добычи в зависимости от местных условий меняются, но в общем процесс добычи сводится к следующему.

Почвенный покров и наносы выветрелых пород удаляются гидравлическим способом, скреперами или другими механизмами. Затем на дне карьера проходится очистная траншея, выемка для уменьшения напряжений в породах и подготовки рабочего забоя на вертикальной стенке карьера. Очистная выемка проходится путем бурения ряда 52-дюймовых скважин и удаления перемычек между ними при помощи двух параллельных борозд, расположенных на расстоянии 4—5 футов, или бурением серии близко расположенных друг к другу скважин небольшого диаметра с последующим разрушением перемычек между ними.

Вертикальное отклонение блоков от массива может осуществляться одним из следующих способов: 1) используя естественные вертикальные трещины, если они существуют; 2) взрывом небольших порций взрывчатки в отдельных глубоких буровых скважинах; 3) разбуриванием линии скважин с последующим разрушением перемычек между ними; 4) канатной пилой¹; 5) термическим (пламенным) бурением². Обычно в практике большинства карьеров в течение многих лет применяется третий из описанных выше методов. Экономичность этого способа проходки увеличилась в результате применения буров с головкой из карбида вольфрама, которые

¹ Канатная пила состоит из простого или скрученного втрое проволочного каната диаметром $\frac{3}{16}$ или $\frac{1}{4}$ дюйма, движущегося подобно ремню под большим натяжением. Пила приводится в движение шкивом, установленным на станине. Эта станина располагается ниже дна карьера в специальном рабочем углублении таким образом, что проволочный канат лежит на камне. Во время движения проволоки по камню на нее подается струя воды с абразивом, что дает возможность выпиливать в камне узкий вертикальный канал.

² При термическом (пламенном) бурении образуется канал шириной в несколько дюймов. Горение жидкого топлива в атмосфере кислорода (привозимого на карьер в сжиженном виде в специальных баллонах) в специальном сопле дает температуру выше 2760°. Одновременно с пламенем на породу подается тонкая струя воды, в результате чего порода распадается на отдельные обломки, которые выдуваются из забоя. Вертикальный канал проходится в открытом забое передвижением сопла вверх и вниз по намеченной линии,

увеличивают скорость бурения и имеют меньшую изнашиваемость в процессе службы. Метод распиловки канатной пилой более дорогой, но очень эффективный, так как позволяет получать блоки камня с гладкой поверхностью и дает незначительные потери камня.

Пламенное бурение, которое применяется сравнительно недавно, позволяет вести бурение в несколько раз быстрее, чем любыми другими способами. Единственный недостаток этого способа — оглушительный шум во время бурения.

Отделение блоков от дна карьеров всюду, где это только возможно, производится по плоскостям отдельности. Если такие плоскости в пределах месторождения встречаются через большие интервалы или отсутствуют, откол блоков по горизонтали производится при помощи клиньев, которые вгоняются в отверстия горизонтальных шпуров, пробуренных у основания уступа. В отдельных случаях плоскости отслаивания (отдельности) можно создать искусственно, как описано в предыдущем разделе, посвященном району горы Эри.

Блокам, добытым в карьере, придаются желаемые размеры бурением серии скважин и расклиниванием. Раскалывание блока в этом случае ведется по направлениям трещин раскола и волокнистости, которые в этой стадии раскалывания блоков имеют большое значение. Готовые блоки камня из карьера вынимаются с помощью деррик-кранов.

Подробное описание методов добычи гранитного камня, оборудования, применяемого для этих целей, и методов обработки камня на заводах приводит Баулс (Bowles, 1939, 1956) ¹.

¹ **Заключительные замечания.** Штучный гранит Карелии широко использовался еще при сооружении Петербурга. СССР располагает огромной и пока недостаточно изученной сырьевой базой изверженных пород, пригодных для получения штучного камня высоких декоративных качеств. В настоящее время широко эксплуатируются граниты Украины (черные, серые, розовые, зеленоватые, красно-черные и др.), меньшее значение имеют разработки в Карелии, на Урале, в Закавказье и др. Дробленый гранит добывается во многих районах СССР вблизи центров потребления. Пожалуй, наиболее замечателен отечественный декоративно-архитектурный камень лабрадорит (близкий к американскому «черному граниту»), в котором полевой шпат ирризирует в синих, голубых и золотистых тонах. Декоративный лабрадорит добывается на месторождениях обширного поля габбро-анортзитовых пород Житомирской и Киевской областей. Другие типы изверженных пород (диориты, базальты и др.) в качестве декоративного штучного камня в СССР используются крайне ограниченно и в основном применяются в виде щебня, на брусчатку и в качестве строительного штучного камня (мосты, портовые сооружения и т. п.). Бейтс не упомянул относительно малоемкий, но важный вид использования гранитов — в качестве кислотоупорного сырья (башни для производства азотной и соляной кислот и др.). Кислотоупорные граниты

ЛИТЕРАТУРА

- Balk R. (1927). A contribution to the structural relations of the granitic intrusions of Bethel, Barre, and Woodbury, Vermont, Vt. State Geologist Ann. Rept., 1925—1926, 50—72.
- Balk R. (1937). Structural behavior of igneous rocks, Geol. Soc. Amer. Memoir, 5.
- Bowles O. (1939). The Stone Industries, 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 103—167.
- Bowles O. (1956). Granite as dimension stone, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7753.
- Councill R. J. (1954). The commercial granites of North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 67.
- Currier L. W., Jahns R. H. (1952). Geology of the «Chelmsford granite» area, Geol. Soc. Amer. Guidebook, 65th Ann. Mtg., 103—117.
- Dale T. N. (1923). The commercial granites of New England, U. S. Geol. Survey Bull., 738.
- Gilluly J. et al., (1948). Origin of granite. Geol. Soc. Amer. Memoir, 28.
- Herrmann L. A. (1954). Geology of the Stone Mountain—Lithonia district, Georgia, Ga. Geol. Survey Bull., 61.
- Hoppin R. A., Norman L. A., Jr., (1950). Commercial «black granite» of San Diego County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 3.
- Jahns R. H. (1943). Sheet structure in granites, Jour. Geology, 51, 71—81.
- Kessler D. W., Insley H., Sligh W. H. (1940). Physical, mineralogical, and durability studies on the building and monumental granites of the United States, Nat. Bur. Stds. Jour. Research, 25, 161—206.
- Lund E. H. (1953). Morton granite gneiss, Econ. Geology, 48, 46—52.
- Murthy V. R. (1957). Bed rock geology of the East Barre area, Vermont, Vt. Geol. Survey Bull., 10.
- Osborne F. F. (1935). Rift, grain, and hardway in some pre-Cambrian granites, Quebec, Econ. Geology, 30, 540—551.
- Petsch B. C. (1948). A geophysical study of the Milbank granite area, S. D. Geol. Survey Rept. Inv., 60.
- Schwartz G. M., Thiel G. A. (1952). Dimension stone in Minnesota, Min. Eng., 4, № 1, 77—80.
- Taylor C. H. (1915). Granites of Oklahoma, Okla. Geol. Survey Bull., 20.
- Thiel G. A., Dutton C. E. (1935). The architectural, structural, and monumental stones of Minnesota, Minn. Geol. Survey Bull., 25.
- Watson T. L. (1910). Granites of the southeastern Atlantic states, U. S. Geol. Survey Bull., 426.
- White W. S. (1946). Rock-bursts in the granite quarries at Barre, Vermont, U. S. Geol. Survey Circ., 13.
- White W. S., Jahns R. H. (1950). Structure of central and east central Vermont, Jour. Geology, 58, 179—220.

добываются на Украине, в Карелии и выявлены в других местах. Наряду с гранитами в качестве кислотоупорного материала в СССР используются кислые гнабиссальные (бештаунит, т. е. трахилипарит, Пятигорье) и эффузивные (фельзит Урала, андезит Грузии) породы, а также базальты и диабазы. О месторождениях декоративно-архитектурного камня см.: Розанов Ю. А. и др. Месторождения облицовочных камней в СССР (справочник), 1941. — *Прим. ред.*

БАЗАЛЬТ И ДИАБАЗ

Введение

Базальт и диабаз, темные тонкозернистые изверженные породы, состоят в основном из плагиоклазов и железомagneзиальных минералов, особенно авгита. Акцессорные минералы представлены магнетитом, апатитом, оливином. В некоторых диабазах в виде микрографических сростков присутствуют кварц и ортоклаз. Миндалины в базальте могут содержать кальцит, халцедон или минералы группы цеолитов¹. В торговой практике эти породы называются *траппами* или *трапповыми породами*.

Свойства и применение

Базальт и диабаз используются главным образом в качестве дробленого камня. Четыре пятых производимого из базальта и диабаза дробленого камня потребляется как наполнитель бетона и дорожный щебень, а большая часть остатка производства дробленого базальта и диабаза употребляется как железнодорожный балласт, в виде присыпок для кровельных материалов и каменных набросок для укрепления откосов. В последнее время базальт и диабаз используется в качестве наполнителей для получения бетонов высокой плотности для защиты атомных реакторов. В небольших количествах диабаз идет на штучный и полированный камень (черный гранит).

Благодаря мелкозернистой плотной структуре базальт и диабаз практически не поддаются выветриванию. Действительно, можно сказать, что по качеству эти породы — стандартные наполнители бетона и лучшие дорожные материалы. Базальт и диабаз очень прочны, но так как кварц в них отсутствует или его содержание очень невелико, при обработке они обладают меньшим абразивным воздействием на механизмы, чем гранит или песчаник. Эти материалы тяжелее других разновидностей дробленого камня, что повышает стоимость их перевозки.

Экономические факторы

Близость к месту потребления и дешевизна средств транспортировки к месту потребления в производстве базальта и диабаза значительно важнее, чем геологические детали. Трапп

¹ Цеолиты — водные алюмосиликаты, близкие к полевым шпатам, но отличающиеся от них присутствием воды. Это вторичные минералы, vyplняющие трещины и жилки.

повые породы имеют низкую стоимость, но не выдерживают высоких транспортных расходов. Максимально возможное расстояние транспортировки этих материалов автотранспортом составляет, вероятно, от 25 до 30 миль, а по железной дороге не более 100 миль. Большая часть добываемого камня используется в радиусе нескольких миль от места его добычи.

Потребителей базальта и диабазы в общем можно разделить на две группы. Первую составляют в основном фирмы промышленного и дорожного строительства, расположенные в крупных городских центрах и поблизости от них. Дробление трапповых пород для этих фирм производится в больших количествах на постоянно действующих установках, которые обычно располагались в нескольких милях от густо населенных районов. В последние годы расширение жилищного строительства в этих районах привело к принятию ряда обязательных постановлений по снижению шума в карьерах и вибрации от дробилок. Второй потребитель дробленых трапповых пород — строительство государственных шоссе и дорог. Это строительство широко ведется по всей территории США и осуществляется частными фирмами, а также дорожными отделами округов и штатов. Дробленый камень для этих строек производится на переносных установках в придорожных карьерах, которые действуют только во время строительства дороги.

В 1957 г. в США было произведено свыше 43 млн. коротких тонн дробленого базальта и диабазы стоимостью 71 млн. долл.¹ Основную массу дробленого базальта и диабазы дали два района — северо-восточные и северо-западные штаты, — отражая совпадение геологических закономерностей распространения этих пород на территории США и рыночного спроса на этот вид полезных ископаемых.

Распространение и происхождение

В восточных районах США большая часть трапповых пород добывается из базальтовых потоков и диабазовых силлов, переслаивающихся с верхнетриасовыми осадочными породами. Эти породы распространены главным образом в двух районах. Один из них располагается в нижней части долины реки Коннектикут, в штатах Коннектикут и Массачусетс, другой — в низкогорной, сложенной породами триаса части провинции Пидмонт, в пределах штатов Нью-Йорк, Нью-Джерси

¹ В 1962 г. в США добыто более 69 млн. т дробленых базальтов и диабазов и 103 тыс. т штучного камня. — *Прим. ред.*

и юго-восточной части штата Пенсильвания. В обоих этих районах красноцветные и другие обломочные отложения группы Ньюарк верхнего триаса залегают в грабенах в докембрийских кристаллических породах. Грабены с одной стороны ограничены глубоким сбросом, в сторону которого триасовые слои падают под углами 5—15°. Разрыв осадочных пород создал низкорогье, над которым базальтовые потоки и диабазовые силлы возвышаются в виде квест или хребтов. По-видимому, в качестве наиболее известных примеров таких возвышенностей можно привести Полисейдс в штатах Нью-Йорк и Нью-Джерси, представляющую собой хребет, сложенный диабазовым силлом мощностью 1000 футов, который залегает стратиграфически близ подошвы группы Ньюарк. Интенсивно разрабатываются на бутовый камень диабазовые силлы Уэст-Рок-Ридж в штате Коннектикут, Холлиок-Рейндж в штате Массачусетс и ряда возвышенностей на юго-востоке штата Пенсильвания. Базальтовые потоки — важный источник трап-поровых пород в горах Уотчанг в штате Нью-Джерси и в многочисленных возвышенностях западнее и южнее Хартфорда в штате Коннектикут. На выходах этих диабазовых силлов и базальтовых потоков располагаются самые крупные в США карьеры и камнедробильные заводы.

Базальтовые покровы мощностью 50—900 футов свидетельствуют о многочисленных проявлениях экструзивной деятельности. Они залегают на неизменных или очень слабо измененных породах. Верхние и нижние части базальтовых покровов пористые, внутри покровов также имеются выветрелые пористые зоны, что говорит о наличии нескольких отдельных базальтовых потоков. Базальные горизонты перекрывающих отложений содержат обломки базальта. Базальты состоят из мельчайших сростков кристаллов плагиоклаза, в промежутках между которыми располагаются кристаллы авгита и вулканическое стекло. Содержание стекла в базальте возрастает по направлению к верхней части и к основанию потока; в этих частях потока базальты по виду напоминают шлак.

Характерная особенность базальтовых потоков — столбчатая отдельность, возникшая в результате сокращения объема при охлаждении лавы. В поперечном сечении столбы многогранные, а диаметр их колеблется от нескольких дюймов до 2 и более футов. Крупные столбы ориентированы перпендикулярно кровле и подошве потоков, а более мелкие могут располагаться веерообразно в теле потока.

Диабазовые силлы сверху и снизу окружены обожженной породой, в которую они были интродуцированы; часто они содержат включения глинистых сланцев и песчаников, изменен-

ных в результате прогрева. Обычно силлы залегают согласно с направлением напластования осадочных пород, но местами они пересекают вмещающие их пласты. Минеральный состав диабазов близок к составу базальтов, но диабазы не содержат стекла и имеют более крупнокристаллическое строение по сравнению с базальтами. Для диабазов характерно присутствие рассеянных зерен оливина, местами встречаются скопления зерен оливина и магнетита. В некоторых диабазах Полисейдса встречаются сростки кристаллов кварца и ортоклаза. В диабазах также наблюдается столбчатая отдельность.

Льюис (Lewis, 1907) детально описал распространение, структуру, а также петрографию базальтов, диабазов и связанных с ними контактно-метаморфизованных пород штата Нью-Джерси. Краткое описание этих пород приводится, кроме того, Джонсоном (Johnson, 1957).

Близость составов базальтов и диабазов северо-восточных штатов и близкое стратиграфическое залегание их дают основание говорить об их генетическом родстве. Многочисленные дайки, которые пересекают подстилающие базальты и вмещающие силлы отложения, вероятно, служили каналами для подъема магмы. Возможно базальтовые потоки представляют собой трещинные излияния лавы, так как они удивительно выдержаны по мощности и занимают огромные площади.

В штатах Вашингтон, Орегон, Айдахо и Калифорния производится огромное количество дробленого камня главным образом за счет огромных базальтовых покровов третичного и четвертичного возраста Колумбийского плато. Эти покровы, залегающие почти горизонтально, занимают площадь во много тысяч квадратных миль. Их мощность измеряется многими сотнями футов. В разрезах стенок ущелий и каньонов можно насчитать 6—8 отдельных базальтовых потоков, мощность каждого из которых составляет 50—150 футов. Базальтовые потоки отделяются один от другого пористыми, выветрелыми породами. Для базальтов характерна отчетливо выраженная столбчатая отдельность. Породы представлены преимущественно плотным синевато-черным базальтом.

Для камнедобывающей промышленности северо-западных штатов характерно большое количество мелких и средних карьеров, обеспечивающих преимущественно шоссейное строительство. По инвентаризации 1949 г. (Valentine, 1949) только в штате Вашингтон насчитывалось более 330 карьеров и разведочных выработок.

Добыча

Несмотря на присутствие пористых слоев и выветрелых зон, базальтовые покровы, а также диабазовые дайки и силлы содержат большие количества невыветрелого плотного камня, пригодного для использования в качестве заполнителя бетона. Разработка камня в больших или маленьких карьерах ведется простым ступенчатым способом. Наносы удаляются взрывными работами. На крупных карьерах взрывы производятся раз в неделю или даже реже, поскольку одним взрывом можно получить несколько тысяч тонн дробленого камня. Обычно используются заряды замедленного действия, так как установлено, что последовательные взрывы в серии шпуров дают более полное обрушение породы, чем одновременный взрыв. На камнедробильный завод камень из карьера вывозится автотранспортом или поступает по конвейеру. На заводе он дробится, классифицируется по размеру и складировается по отдельным фракциям¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Bowles O. (1939). The Stone Industries, 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 473—492.
- Darton N. H. et al. (1908). Passaic folio, New Jersey-New York, U. S. Geol. Survey Geol. Atlas, Folio, 157.
- Glover S. L. (1936). Nonmetallic mineral resources of Washington, Wash. Div. Geology Bull., 33, 100—103.
- Johnson H. (1957). Trap rock aggregates in New Jersey, Geol. Soc. Amer. Guidebook, Atlantic City Mtg., 42—45.
- Lewis J. V. (1907). Petrography of the Newark igneous rocks of New Jersey, N. J. Geol. Survey, Ann. Rept. State Geologist for 1907, 97—167.
- Lewis J. V., Kummel H. B. (1940). The geology of New Jersey, N. J. Dept. Cons. and Dev. Bull., 50.
- Longwell C. R. (1933). The Triassic belt of Massachusetts and Connecticut, 16th Internat. Geol. Cong., Guidebook 1, 93—103.
- Newland D. H. (1916). The quarry materials of New York — granite, gneiss, trap and marble, N. Y. State Museum Bull., 181.
- Valentine G. M. (1949). Inventory of Washington minerals, Part 1. Nonmetallic minerals, Wash. Div. Mines and Geology Bull., 37, 13—15.

¹ **Заключительные замечания.** Базальты и диабазы в СССР используются так же, как и в США, преимущественно в качестве дробленого камня. Отметим совершенно упущенное Бейтсом применение этих пород для каменного литья, в основном используемого в кислотоупорных изделиях. Базальтовое каменное литье, начатое в 20-х годах во Франции и Германии, особое развитие в настоящее время получило в Чехословакии, а также в СССР. У нас действуют заводы в Москве и Ереване, использующие базальты и диабазы Карелии, Украины и Закавказья. Планируется строительство новых заводов, — *Прим. ред.*

ПЕМЗА И ПУМИЦИТ

Введение

Пемза и пумицит — кремнеземистые вулканические стекла светлой окраски — представляют собой пирокластические горные породы, образовавшиеся в результате накопления продуктов эксплозивного вулканизма вязкой лавой. Различие между пемзой и пумицитом условное и основывается только на размерах частиц. Хотя в применении этих терминов наблюдается некоторая произвольность, все же породу с обломками более 2 или 3 мм (размер крупного песка или мелкого гравия) обычно называют пемзой, а с более мелкими частицами вплоть до пыли — пумицитом. Последнее название — синоним вулканического пепла или вулканической пыли.

Пемза очень пористая порода. Многочисленные поры пемзы образовались в результате расширения газов, главным образом паров воды, во время быстрого охлаждения полужидкой лавы, сопровождавшегося распадением лавы на отдельные кусочки. Хотя удельный вес стекла равен 2,5

Таблица 3.2

Химические анализы типичных кислых изверженных пород по Кингу
(King, 1948, стр. 294)

Порода	Компоненты								Потери при прокаливании	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O		SO ₂
Типичный нормальный гранит; среднее из 546 анализов гранитов различного возраста	70,18	13,49	1,78	1,57	1,99	0,88	3,48	4,11	—	0,84
Типичный риолит; среднее из 126 анализов	72,80	13,49	0,88	1,45	1,20	0,38	3,38	4,46	—	1,47
Типичная пемза; среднее из 80 анализов	70,38	15,82	1,42	1,50	1,56	0,48	3,70	4,10	—	3,62
Типичный обсидиан; среднее из 21 анализа	73,84	13,00	0,79	1,82	1,52	0,49	3,82	3,92	сл.	0,53
Типичный перлитовый обсидиан; среднее из 20 анализов	71,88	12,73	0,96	1,65	1,26	0,35	2,93	4,35	—	3,84

благодаря пористой структуре кажущийся удельный вес пемзы обычно меньше 1,0. Так как каждая ячейка пемзы изолирована от соседних ячеек стеклянной перегородкой, пемза имеет низкую проницаемость и ее кусочки могут плавать в воде в течение длительного времени. Пумицит же состоит главным образом из угловатых осколков и пористых обломков сильно измельченной пемзы. В табл. 3.2 приведен состав пемзы в сравнении с другими кислыми изверженными породами.

В большей или меньшей степени пемза и пумицит в природе образуют смешанные породы. Пемза может быть представлена только застывшим стеклом либо может содержать прослойки невспученного плотного стекла или мельчайшие кристаллы кварца, полевых шпатов и темноцветных минералов. Пумицит иногда включает зерна минералов и обломки пород, захваченных при извержении. Уплотненные отложения пемзы и пумицита дают месторождения кремнеземистых туфов.

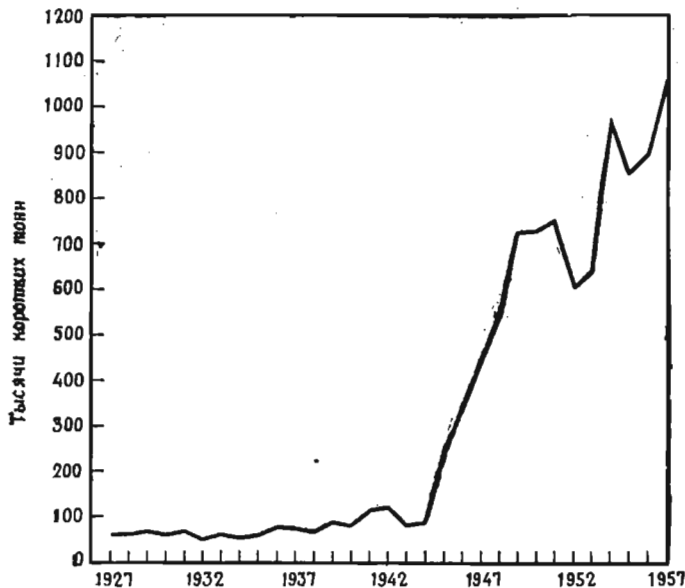
Применение

Пемза и пумицит используются в качестве абразивных материалов свыше 60 лет; до 1940 г. эта область применения была основной. Пемза и пумицит добавляются в мыло для рук, применяются в производстве различных хозяйственных моющих паст, а лучшие сорта этих материалов после классификации в воздушной среде используются при окончательной отделке серебряной проволоки, для полировки металлических изделий после нанесения слоя металла гальваническим методом и в деревообработке.

Инженеры древнего Рима обнаружили, что хорошо измельченная смесь извести и вулканического пепла дает цемент¹, который по свойствам превосходит известковый раствор. Такой цемент обладал большой прочностью, был более устойчив к агрессивному воздействию морской воды и обла-

¹ Цемент — это порошок, дающий после смачивания водой пластичную массу, которая затем «садится», т. е. затвердевает, и приобретает твердость и вид горной породы. Наиболее распространен портланд-цемент, который рассматривается в разделе, посвященном известняку — основному сырью для его производства. Самостоятельно цемент не применяется. Он смешивается с инертными зернистыми материалами — песком, гравием, дробленным камнем, — известными под собирательным названием инертных заполнителей (aggregate). Главная функция инертных заполнителей — заполнить пространство и повысить прочность смеси, которая называется бетоном. «Цементный» тротуар, сделанный из цемента и инертных заполнителей, точнее представляет собой бетонный тротуар.

дал способностью затвердевать под водой так же, как и на воздухе. Вулканический пепел добывался из вулканического кратера недалеко от города Поццуоли, располагавшегося на месте предместья Неаполя, и этот цемент получил известность как пуццолановый цемент. Долгое время он широко



Фиг. 3.3. Производство пемзы и пумицита в США в период с 1927 по 1957 г. (в тысячах коротких тонн).

использовался в Европе. Опыт, накопленный в США за несколько последних десятилетий, показал, что для производства пуццоланового цемента с успехом можно использовать, помимо вулканического пепла, многие другие виды сырья, например опаловые глинистые сланцы и диатомиты.

В настоящее время из различных видов этого сырья получают разные типы пуццоланового цемента (Drury, 1954; Mielenz, 1950; Mielenz et al., 1951). В комбинированном пуццолан-портланд-цементе пемза и пумицит использовались при строительстве Фрайантской и Пардийской плотин в Калифорнии, а также при сооружениях многочисленных оросительных систем в том же штате и при возведении плотины Алтес в Оклахоме.

Заметное увеличение потребления пемзы и пумицита началось в 1940 г. благодаря широкому применению дробле-

ной пемзы в качестве легкого заполнителя бетона (фиг. 3.3). Сборные бетонные блоки приобрели основное значение в строительстве; кроме того, пемза применяется в производстве специальных бетонных панелей и литого бетона. В 1957 г. 60% добычи пемзы и пумицита использовано в виде заполнителей в бетонах и добавок в цементы.

Дробленая пемза и пумицит также применяются вместо песка для приготовления звукопроницаемой штукатурки, насыпной изоляции, фильтрующих средств, подстилки для домашней птицы, улучшения структуры почв, различных составов для чистки и отделки изделий, в качестве носителей инсектицидов и в асфальтовых покрытиях автодорожных магистралей.

Высокопористый ячеистый продукт был экспериментально получен вспучиванием оклахомского пумицита при температурах 1200—1350°. Исключительно легковесный агрегат, состоящий из стеклянных шариков, каждый из которых содержит один или несколько газовых пузырьков, был также экспериментально получен при вспучивании зерен пумицита в газовой форсунке (Burwell, Ham, 1949). Кроме того, показана (Jacobs, 1950; Plummer, 1939) возможность использования пемзы и пумицита в качестве керамического сырья. Однако до настоящего времени в керамике эти материалы еще не используются в значительных количествах¹.

Свойства пемзы и пумицита в качестве абразива

После дробления высокосортная пемза и пумицит, не содержащие песчаных частиц кварца или других минералов и продуктов изменения, таких, как бентонит, имеют вид чистого белого порошка, состоящего из мельчайших остроугольных обломков и иголочек стекла. Благодаря раковистому излому такая форма частиц сохраняется даже при дальнейшем дроблении в процессе использования пемзового порошка. Эта особенность пемзы и пумицита в сочетании с твердостью слагающего их стекла, равной 5,5—6,0, делает порошки из этих материалов весьма ценными для очистки различных поверхностей и незаменимыми для некоторых операций тонкого полирования.

¹ В 1962 г. мировое производство пемзового сырья (в тыс. т) составляло 13 600 (в 1953—1957 гг. в среднем 7530), в том числе: ФРГ — 6289, Италия 3970, США около 3000, Франция 463, Греция 308; кроме того, (десятки тыс. т) Новая Зеландия, Австрия, Аргентина. — *Прим. ред.*

Свойства пемзы в качестве заполнителя бетона

Вес дробленой пемзы составляет от одной до двух третей веса таких заполнителей бетона, как песок, гравий или дробленый камень. Поэтому бетоны с пемзой в качестве заполнителя соответственно легче обычных бетонов. Небольшой вес ускоряет работу с такими бетонами и изделиями из них, но главный выигрыш от применения пемзы в качестве заполнителя бетона заключается в экономии арматурной стали. При сооружении служебного здания в Лос-Анжелесе бетон с пемзой в качестве заполнителя стоил на 20 800 долл. дороже по сравнению с обычным. Однако применение такого бетона позволило сэкономить на 39 000 долл. арматурной стали и дало 18 200 долл. чистой прибыли (King, 1948, стр. 301). Легкий бетон с пемзой в качестве заполнителя в строительстве можно наносить методом пульверизации, особенно при строительстве сооружений сложных геометрических форм.

Изоляционная способность пемзы в сравнении с некоторыми другими материалами, выраженная как k -фактор¹, следующая:

Рыхлая пемзовая насыпка для потолков и полов	— 0,98
Пемзовый строительный бетон	— 2,00
Бетон со шлаковым заполнителем	— 4,9
Обычный кирпич	— 5,0
Бетон с заполнителем из песка и гравия	— 12,0

Теплоизоляционные свойства рыхлой насыпной пемзы очень высоки, а пемзовый бетон в этом отношении в шесть раз эффективнее обычного бетона.

Небольшой вес и пористое строение пемзы придают ей относительно высокую упругость, благодаря чему она не дробится при работе с ней. Упругость бетона с пемзовым заполнителем в шесть раз выше, чем у обычного бетона, и ввиду этого бетон с пемзовым заполнителем значительно устойчивее против землетрясений и других толчков.

Прочность пемзового бетона находится в обратной зависимости с его весом. Так, например, если надо получить бетон с прочностью на сжатие, равной 1000 фунт/кв. дюйм, для этой цели может быть использован пемзовый заполнитель с объемным весом 66 фунт/куб. фут, но для получения бетона

¹ k -Фактор теплопроводности определяется в английских единицах теплопроводности, где за единицу принята теплопроводность блока сечением 1 кв. фут и толщиной 1 дюйм при перепаде температур на противоположных его стенках 1° F/час.

с прочностью на сжатие, равной 3500 фунт/кв. дюйм, необходимо применять пемзовый заполнитель с объемным весом 110 фунт/куб. фут (King, 1948). Другими словами, отношение прочности к весу у первого бетона будет около 15, а у второго около 32. При использовании в качестве заполнителей обычных пород для получения бетонов с той же прочностью это отношение должно составлять 7 и 22,5.

Средняя температура плавления пемзы равна 1343°. При нагревании до 760° пемза не претерпевает никаких изменений объема, а выше этой температуры отдельные волокна пемзы начинают спекаться.

При пожаре средней силы наиболее высокие температуры не выходят из пределов 480—650°, и, следовательно, при таком пожаре пемза не изменится.

Пемза обладает прекрасной сцепляемостью с большинством связующих материалов. Она не разрушается насекомыми, грибами и большинством химических реактивов. Пемзу и пемзовый бетон можно пилить и сверлить. Пемзовый бетон хорошо держит вбитые в него гвозди, он меньше «отпотевает» или конденсирует влагу по сравнению с обычным бетоном. Недостаток пемзового бетона — большой расход цемента и воды при приготовлении бетонной смеси по сравнению с обычным бетоном. Кроме того, такой бетон обладает более высокой влажностью и большими изменениями объема при затвердевании, более низкой прочностью на сжатие по сравнению с обычным бетоном.

Хорошая сводка по технологии пемзы и пумицита дана Кингом (King, 1948) и Шмидтом (Schmidt, 1956).

Свойства пумицита в пуццолановом цементе

При схватывании и твердении цемента выделяется гидроксид кальция (гашеная известь). Это не способствует повышению прочности цемента, так как легко растворимая гидроксид кальция может в результате выщелачивания перемещаться, ухудшая этим качество бетона. Тонкозернистые кремнеземистые материалы, например, пумицит, которые сами не обладают вяжущими свойствами, реагируя с гидроксидом кальция в присутствии воды дают соединения, обладающие цементирующими свойствами. Действительная природа такой реакции не совсем понятна. Первичным продуктом этой реакции считается водный монокальциевый силикат, но так как большинство пуццоланов, в том числе и пумицит, состоят не только из кремнезема, вероятно, образуются дополнительные более сложные соединения. Опыт показал, что для полного

осуществления этой реакции важно очень тонкое дробление пуццолановых добавок. Аморфный кремнезем, присутствующий в пумиците или опале, реагирует значительно лучше, чем кристаллический кремнезем даже в сильно измельченном состоянии.

Пуццолановый цемент самостоятельно не применяется. Он добавляется к стандартному портланд-цементу обычно в количестве от 10 до 30 вес. %. Портланд-пуццолановые цементы обладают рядом ценных свойств, в том числе высокой устойчивостью к проникновению и разрушающему действию морской воды. Нежелательные реакции между заполнителями бетона и щелочами, выделяемыми портланд-цементом (стр. 140), можно ослабить или устранить, используя добавку подходящего пуццолана. Портланд-пуццолановые цементы в общем дешевле чистого портланд-цемента. Использование такого цемента в Фрайантской плотине в Калифорнии дало экономию более 300 тыс. долл.

Распространение и происхождение

Являясь аморфными веществами, все стекла метастабильны. Природные стекла в течение короткого отрезка геологического времени легко подвергаются химическому выветриванию и расстекловываются до глиноподобных материалов типа бентонита. Поэтому месторождения свежих пемз и пумицитов встречаются только в отложениях третичного и четвертичного возраста. Центры взрывного вулканизма третичного и четвертичного времени и районы распространения месторождений пемзы и пумицита приурочены к западной половине США.

Конечно, любое сильное экспозивное извержение выбрасывает продукты весьма различного размера от кусков более фута в поперечнике до тончайшей пыли. Сила тяжести и движение воздуха сортируют эти продукты по величине частиц, более крупные падают рядом с кратером, а мелкие — в нескольких милях или в нескольких сотнях миль от него. После осадения из воздуха весь этот материал эродируется потоками и большая его часть переотлагается. Пемза и пумицит, сохранившиеся на месте падения, считаются первичными, а перенесенные на некоторое расстояние и переотложенные называются переработанными.

Первичные месторождения пемзы и пумицита

Первичные пемза и пумицит встречаются в огромных массах вокруг потухших вулканов и в виде покровов, протягивающихся от таких вулканов. Наиболее важными центрами

экслозивного вулканизма в штате Вашингтон являются Глейшер-Пик и Маунт-Сент-Хеленс, в штате Орегон — Крейтер-Лейк и Ньюберри-Крейтер, в штате Калифорния — Гласс-Маунтин и Моно-Крейтерс, в штате Нью-Мексико — Муант-Тейлор и Валлис-Маунтинс. Ниже приводится описание двух таких кратеров типичных представителей всей группы.

Крейтер-Лейк в Орегоне

Считают, что верхнеплейстоценовый вулкан Маунт-Мазама, располагавшийся на месте современной кальдеры Крейтер-Лейк в Орегоне, выбросил 3,5 куб. мили пемзы и пумицита (Walker, 1951; Williams, 1941). В районе Крейтер-Лейк различают два типа отложений пемзы и пумицита: «пемза выбросов» и «пемза потоков», которые образовались в различные фазы деятельности вулкана Маунт-Мазама, причем древней «пемза выбросов». Она образовалась в результате сильных взрывов, которые выбрасывали раздробленный материал высоко в воздух. Отложения продуктов взрывного вулканизма представлены пумицитом с размерами зерен 1,2—2,4 мм в поперечнике. Кусочки пемзы угловатые или округлые. В них иногда встречаются вкрапленники полевого шпата и темноцветных минералов. Присутствует небольшое количество обломков пород, но в общем материал хорошо отсортирован, не имеет слоистости и находится в рыхлом состоянии. Он залегает в виде покровных отложений на восточном берегу озера Крейтер-Лейк. На территории индийской резервации Кламат его мощность в восточном направлении уменьшается от превышающей 10 футов на берегу озера до менее 0,5 фута на расстоянии около 20 миль.

Материал пемзовых потоков образовался позднее, когда палящие тучи (*nuées ardentes*) спустились со склонов Маунт-Мазама, вырвавшись из его кратера. Термин *пемзовый поток* не означает потока лавы, а относится к оплавленным газам потокообразным лавинам, которые низвергались со склонов вулкана в окружающие его долины. Материал таких потоков состоит из кусков пемзы, включенных в основную массу пумицита и зерен минералов. Большинство зерен в этой основной массе имеет размер меньше 1 мм в диаметре, а куски пемзы могут достигать 1 фута в поперечнике. Пемза очень пористая и содержит кристаллы — вкрапленники и обломки кристаллов полевого шпата, кварца и темноцветных минералов. Полости в пемзе сильно различаются по размерам; у пемзы низкая прочность на раздавливание. Лабораторными исследованиями устанавливается, что эти пустоты имеют вы-

сокую степень сообщаемости друг с другом. Материал таких потоков не сцементирован и несет лишь слабые следы слоистости, содержит слои и линзы базальтовых шлаков и пеплов. Можно считать, что эти отложения были образованы палящими тучами. Для них характерны небольшие изменения крупности слагающего материала на всем протяжении, начиная от жерла.

Валлис-Маунтинс в Нью-Мексико

Вулканический комплекс Валлис-Маунтинс, расположенный на севере центральной части штата Нью-Мексико, представляет интерес по крайней мере по трем причинам (Ross, 1931; Stearns, 1952). В нем известна крупнейшая в мире кальдера; он содержит огромные месторождения первичной пемзы и пумицита, которые интенсивно разрабатываются в настоящее время и обеспечивают штату Нью-Мексико первое место среди добывающих пемзу штатов; считают, что вулканы этого комплекса являлись источником обширнейших пемзовых слоев Великих Равнин. Несмотря на это, район изучен плохо и известны только общие условия залегания пород этого комплекса.

В течение миоценового (?) времени вулкан, как предполагают, достиг высоты 14 тыс. футов. В нижнем плейстоцене (?) вершина его обрушилась, образовав круглую кальдеру среднего диаметра 15 миль, окружность которой имела размеры более 50 миль, а высота стенок местами достигала 2 тыс. футов над основанием. Взрывы огромной силы, происходившие одновременно с процессом образования кальдеры, привели к накоплению кремнеземистых туфов мощностью более 1 тыс. футов, которые отложились на расстоянии до 12—14 миль от центра. Эти туфы состоят главным образом из пемзы и пумицита, частично отложенных палящими тучами.

Описанные выше туфы залегают в основании плато Пахарито на восточном склоне гор Валлис-Маунтинс, которое по возрасту охватывает значительный отрезок истории человечества. Там, где туфы прорезаны глубокими ущельями, индейцами были высечены пещерные жилища; на этом плато расположен город атомных исследований Лос-Аламос.

Слои пемзы и пумицита в южной части гор Валлис-Маунтинс занимают площадь в тысячи акров, залегая под более поздними отложениями, причем мощность некоторых слоев пемзы и пумицита превосходит 50 футов. Пемзовые слои сложены рыхлым материалом, состоящим из округлых кусочков пемзы размером до 1 дюйма и пумицита, зерна которого до

размерам соответствуют песчаной фракции. Пемза белая до светло-коричневой и очень мелкопористая. Посторонний материал в этих отложениях встречается в небольших количествах.

Переотложенная пемза и пумицит

Скопления пемзы и пумицита, отложенные ветрами на поверхности Земли, представляют собой легкий, рыхлый материал, который легко размывается атмосферными осадками и уносится водными потоками. Поэтому большая часть выброшенного вулканами пемзового и пеплового материала была смыта с возвышенных участков и сконцентрирована в речных русловых отложениях, в конусах выноса временных потоков и в озерах. Этот переотложенный материал в отличие от первичных скоплений пемзы и пумицита обладает слоистостью и перемежается с осадками невулканического происхождения. Такие отложения составляют часть осадочной толщи и могут быть стратиграфически датированы. Значительная часть промышленных эксплуатируемых месторождений пемзы и пумицита относится к переотложенным скоплениям пемзы и пумицита.

Речные отложения

В окрестностях Бенд в Орегоне, в 65 милях севернее озера Крейтер, разрабатываются месторождения пемзы, залегающие в отложениях речных потоков. Чистые, хорошо отсортированные куски пемзы слагают линзовидные залежи, имеющие неправильные очертания и ограниченные размеры по протяжению, которые, очевидно, были отложены в речных руслах или западинах рельефа. Эти залежи прослеживаются от пемзового поля Крейтер-Лейк к югу.

В Калифорнии разрабатываются два месторождения пемзы в Оуэнс-Валли в округе Иньо, залегающие в полого падающих фангломератах. Слон пемзы достигают мощности 6—10 дюймов и сложены угловатыми обломками пемзы, размеры которых колеблются от пумицита до кусков величиной до 2 дюймов в поперечнике. В пемзе присутствует небольшое количество зерен кварца и полевого шпата. Недалеко от Фрайанта, округ Фресно, месторождения пемзы и пумицита приурочены к свите Фрайант (плейстоцен?), сложенной серией гравийных русловых песчаных и иловых осадков, отложенных в древних речных долинах. Пемзовый материал представлен полуокатанными и угловатыми обломками размером до

4 дюймов в поперечнике, которые включены в основную массу, сложенную среднезернистым пумицитом и туфовым песком. В отдельных местах в этом пемзовом гравии отчетливо видна косая слоистость.

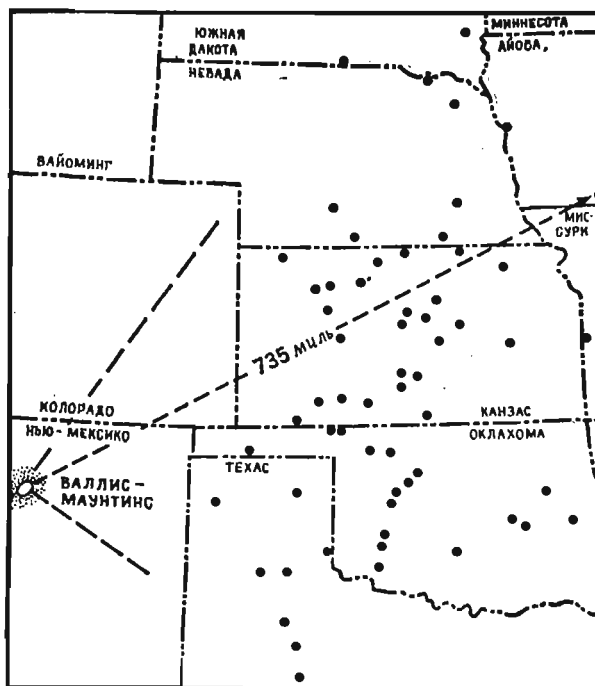
Озерные отложения

Некоторые промышленные месторождения пемзы в Калифорнии связаны с озерными отложениями. В округе Инно близ Шошони пласт пумицита мощностью 12 футов переслаивается с плейстоценовыми озерными отложениями, а в горах Эль-Пасо-Маунтин в округе Керн слой пумицита мощностью 8—9 футов залегает в кремнелых озерных отложениях формации Рикардо (нижний плиоцен). Этот последний пласт прослежен на расстоянии свыше 4 миль. Пумицит с волноприбойными знаками добывался из горизонтально залегающих отложений в округе Мадера. В штатах Великих Равнин, особенно в Канзасе и Оклахоме, известны сотни небольших месторождений пумицита. Они образованы линзовидными скоплениями пумицита в аллювиальных отложениях плиоценовой формации Огаллала и плейстоценовой (Late Kansan) формации Мид. Мощность залежей обычно не больше 70 футов, а площадь их не превышает 1 кв. мили. В некоторых месторождениях встречается почти чистый рыхлый пумицит, в других в пумиците попадаются включения и прослой песчаного и илистого материала. Местами некоторые слои пумицита постепенно переходят в бентонитовую глину, образовавшуюся за счет химического выветривания пумицита. Многие месторождения имеют хорошо выраженный пластовый характер, на некоторых из них проявляется тонкая слоистая текстура, наблюдаются волноприбойные знаки, следы падения дождевых капель и листьев. В большинстве линз пумицита встречаются раковины пресноводных моллюсков и панцири диатомей.

Все эти данные, а также беспорядочное расположение пумицитовых линз свидетельствуют о том, что накопление пумицита происходило в водоемах и небольших озерах, которые существовали на аллювиальных равнинах и заносимых наносами поймах в плиоценовое и плейстоценовое время. Часть пеплового материала, несомненно, падала непосредственно в эти водные бассейны, но поскольку в районах между бассейнами пумицит отсутствует, пепел был снесен в них потоками после того, как пеплопад покрыл пеплом обширный район.

Полностью происхождение пумицита Великих Равнин еще не выяснено. Как считает Свайнфорд (Swineford, 1949), наи-

более вероятный источник плейстоценовой части пумицитовых скоплений, так называемого перлитового пепла (Pearlette



Фиг. 3.4. Схематическая карта положения кальдеры Валлис-Маунтинс, Нью-Мексико, района развития первичных пемз и пумицита вокруг нее и мест в пределах Великих Равнин, в которых обнаружен пумицит горизонта вулканического перлитового пепла (Swineford, 1949).

ash), — вулканический центр Валлис-Маунтинс в штате Нью-Мексико (фиг. 3.4).

Методы добычи и переработка

Большая часть пемзы и пумицита добывается открытым способом в карьерах с системой уступов. При вскрышных работах должна соблюдаться большая аккуратность, так как при удалении наносов могут быть загрязнены продуктивные пемзовые слои. Деревья с помощью троса вырываются бульдозером, почва и выветрелая порода тщательно очищаются. Если большая часть пемзы и пумицита рыхлая, взрывные ра-

боты не нужны и экскаватор начинает работу прямо с поверхности карьера. Прекрасные фотографии ряда калифорнийских карьеров пемзы и пумицита приводятся в работе Честермана (Chesterman, 1956).

В штате Нью-Мексико при добыче пемза обычно транспортируется ленточным конвейером из карьера на завод. Посторонний материал и крупные куски удаляются с помощью сита с отверстиями размером 1,5 дюйма. Дробление и последующий рассев на фракции позволяют получать требуемый сорт пемзы, размеры частиц которой колеблются от $\frac{3}{4}$ до $\frac{1}{8}$ дюйма. По желанию потребителя производится различное смешение сортов. Большая часть продукции идет на изготовление пемзо-бетонных блоков. Было установлено, что в составе фракции меньше $\frac{1}{8}$ дюйма 35% составляют кварц и ортоклаз. Эта фракция может быть использована в качестве песка для воздушного шлифования и отгружается потребителям в виде побочного продукта¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Adams J. A. (1941). Pumice and pumicite, Ore. Dept. Geology and Min. Ind., GMI Short Paper, 6.
- Allison I. S. (1945). Pumice beds at Summer Lake, Oregon, Bull. Geol. Soc. Amer., 56, 789—808.
- Anderson C. A. (1941). Volcanoes of the Medicine Lake Highland, California, Univ. Calif. Publ., Bull. Dept. Geol. Sci., 25, 372—378.
- Barbour E. H. (1916). Nebraska pumicite, Neb. Geol. Survey, 4, pt. 27, 357—401.
- Braun L. T. (1950). Abrasives, Calif. Div. Mines Bull., 156, 114—115.
- Burwell A. L., Ham W. E. (1949). Cellular products from Oklahoma volcanic ash, with a section on geology and petrology, Okla. Geol. Survey Circ., 27.
- Bush A. L. (1951). Sources of lightweight aggregate in Colorado, Colo. Sci. Soc. Proc., 15, 301—368.
- Carey J. S., et al., (1952). Kansas volcanic ash resources, Kan. Geol. Survey Bull., 96, pt. 1.
- Carlthurs W. (1946). Pumice and pumicite occurrences of Washington, Wash. Div. Mines and Geology Rept. Inv., 15.

¹ **Заключительные замечания.** Месторождения пемзы и вулканического пепла пумицитового типа известны в СССР на Кавказе, в Закарпатье, Забайкалье, на Дальнем Востоке. Добыча пемзы производится преимущественно в Армении и в районе Нальчика. В основном закавказская пемза, добываемая в десятках тыс. т, используется в качестве абразива и легкого заполнителя бетона, а также в стеклоделии (маложелезистые сорта) и др. В качестве пуццолановых добавок в цемент вулканические породы используются в основном в Закавказье, Казахстане, Забайкалье, на Дальнем Востоке. Плотные туфы Армении и Закарпатья широко применяются в строительстве в виде цельнопильного штучного камня, а также для изготовления некоторых кислотоупорных материалов.—

- Chesterman C. W. (1955). Age of the obsidian flow at Glass Mountain, Siskiyou County, California, Amer. Jour. Sci., 253, 418—424.
- Chesterman C. W. (1956). Pumice, pumicite, and volcanic cinders in California, Calif. Div. Mines Bull., 174, 3—97.
- Clippinger D. M. (1946). Building blocks from natural lightweight materials of New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Bull., 24.
- Clippinger D. M., Gay W. E. (1947). Pumice aggregate in New Mexico, its uses and potentialities, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Bull., 28.
- Drury F. W., Jr. (1954). Pozzolans in California, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 7, № 10.
- Ingram S. H. (1947). Lightweight aggregates in the southwest. Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 560—574.
- Jacobs C. W. F. (1950). Glazes from Oregon volcanic glass, Ore. Dept. Geology and Min. Ind., GMI Short Paper, 20.
- King C. R. (1948). Pumice and perlite as industrial materials in California, Calif. Jour. Mines and Geology, 44, 293—319.
- Landes K. K. (1928). Volcanic ash resources of Kansas, Kan. Geol. Survey Bull., 14.
- MacDonald G. A. (1941). Geology of the western Sierra Nevada between the Kings and San Joaquin Rivers, California, Univ. Calif. Pubs., Bull. Dept. Geol. Sci., 26, 262—265.
- Mason R. S. (1951). Lightweight aggregate industry in Oregon, Ore. Dept. Geology and Min. Ind., GMI Short Paper, 21.
- McDivitt J. F. (1955). Pumice development in Idaho, Pit and Quarry, 47, 130—136.
- Mielenz R. C. (1950). Materials for pozzolan, a report for the engineering geologist, U. S. Bur. Reclamation, Research and Geology Div., Petrographic Lab. Rept., № Pet.-90B.
- Mielenz R. C. et al. (1951). Natural pozzolans for concrete, Econ. Geology, 46, 311—328.
- Moore B. N. (1937). Nonmetallic mineral resources of eastern Oregon, U. S. Geol. Survey Bull., 875, 149—175.
- Plummer N. (1939). Ceramic uses of volcanic ash, Bull. Amer. Ceramic Soc., 18, 8—11.
- Ross C. S. (1931). The Valles Mountain volcanic center of New Mexico, Trans. Amer. Geophys. Union, 12th Ann. Mtg., 185—186.
- Ross C. S. (1955). Provenience of pyroclastic materials, Bull. Geol. Soc. Amer., 66, 427—434.
- Schmidt F. S. (1956). Technology of pumice, pumicite, and volcanic cinders, Calif. Div. Mines Bull., 174, 99—117.
- Staley W. W. (1950). Pumice and perlite in Idaho, Idaho Bur. Mines and Geology, Min. Res. Rept., 6.
- Stearns H. T. (1952). Collapse versus explosive origin of Valles caldera, Sandoval County, New Mexico, Bull. Geol. Soc. Amer., 63, 1371—1372.
- Swineford A. (1949). Source area of Great Plains Pleistocene volcanic ash, Jour. Geology, 57, 307—311.
- Walker G. W. (1951). Pumice deposits of the Klamath Indian Reservation, Klamath County, Oregon, U. S. Geol. Survey Circ., 128.
- Williams H. (1941). Calderas and their origin, Univ. Calif. Pubs., Bull. Dept. Geol. Sci., 25, 251—252, 269—277.
- Winston W. B. (1947). Pumice, Calif. Jour. Mines and Geology, 43, 469—479.
- Wright L. A., Chesterman C. W., Norman L. A., Jr. (1954). Occurrence and use of nonmetallic commodities in southern California, Calif. Div. Mines Bull., 170, chap. VIII, 68.

ПЕРЛИТ

Введение

Согласно общепринятому петрографическому определению, перлит представляет собой вулканическое стекло риолитового состава, содержащее 2—5% связанной воды; для него характерна система концентрических, сфероидальных трещин, образующих перлитовую структуру. Эта структура образовалась в результате сокращения объема при остывании. Мельчайшие сфероиды достигают нескольких миллиметров в диаметре. Интерференция света между слоями этих сфероидов придает породе восковидный и перламутровый блеск.

В большинстве случаев перлит обладает ценным промышленным свойством — способностью при быстром нагревании быстро вспучиваться или взрываться. Однако этим свойством обладают и некоторые стекловидные породы, лишенные перлитовой структуры, особенно продукты изменения риолита или обсидиана. В настоящее время появилась тенденция применять термин перлит к любым стекловатым породам, обладающим способностью вспучиваться при нагревании. Здесь термин «перлит» используется именно в этом широком смысле. Обработанный нагреванием конечный продукт называется *вспученным перлитом*.

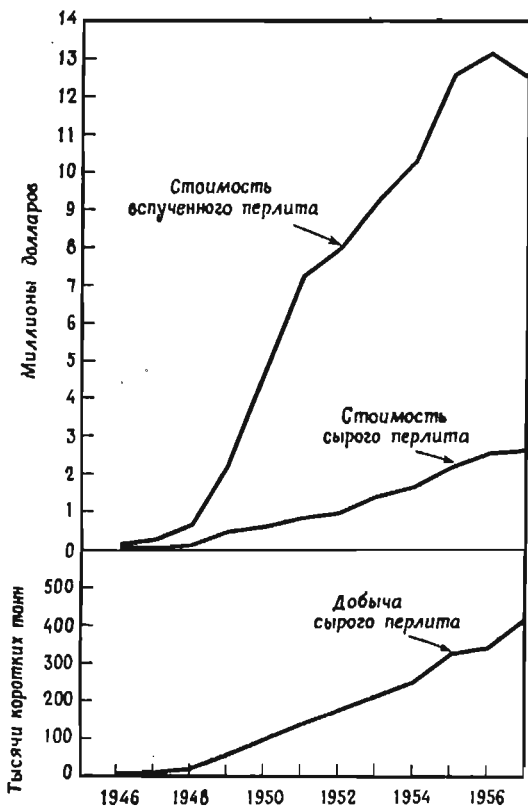
Для большинства вулканических стекол характерно заметное содержание связанной воды. В обсидиане содержание воды не превышает 1%, а в пехштейне (ретините) достигает 10%. Пемза и перлит по содержанию воды занимают промежуточное положение между этими породами. Как следует из данных, приведенных в табл. 3.2, потери при прокаливании (в основном вода) для 20 образцов перлитов составляют 3,84%; почти такое же (3,83) среднее содержание воды приводится для 10 образцов промышленных перлитов (Anderson, 1956). Сравнительно небольшое количество работ, посвященных изучению состава перлита, показало, что большая часть воды перлита — молекулярная вода, растворенная в стекле, и только незначительная часть воды находится в диссоциированной форме в виде гидроксила.

При быстром нагревании зерен дробленого перлита до температуры начала плавления стекла находящаяся в стекле вода превращается в пар, а зерна перлита становятся легкими, пористыми, ячеистыми и представляют собой фактически искусственную пемзу. Увеличение объема по крайней мере в 10 раз обычно. Оптимальная температура вспучивания перлита зависит не только от содержания в нем воды, но и от его химического состава. Состав стекла определяет

точку плавления, тип и степень вспучивания, размер пузырьков и толщину стенок между ними и, следовательно, определяет пористость получаемого продукта. Температура вспучивания лежит в пределах 760—1200°, а время вспучивания колеблется от долей секунды до многих секунд.

История

С 1928 г. известно, что отдельные типы вулканических стекол, особенно перлит, при быстром нагревании вспучи-



Фиг. 3.5. Рост новой отрасли промышленности — производство перлита в США в период с 1946 по 1957 г.

ваются, но только в 1940 г. были проведены первые промышленные эксперименты с перлитом из месторождения Сьюприор в Аризоне. В 1946 г. началось промышленное производ-

ство. Пять компаний в этом году произвели 4600 коротких тонн перлита. В 1957 г. производство перлита выросло до 422 000 коротких тонн или увеличилось в 92 раза (фиг. 3.5)¹. Разработка перлита осуществлялась в штатах Нью-Мексико, Колорадо, Невада и Аризона, а заводы для вспучивания перлита были построены в 29 штатах.

Перлит — новый продукт, перспективность которого еще не полностью установлена ни в отношении использования в различных отраслях промышленности, ни в отношении перевозки на дальние расстояния. Запасы перлита очень велики, и можно ожидать, что потребление перлита будет непрерывно расти. В 1957 г. было выдано по меньшей мере 13 патентов на новую аппаратуру для вспучивания перлита и новые области применения вспученного перлита.

В 1956 г. вышла из печати сводка по геологии и распространению перлита в США (Jaster, 1956).

Применение и свойства вспученного перлита

Около 70% вспученного перлита используется в качестве наполнителя в различных штукатурках. Перлитово-гипсовые штукатурные смеси и сухая штукатурка в настоящее время производятся несколькими крупными компаниями, производящими гипсовые продукты. Еще 15% добытого перлита применяется в качестве заполнителя легких бетонов, особенно для сооружения плоских крыш и в производстве предварительно напряженных панелей. Остальные 15% используются в виде изоляционных засыпок, фильтрующих материалов, для кондиционирования почв, наполнителей красок, компонентов буровых растворов и бетонов, а также в качестве инертного упаковочного материала.

Вспученный перлит можно получить с объемным весом не более 2 фунт/куб. фут (это поистине вес пуха), но такой материал слишком мягок и рыхл. Обычно получаемый на заводах продукт несколько тяжелее. Как видно из данных, приведенных в табл. 3.3, изоляционные свойства перлита меняются в зависимости от его объемного веса. В этой таблице для сравнения приведены также аналогичные данные для рыхлой пемзы.

Штукатурка из перлита обладает следующими свойствами: легкостью, что упрощает ее применение и экономит строительную сталь, низким k -фактором (0,4—0,8 по сравнению

¹ В 1962 г. в США добыто 408 тыс. т перлита (максимальная добыча в 1959 г. — 443 тыс. т), — Прим. ред.

с 3,0—3,5 для песчаной штукатурки), высокой устойчивостью к растрескиванию под действием напряжений, высокой огнеупорностью, а также отличными звукопоглощающими свойствами.

Бетон с перлитовым наполнителем обладает меньшей прочностью по сравнению с бетоном, в котором в качестве наполнителя применены пемза или более тяжелые материалы, но он может применяться

Таблица 3.3

Объемный вес и k -фактор перлитовой рыхлой изоляции и типичной рыхлой пемзы

Объемный вес, фунт/куб. фут	k -Фактор
Перлит без уплотнения	
2,5—3,0	0,20—0,22
Перлит, уплотненный вибрацией	
4,88	0,267
6,00	0,324
8,50	0,345
11,00	0,450
Типичная пемза	
35,00	0,98

всюду, где нагрузки не превышают 2000 фунт/кв. дюйм. Преимущества такого бетона — легкий вес, лучшие изоляционные свойства и большая огнеупорность. Особенно широко перлитовый бетон используется в готовых стальных панелях для каркасных сооружений и панельных деталях для жилищного строительства.

Сопоставление свойств вспученного перлита и пемзы

В то время как пемза может быть использована сразу после добычи и сортировки, перлит, кроме добычи,

дробления и сортировки по фракциям, должен пройти вспучивание в специальных печах — процесс довольно сложный и дорогой. Кроме того, пемза — более плотный и прочный материал по сравнению со вспученным перлитом. С другой стороны, вспученный перлит получают при определенных контролируемых условиях, и поэтому его свойства колеблются в более узких пределах, чем у пемзы. Пемза транспортируется в виде легкой сыпучей массы, в то время как перлит может перевозиться к месту потребления в виде плотной породы по низкому товарному тарифу, а вспучивание плотного перлита может осуществляться близ места его потребления. Эти материалы конкурируют между собой и с такими легкими заполнителями, как вермикулит (стр. 490) и керамзит (стр. 194), а также с обычными заполнителями — песком, гравием и дробленным камнем.

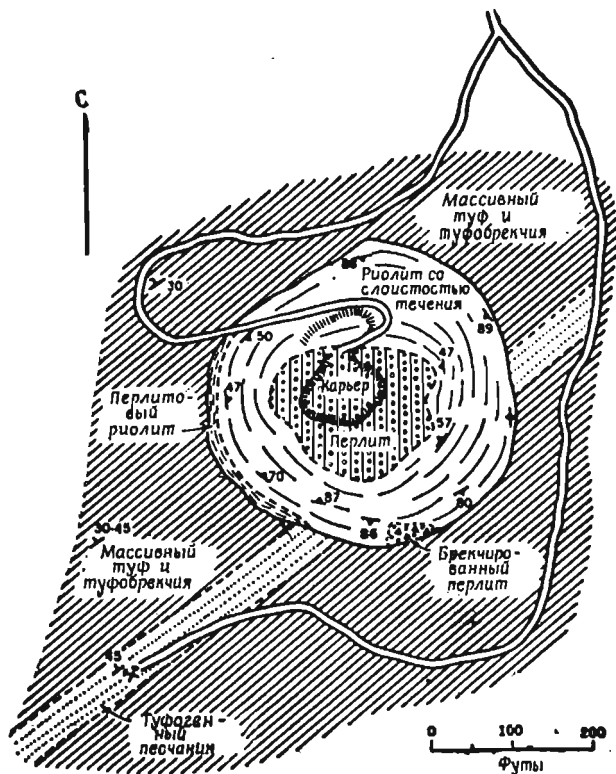
Генезис

Изучение природы и взаимоотношений природных стекол с другими изверженными породами приводит к заключению, что их генезис далеко не всегда прост. В генезисе перлита в частности имеется несколько нерешенных проблем. Не полностью еще объяснены плотное, а не пористое сложение перлита, его крупные скопления и относительно высокое содержание связанной воды. Проще всего сказать, что перлит образовался в результате экструзии магмы на поверхность и быстрого охлаждения в условиях атмосферного давления. Однако быстрого охлаждения в атмосферных условиях вряд ли достаточно; согласно Уилсону (Wilson, Roseveare, 1945), трудно объяснить, почему перлит не превратился в таких условиях в пемзу или туф. Уилфли и Тейлор (Wilfley, Taylor, 1950) указывают, что быстрое одновременное охлаждение огромной массы пород на всю глубину маловероятно, а остывание магматической экструзии в этих условиях привело бы к образованию внешней пемзовой корки и внутренней закристаллизованной части. Маловероятно, что поверхностные экструзии в условиях быстрого охлаждения могли бы привести к образованию значительных перлитовых месторождений.

Весьма вероятно, что перлит возник в результате интрузии жидкой магмы под относительно тонкий слой перекрывающих осадков, под значительным давлением, препятствовавшим превращению магмы в пемзу. Такими образованиями являются близповерхностные некки, подводящие каналы и дайки, неглубокие силлы, а также быстро остывающие краевые зоны больших интрузий. Арджелл (Argall, 1949), подметивший обычную связь перлита с отложениями гейзерита и фумарольными образованиями, подчеркивает, что остыванию небольших силлов способствовала деятельность горячих подземных вод. Аллен (Allen, 1946) показал, что перлитовое месторождение Орегона образовалось в результате излияния лавы на дно озера под толщу озерных вод, которые создали умеренное давление, необходимое для предотвращения образования пемзы.

По мере того как перлитовые месторождения изучаются детальнее и полнее, все большее число исследователей склоняются к точке зрения, согласно которой большинство перлитов в общем не являются первичными породами, а представляют собой продукт изменения других стекловатых пород или риолитов. На основании изучения многочисленных месторождений Калифорнии Честерман (Chesterman, 1954).

пришел к выводу, что эти перлиты образовались из обсидиана в результате внедрения в него паров воды. Он приводит следующую последовательность развития процесса «перлитизации»: 1) образование обсидиановых куполов, силлов и



Фиг. 3.6. Геологическая карта перлитового месторождения Сидар-Топ, округ Сан-Бернардино, Калифорния (Wright et al., 1954).

даек; 2) брекчирование обсидиана во время или после образования обсидиановых тел; 3) проникновение паров воды и изменение обсидиана в перлит и 4) поздняя стадия изменения части перлита до глины и интрузия риолита в перлит. Установлено, что источником паров воды могли быть вмещающие породы или кристаллизующиеся риолиты. Аналогичный процесс образования перлита предложил Райт с соавторами (Wright et al., 1954) для месторождения Сидар-Топ округа Сан-Бернардино в Калифорнии (фиг. 3.6).

Уилфли и Тейлор (Wilfley, Taylor, 1950) описали дайку перлита и пористого риолита, пересекающую граниты и сланцы близ Натроп в Колорадо. В этой дайке краевые части сложены риолитом, а не перлитом, как можно было бы ожидать по теории быстрого охлаждения; перлит слагает здесь центральную часть дайки. Это говорит о том, что перлит образовался за счет гидротермального изменения риолита. Согласно точке зрения Росса и Смита (Ross, Smith, 1955), небольшое количество воды, содержащейся в обсидиане, представляет собой «первоначальную воду», унаследованную от первичной магмы, а значительно большее количество воды в перлите вызвано постмагматической гидратацией.

Распространение и производство

Область распространения перлита ограничена районами развития третичного и более молодого вулканизма, ввиду чего в США перлит встречается только в западных штатах. В 1957 г. в штате Нью-Мексико произведено 60% перлита, а остальные 40% приходились на долю штатов Колорадо, Невада и Аризона.

Сокорро, Нью-Мексико

Один из крупнейших источников перлита — месторождение, расположенное на склоне горы Сокорро, примерно в 3 милях юго-западнее одноименного населенного пункта в штате Нью-Мексико (Weber, 1955). Месторождение перлита имеет форму купола диаметром 2000—2600 футов, обнаженного по вертикали более чем на 450 футов. С запада и востока перлитовый массив ограничен крутопадающими нормальными сбросами; а сам перлитовый массив представляет собой взброшенный блок. К северу и югу от месторождения перлит перекрывается вулканическими брекчиями и витрофировыми туфами, которые вверх по разрезу постепенно сменяются глинами, песками и гравием. Туфы и брекчии сложены главным образом угловатыми обломками перлита и обломками более древних вулканогенных пород ближайших окрестностей месторождения. Таким образом, устанавливается образование пирокластических пород в результате последних стадий извержений материнского вулкана. Этот полный разрез вулканогенных пород нарушен сбросами, смещен и перекрыт покровом четвертичных базальтов, большая часть которого затем уничтожена эрозией.

Перлит представлен светло-серой пемзовидной флюидально-полосчатой породой риолитового состава, удивительно однородной в пределах всего месторождения. На месторождении известен только один небольшой участок с хорошо развитой перлитовой структурой, который на северо-восточном конце переслаивается с флюидально-полосчатым риолитом и частично изменен до монтмориллонита. Большая часть флюидальных полос в перлите имеет крутые углы падения, что ясно указывает на вертикальные движения купола во время становления. Месторождение, вероятно, имеет плиоценовый или плейстоценовый возраст.

Сидар-Топ, Калифорния

Месторождение Сидар-Топ в горах Касл-Маунтинс в восточной части округа Сан-Бернардино в Калифорнии представляет собой округлый неэквальный купол риолита (Wright, Chesterman, Nogman, 1954). Он имеет диаметр около 400 футов и прорывает падающие к северо-западу риолитовые туфы, брекчии и туфогенные песчаники (фиг. 3.6). В риолитах купола отчетливо выражена полосчатость течения, которая падает к центру под крутыми углами. Центральную часть купола слагают перлиты с хорошо развитой перлитовой структурой, которые постепенно переходят в риолиты.

Перлит содержит редкие рассеянные включения пористого риолита размером 0,5—3 фута в поперечнике и неправильной формы скопления и прожилки опаловидного кремнезема и арагонита. В перлите встречается также небольшое количество округлых включений смолисто-черного обсидиана диаметром 0,25—1 дюйм, которые всегда заключены в концентрические скорлупки светло-серого перлита. Этот обсидиан считается реликтовым стеклом, еще не превращенным в перлит. Перлит здесь, очевидно, имеет вторичное происхождение и образовался в результате процесса перлитизации, который описан на стр. 93. Количества паров воды, по-видимому, было достаточно не только для образования перлита и опалового кремнезема, но и для формирования розового монтмориллонита, встречающегося в виде жил и, вероятно, представляющего продукт изменения перлита.

Добыча и переработка

Перед использованием перлит проходит предварительную обработку, которая включает три стадии: добычу сырой породы, подготовку ее для обжига и «вспучивание» в спе-

циальных печах. Ниже кратко описаны две первые стадии процесса промышленной переработки перлита. Более подробно они изложены в многочисленных опубликованных работах (Gustafson, 1949; Ross, Smith, 1955; Stein, Murdock, 1955).

Добыча перлита ведется общепринятыми горными методами. Наносы снимаются бульдозером; если они плотны, их предварительно рыхлят с помощью взрывных работ. Затем разрушается и взрывами измельчается перлит, который после этого проходит в карьере предварительное дробление. Затем измельченная порода транспортируется на фабрику автотранспортом или конвейером.

Подготовка сырого перлита для вспучивания в печах представляет собой значительно более сложный процесс. Основное в этом процессе — тщательная сортировка частиц перлита по размерам, которая осуществляется рассевом после дробления и размалывания. Величина частиц перлита, дающая лучшие результаты при вспучивании, зависит от состава перлита (в том числе от содержания воды) и конструкции печи. Обычно в печах вспучивают перлит с размером частиц от 0,1 до 0,01 дюйма. Очень важно, чтобы продукт, подготовленный к вспучиванию, не содержал частиц меньше 0,01 дюйма, так как в процессе вспучивания из них образуются слишком мелкие частицы в обожженном продукте. Поскольку перлит довольно хрупкий материал и содержит многочисленные микроскопические трещинки, чтобы избежать передрабливания, размол необходимо прекращать сразу же по достижении необходимого размера зерен. Для обеспечения получения вспученного продукта с требуемыми постоянными свойствами производится непрерывное опробование и ситовые анализы продукта, отгружаемого на установку для вспучивания перлита¹.

¹ **Заключительные замечания.** Возможность практического использования вспученных вулканических стекол в качестве легковесных материалов впервые была отмечена в 1939 г. П. П. Будниковым. Перспективы развития перлитовой промышленности с точки зрения сырьевой базы СССР были обоснованы в 1954 г. В. П. Петровым. В настоящее время у нас действуют более 20 перлитовых заводов в разных районах страны, использующих сырье Армении, Закарпатья и Забайкалья; в ближайшее время производство перлита в СССР должно приблизиться к американскому. Водосодержащие вулканические стекла в СССР более разнообразны по возрасту, чем в США, что позволяет получать и вспученные продукты более широкого диапазона свойств. В основном промышленные месторождения перлита в СССР представлены не экструзивами, а мощными потоками, более удобными для разработки. Отмеченная Бейтсом неясность в вопросе о природе воды в перлитах в значительной мере устранена при экспериментах В. В. Наседкина, показавшего, что вода

ЛИТЕРАТУРА

- Allen J. E. (1946). Perlite deposits near the Deschutes River, southern Wasco County, Oregon, Ore. Dept. Geology and Min. Ind., GMI Short Paper, 16.
- Anderson F. G. et al. (1956). Composition of perlite, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 5199.
- Argall G. O., Jr. (1949). Industrial minerals of Colorado, Colo. School of Mines Quart., 44, № 2, 320—338.
- Chesterman C. W. (1950). Perlite deposits in Sonoma County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 46, 81—82.
- Chesterman C. W. (1954). Genesis of perlite, Bull. Geol. Soc. Amer., 65, 1336.
- Chesterman C. W. (1957). Pumice, pumicite, perlite, and volcanic cinders, Calif. Div. Mines Bull., 176, 433—448.
- Gustafson F. D. (1949). The mining, milling, and processing of perlite, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 184, 313—316.
- Hunting M. T. (1949). Perlite and other volcanic glass occurrences in Washington, Wash. Div. Mines and Geology, Rept. Inv., 17.
- Jacobs C. W. F. (1950). Glazes from Oregon volcanic glass, Ore. Dept. Geology and Min. Ind., GMI Short Paper, 20.
- Jaster M. C. (1956). Perlite resources of the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 1027-1.
- Keller W. D., Pickett E. E. (1954). Hydroxyl and water in perlite from Superior, Arizona, Amer. Jour. Sci., 252, 87—98.
- King C. R. (1948). Pumice and perlite as industrial materials in California, Calif. Jour. Mines and Geology, 44, 293—319.
- King C. R. (1949). Some economic aspects of perlite, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 184, 310—312.
- King E. G., Todd S. S., Kelley K. K. (1948). Perlite: thermal data and energy required for expansion, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4394.
- Mason R. S. (1951). Lightweight aggregate industry in Oregon, Ore. Dept. Geology and Min. Ind., GMI Short Paper, 21.
- Norman L. A., Jr., Stewart R. M. (1951). Mines and mineral resources of Inyo County, Calif. Jour. Mines and Geology, 47, 103—106.
- Ralston O. C. (1946). Perlite, source of synthetic pumice, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7364.
- Ross C. S., Smith R. L. (1955). Water and other volatiles in volcanic glasses, Amer. Mineralogist, 40, 1071—1089.
- Stein H. A., Murdock J. B. (1955). The processing of perlite, Calif. Jour. Mines and Geology, 51, 105—116.
- Weber R. H. (1955). Processing perlite the technologic problems, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Circ., 32.
- Weber R. H. (1957). Geologic features of the Socorro perlite deposit, N. M. Geol. Soc., Road Log for the Socorro Area, 3—5.

входит в состав стекла как при гидротермальном воздействии, так и в экзогенных условиях, хотя незначительное количество первично-магматической воды неизменно входит в стекло в силу его природы. В настоящее время перлит в СССР преимущественно используется в качестве теплоизоляционного материала и в ограждающих покрытиях строительных панелей, в меньше мере — как наполнитель материалов несущих конструкций. О проблемах отечественной сырьевой базы перлита см.: Наседкин В. В., Водосодержащие вулканические стекла кислого состава, их генезис и изменения, Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 98, 1963, — *Прим. ред.*

- Weber R. H. (1957). Geology and petrography of the Stendel perlite deposit, Socorro County, New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Circ., 44.
- Wilfley R. D., Taylor C. W. (1950). Perlite mining and processing — a new industry for the west, Eng. and Min. Jour., 151, № 6, 80—83.
- Wilson E. D., Roseveare G. H. (1945). Arizona perlite, Univ. Ariz., Bur. Mines Circ., 12.
- Wright L. A., Chesterman C. W., Norman L. A., Jr., (1954). Occurrence and use of nonmetallic commodities in southern California, Calif. Div. Mines Bull., 170, chap. VIII, 66—68.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Практический интерес представляют как листоватые (foliation)¹ метаморфические породы, в которых проявилась плоскостная ориентировка какого-либо типа, например аспидные сланцы (slate), так и продукты массивного (nonfoliation) сложения, например мраморы. Аспидные сланцы образуются в процессе слабого динамического метаморфизма глинистых сланцев (shale), в результате которого исходные породы сминаются в складки, происходит перекристаллизация и возникает отчетливо выраженный кливаж. Однако в аспидных сланцах часто сохраняются также и признаки первичной слоистости. Мраморы образуются при высоких температурах в условиях ориентированного давления, в связи с чем пласты первичных карбонатных пород приобретают сложное складчатое строение, в то время как карбонатный материал в них перекристаллизовывается, окаменелости полностью или частично разрушаются и сохраняются лишь немногие следы первичной осадочной слоистости. В процессе этих изменений некарбонатный материал в мраморах превращается в метаморфические силикаты, а за счет ассоциирующих с известковистыми осадками отложений образуются кварциты, кристаллические сланцы и гнейсы. Иногда мраморы возникают в результате термического метаморфизма карбонатных пород на контакте с интрузивными телами.

Не будет ошибочным утверждение, что все разновидности метаморфических пород использовались в практической деятельности в тех или иных странах в различное время. Так, кристаллические сланцы и гнейсы местами разрабатываются в качестве строительного камня. Темно-зеленая разновидность серпентина с прожилками кальцита, известная под на-

¹ Термин «листоватость» (foliation) преимущественно используется в англо-американской литературе для общего обозначения плоскостных структур любого рода, преимущественно в метаморфических породах, — полосчатости, сланцеватости, отдельности и др. (Тернер, Ферхуген, Петрология изверженных и метаморфических пород. ИЛ, М., 1961). — *Прим. перев.*

званием «благородный серпентин», хорошо принимает полировку и имеет хождение на рынке под торговой маркой «мрамор». Дробленный кварцит представляет собой превосходный заполнитель бетона и железнодорожный балластный камень.

С метаморфическими породами связаны месторождения графита, асбеста, талька, вермикулита. Эти минеральные полезные ископаемые будут рассмотрены в гл. 9.

АСПИДНЫЕ СЛАНЦЫ

Введение

Аспидные сланцы — микрокристаллические метаморфические породы, главная особенность которых заключается в наличии прекрасно выраженного кливажа¹. Изучение минерального состава аспидных сланцев затруднено очень незначительными размерами слагающих их частиц, которые в подавляющем большинстве случаев имеют диаметр менее $1\ \mu$ (0,001 мм). При исследованиях этих пород, помимо микроскопических наблюдений, необходимо применять рентгеноструктурный, химический и термический методы анализа, а также использовать электронный микроскоп. В результате недавно проведенных исследований (Анопутоус, 1947) с использованием всех этих методов было установлено, что типичный аспидный сланец из восточной части Пенсильвании имеет довольно сложный минеральный состав (см. табл. 4.1). В этой таблице приведены и свойства, сообщаемые породе содержащимися в ней минералами.

Во многих случаях аспидные сланцы содержат значительно меньше пирита, чем указано в табл. 4.1. Некоторые красные аспидные сланцы могут включать до 3—6% гематита. Часто встречаются в аспидных сланцах биотит, сиде-

¹ Термин «квиваж» в представлении многих отечественных и зарубежных ученых практически тождествен широко привившемуся у нас термину «сланцеватость». Особенно устойчиво он сохраняется за рубежом именно в применении к аспидным сланцам (slate-cleavage), где им обозначают наиболее отчетливо выраженную систему плоскостей, по которой порода способна раскалываться на очень тонкие плитки, вследствие параллельной ориентировки пластинчатых минеральных зерен. Если учесть, что и спайность минералов в англо-американской литературе обозначается cleavage, то такое понимание квиважа (способность к раскалыванию) наиболее точно соответствует самому устойчивому смыслу этого термина. Ввиду особенно устойчивого использования понятия о квиваже именно в применении к аспидным сланцам представилось целесообразным сохранить его в переводе. — *Прим. перев.*

Таблица 4.1

**Минералы типичного аспидного сланца
из восточной Пенсильвании**

Минерал	Содержание, %	Свойства породы, обусловленные минералом
Кварц	30	Твердость, зернистость
Иллит (гидрослюда)	27	Кливаж
Серицит	10	Кливаж
Кальцит	10	Восприимчивость к выветриванию
Плагиоклаз	6	Твердость
Хлорит	5	Цвет, кливаж
Доломит	5	Восприимчивость к выветриванию
Пирит	4	Окраска, электропроводимость
Графит и углеродистое вещество	2,5	Цвет, электропроводимость
Рутил	0,5	Зернистость
100,0		

рит, турмалин, циркон, андалузит и каолинит. Нередко присутствуют многие другие минералы в крайне малых количествах.

При больших увеличениях можно видеть, что аспидные сланцы представляют собой сложное переплетение бесчисленных тончайших неправильных кусочков, чешуек и волокон слюдястых минералов (иллита и серицита), между которыми располагаются зерна других минералов. Эти мельчайшие слюдяные чешуйки располагаются ориентированно с тенденцией к взаимной параллельности. Такая ориентированность — главная причина возникновения прекрасного кливажа, отличающего аспидные сланцы от всех остальных пород. Чем более совершенна взаимно параллельная ориентировка чешуек слюды, тем совершеннее кливаж аспидных сланцев.

Применение

Аспидные сланцы используются в виде промышленных полупродуктов нескольких типов: в качестве штучного цельнопильного материала определенных размеров и молотого

продукта с различными размерами частиц — сланцевого зерна и сланцевой муки. Штучные плиты, помимо кровельной плитки и мостовых плит (flagstones), в значительных количествах выпускаются в качестве крупных плит (mill stock). Этот материал идет для производства электрораспределительных щитков и электропанелей, для облицовки каминов, изготовления ступеней лестниц и порогов, плитусов и подоконников, классных досок, могильных склепов, бильярдных столов. Сланцевое зерно используется главным образом в производстве кровельных материалов. Сланцевая мука применяется как наполнитель красок, линолеума и других продуктов.

Серые аспидные сланцы различных оттенков применяются в качестве кровельной плитки, а в основном как крупные плиты и в виде сланцевой муки. Из цветных аспидных сланцев производятся кровельные и мостовые плитки и сланцевое зерно. В некоторых случаях сланцевое зерно искусственно окрашивают.

В промышленности всегда существует конкуренция различных материалов, что сказалось и на использовании аспидных сланцев, так как у них отсутствуют какие-либо специфические виды потребления, в которых сланцы было бы трудно заменить другими материалами. Конкуренция проявилась даже в самом производстве сланцев, так как сланцевая кровельная плитка и сланцевое зерно для кровельных материалов, как правило, выпускаются разными предприятиями.

Характер месторождений аспидных сланцев, пригодных для производства штучных изделий, и применяющиеся при их разработке методы обуславливают ежегодное накопление колоссального количества отходов; использование этого материала — одна из насущных проблем развития производства сланцев. Только очень небольшое количество этих отходов идет на производство сланцевого зерна и муки. Исследованиями, проведенными преимущественно в Пенсильванском университете (Анопутос, 1947), были установлены некоторые новые возможности использования аспидных сланцев: 1) после дробления и вспучивания при температуре 1100—1200° из них можно получать пористый легкий заполнитель бетона; 2) после сплавления аспидных сланцев со сталелитейными шлаками и обработки этого расплава в струе пара или воздуха можно получать изоляционный материал, известный под названием минеральной шерсти. Другие возможные применения сланцев — производство акустического кафеля (acoustical tile), янтарного стекла (amber glass) и известково-сланцевого кирпича (slate-lime brick).

Краткий общий обзор сланцевой промышленности был опубликован в 1955 г. (Bowles, 1955). В 1957 г. было добыто более 630 тыс. т аспидных сланцев общей стоимостью около 11 млн. долл. Дробленый и молотый материал составлял около 81% тоннажа и 75% стоимости всей сланцевой продукции¹.

Свойства

Обычно аспидные сланцы окрашены в черный, серый, пурпурный, зеленый и красный цвета. Пятнистые и пестроокрашенные сланцы добываются лишь с незначительных количествах. Не представляют промышленного интереса разновидности, имеющие желто-коричневый цвет, поскольку такая окраска обычно присуща сильно выветрелым сланцам. Черный цвет и различные оттенки серого обусловлены примесью углеродистого материала; красный и пурпурный — рассеянным гематитом, зеленый — хлоритом или закисью железа.

Для промышленного применения очень важна устойчивость цвета сланцев. В результате воздействия атмосферных агентов у большинства, если не у всех разновидностей аспидных сланцев окраска слегка блекнет, а у разновидности зеленых сланцев, известной под названием цвета морской волны, после нескольких лет службы на открытом воздухе цвет становится буровато-серым или бурым. Такие изменения окраски сланцев связаны главным образом с окислением железистых минералов. Изменение окраски сланцевых плиток само по себе не имеет значения, при этом даже могут возникать новые приятные оттенки, однако оно затрудняет или даже делает невозможной замену пришедших в негодность плиток новыми без того, чтобы не создать цветовую дисгармоничность.

Поскольку в состав аспидных сланцев входят кварц и устойчивые силикаты, они обладают очень высокой *износостойкостью*. Плитки из сланцев лучшего качества намного переживают покрытые ими строения. Добытый вблизи Дельта, Пенсильвания, в 1734 г. сланец был вскоре после этого

¹ Производство штучной плитки аспидных сланцев в США в 1962 г. увеличилось (до 151 тыс. т) по сравнению с 1957 г. (около 96 тыс. т). Производство дробленого сланца в 1962 г. в США составляло 393 тыс. т. В числе видов потребления аспидных сланцев, помимо указанных Бейтсом, появилось производство вспученных легких заполнителей бетона. В 1962 г. начато производство облицовочной сланцевой плитки, отполированной с применением карборундовых приспособлений. Такая плитка, в частности, использована для полов и панелей холлов 180-метрового здания банка в Монреале. — *Прим. перев.*

употреблен для покрытия нескольких зданий. И сейчас еще эти сланцевые плитки не обнаруживают никаких признаков разрушения. О прочности сланцев можно судить по многим старинным зданиям в Европе и даже по доисторическим надгробным плитам во Французских Альпах, которые были установлены 2500 лет назад, но находятся и сейчас в хорошем состоянии. В том случае, если предполагается, что изделия из сланцев будут подвергаться длительным воздействиям атмосферных агентов, последние должны содержать как можно меньше карбоната кальция, так как в результате взаимодействия этого соединения с сернистыми газами воздуха образуется сульфат кальция, что вызывает разрушение поверхности сланцевых плиток (ср. отслаивание гранита, стр. 53).

Прочность на сжатие у аспидных сланцев составляет 7—12 тыс. *фут/кв. дюйм*. Однако для многих видов использования сланцев большее значение имеет *прочность на излом*. перпендикулярно направлению кливажа. В высокой прочности на излом у сланцев может убедиться всякий, кто попытается разломить обычную сланцевую кровельную плитку. Для разламывания кусочка аспидного сланца длиной 8 дюймов и толщиной 0,5 дюйма, покоящегося своими концами на опорах, необходимо к его середине приложить усилие 7760 *фут/кв. дюйм*. Высокая прочность аспидных сланцев на излом может быть объяснена особенностями их структуры, образованной мельчайшими взаимно перекрывающимися минеральными зернами, которые выкристаллизовались под давлением.

Пористость аспидных сланцев весьма незначительна, она не превышает 2%, а обычно составляет только 0,5—0,02%. В связи с этим высококачественные аспидные сланцы практически влагонепроницаемы. Однородные сланцы с небольшим содержанием углеродистых веществ и железосодержащих минералов обладают хорошими *электроизоляционными свойствами*.

Генезис и главные особенности строения

Аспидные сланцы образуются при интенсивном складкообразовании и слабом динамическом метаморфизме за счет глинистых сланцев. Необходимо помнить о трех положениях, вытекающих из этого утверждения:

1. Некоторые особенности строения исходных пород, т. е. глинистых сланцев, сохраняются и в аспидных сланцах. Наиболее важная из таких особенностей — слоистость. Пласты

аспидных сланцев представляют неотъемлемую часть некоторого стратиграфического разреза и должны быть определенным образом приспособлены к региональной структуре.

2. При изучении месторождений аспидных сланцев приходится применять все концепции структурной геологии; особенно часто необходимы понятия о складчатых дислокациях, а именно об осях и осевых плоскостях складок, падении, простирании, склонении. На месторождениях аспидных сланцев геологу приходится иметь дело главным образом со всевозможными складками — антиклиналями и синклиналями, открытыми и изоклинальными, прямыми, наклонными или опрокинутыми.

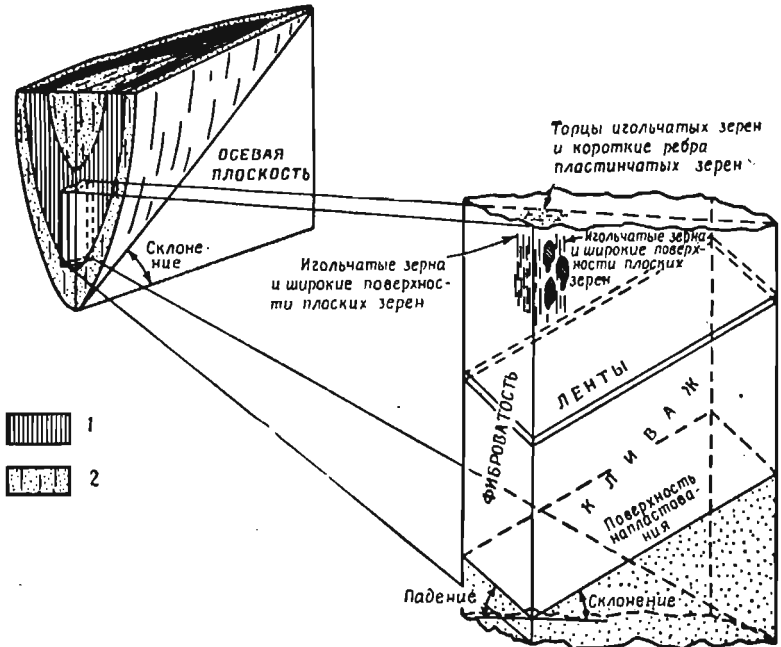
3. Пласты аспидных сланцев несут следы интенсивного сдавливания, сопровождавшегося вращением минеральных зерен, перекристаллизацией и пластическим течением материала в твердом состоянии из крыльев в гребни складок. Все эти движения приводят в конечном счете к образованию подобных складок¹ и аспидного кливажа. Однако ясно, что это складкообразование протекало в условиях низких температур, так как в аспидных сланцах отсутствуют какие-либо высокотемпературные минералы. Метаморфизм, характеризующийся интенсивным ориентированным давлением и невысокими температурами, называют динамическим. Прекрасное довольно полное описание генезиса аспидных сланцев при метаморфизме приведено в работах Бере (Behre, 1927, 1933).

В процессе развития складкообразования серицит и некоторые другие чешуйчатые минералы, присутствующие в аспидных сланцах, вращаются и постепенно ориентируются таким образом, что плоские поверхности их пластинок становятся перпендикулярными направлению ориентированного давления, а их длинные ребра приобретают взаимно параллельное расположение. Новообразованные минералы, возникающие в процессе перекристаллизации под давлением, также приобретают преимущественно пластинчатую и чешуйчатую форму и ту же общую ориентировку. Такие новообразованные минералы представлены главным образом иллитом и хлоритом. Так возникает в аспидных сланцах плоскостная структура, получившая название кливажа. Кливаж простирается перпендикулярно направлению действия ориентированного давления и параллельно осевым плоскостям формирующихся складок (фиг. 4.1). Он независим от плоскости слоистости, причем эти

¹ Подобными называются складки, сохраняющие форму в пределах значительных интервалов мощных толщ благодаря пластическому течению материала из крыльев в осевые участки складок.

две системы плоскостей могут быть параллельными, находиться во взаимно перпендикулярном положении или быть ориентированными под некоторым произвольным углом.

В процессе перекристаллизации даже унаследованные от исходных глинистых сланцев частицы кварца, не имеющие



Фиг. 4.1. Соотношения кливажа, фиброватости и лент в аспидных сланцах.

1 — чистые сланцы; 2 — песчаные сланцы.

чешуйчатой формы и спайности, стремятся тем не менее приобрести вытянутую стержневидную форму, тогда как таким унаследованным от первичной породы минералам, как рутил, вообще свойствен игольчатый габитус. Вытянутые частицы всех минералов ориентируются в аспидных сланцах взаимно параллельно в плоскости ориентировки чешуйчатых зерен. Подобное расположение стержневидных кристаллов сообщает породе второе направление повышенной скальваемости, получившее название фиброватости. Как можно видеть на фиг. 4.1, фиброватость располагается под прямым углом к кливажу, но параллельна длинным осям всех минеральных частиц, как игольчатых, так и чешуйчатых.

В мощных разрезах глинистых сланцев неизменно присутствуют песчаные, известковые или обогащенные углеродистым материалом прослои. При изменении пород таких толщ до состояния аспидных сланцев исходная неоднородность в них сохраняется. В связи с этим в метаморфической толще мощностью несколько тысяч футов удается установить лишь несколько горизонтов аспидных сланцев мощностью от нескольких до 50 футов, обладающих всеми необходимыми качествами. Однако и в пределах этих благоприятных горизонтов существуют тонкие пласты, различающиеся теми или иными свойствами, — тоном, твердостью и др. Такие полосы, параллельные поверхностям первичной слоистости, секущие под некоторым углом поверхности кливажа, называются *лентами* (gibbon).

Второстепенные особенности строения

В некоторых аспидных сланцах проявляется тенденция к раскалыванию по тесно сближенным параллельным поверхностям, расположенным перпендикулярно главному кливажу, но параллельно осям складок. В связи с возможностью раскалывания по этой системе плоскостей, получившей название *ложного кливажа* (false cleavage), или *кливажа скольжения* (slip cleavage), в аспидных сланцах могут обособляться призматические блоки, в которых две параллельные грани представляют собой плоскости истинного, а две — ложного кливажа. Ложный кливаж по мере увеличения интенсивности его проявления постепенно переходит в более резко выраженные трещины, получившие название *сколовых зон* (shear zone). Как ложный кливаж, так и трещины сколовых зон обуславливают некоторое смятие поверхностей истинного кливажа в мелкие морщины, в пределах которых он интенсивно нарушен; наблюдаются при этом и признаки зарождающихся сколовых (с проскальзыванием) тектонических нарушений (thrust faulting). Ложный кливаж и сколовые зоны возникают вследствие механического приспособления деформированной толщи к напряжениям, возникшим в ней после складкообразования и формирования истинного кливажа. В участках интенсивного проявления этих вторичных структурных элементов аспидные сланцы теряют практическую ценность. Известно несколько случаев закрытия карьеров после того, как работы на них распространились в пределы развития ложного кливажа и сколовых зон.

Так же как и в других типах пород, в аспидных сланцах проявляется *трещиноватость отдельности* (joints). В тех случаях, когда трещины отдельности ограничены выдержанными плоскими поверхностями и отстоят друг от друга на несколько футов, они облегчают эксплуатационные работы; если же трещиноватость отдельности проявляется каким-либо иным, менее благоприятным образом, при добыче сланцев возникает повышенное количество клиновидных и других непригодных к использованию блоков. Трещины отдельности обычно более открыты, нежели трещины кливажа, в связи с чем они облегчают проникновение в карьеры воды и вдоль них развиваются зоны выветривания аспидных сланцев.

Жилы, чаще всего сложенные кварцем и кальцитом, присутствуют только на некоторых месторождениях сланцев и обычно немногочисленны. Иногда устанавливаются более или менее определенные пространственные взаимоотношения между этими жилами и аспидным кливажем, но в других случаях они секут кливаж и поверхность напластования под углами, которые заранее не удается предвидеть. Жилы выполняют полости, возникшие в результате напряжений, проявившихся в аспидных сланцах уже после их образования. На некоторых месторождениях нередко встречаются также *дайки*. Чаще всего они приурочены к крупным трещинам, которые могут сопровождаться в прилегающих участках аспидных сланцев параллельными зонами локальной и довольно интенсивной трещиноватости.

Сбросы на месторождениях аспидных сланцев не играют заметной роли, так как вызываемые здесь ориентированным давлением напряжения преимущественно разрешаются в процессе складкообразования и перекристаллизации.

Распространение

В производстве аспидных сланцев в США главную роль играют два района на востоке страны: регион в округах Ли-хай и Нортгэмптон в восточной Пенсильвании, а также узкий пояс, протягивающийся через восточную часть штата Нью-Йорк и западный Вермонт. В 1957 г. на долю этих двух районов приходилось около 75% стоимости всей продукции аспидных сланцев в США. Менее важное значение имеют месторождение Монсон в центральном Мэне, район Пич-Боттом на границе Пенсильвании и Мэриленда, округ Бакингам в центральной Виргинии и мелкие месторождения в Арканзасе, Калифорнии, Джорджии и Северной Каролине.

Район Бангор — Пен-Аргайл, Пенсильвания

Значительное количество серых аспидных сланцев добывается в районе, расположенном в окрестностях городов Бангор и Пен-Аргайл в округе Нортгэмптон, восточная Пенсильвания (Behre, 1927, 1933). Этот район представляет собой холмистую местность, ограниченную с северо-запада протяженным горным хребтом Блу-Маунтин, а с северо-востока и юго-востока рекой Делавэр. Непосредственно к юго-западу от рассматриваемого района расположены месторождения аспидных сланцев в окрестностях Слейтингтона в округе Лихай.

Аспидные сланцы приурочены к формации Мартинсберг (средний и верхний ордовик). Эта формация подстилается среднеордовикскими известняками формации Джэксонберг, представляющими важный источник цементного сырья; эти известняки описаны ниже (стр. 242). Сланцевая толща сугловым несогласием перекрывается формацией Тускарора, представленной кварцитовыми конгломератами (нижний силур), которые слагают также горы Блу-Маунтин. Формация Мартинсберг подразделена в описываемом районе на три толщи. Нижняя толща мощностью 500 футов сложена кварцевыми песчаниками, песчанистыми и серицитовыми аспидными сланцами, причем серицитовые сланцы, называемые *твердыми сланцами* или *твердыми пластами* (hard vein), разрабатываются в небольших масштабах. Средняя толща мощностью 4200 футов представлена кварцевыми песчаниками, содержащими ископаемые организмы, и пачками тонко пересланяющимися песчаниками и аспидных сланцев. Верхняя толща формации мощностью около 2600 футов — главный источник аспидных сланцев — состоит из чередующихся пластов аспидных сланцев и кварцевых песчаников. Мощность пластов аспидных сланцев достигает 20 футов, а песчаников — 15 футов. Сланцы этой толщи, во многих случаях менее кремнеземистые по сравнению со сланцами нижней толщи, обладают тонкозернистым строением и легко расщепляются на пластинки. Они называются *мягкими сланцами* или *мягкими пластами* (soft vein).

Установление детальной стратиграфической последовательности в верхней толще формации Мартинсберг представило большие трудности в связи с тем, что эти породы смяты в сложные складки. В качестве маркирующих пластов была принята пачка темных, обогащенных органическим веществом «ленточных» сланцев и светлых голубовато-серых сланцев, лишенных органических примесей, которые разделяются песчаными пластами. При выявлении ключевых зон использова-

лись также и практически интересные мощные пласты сланцев, получившие название «больших». Верхняя толща формации Мартинсберг подразделяется на две подтолщи: нижнюю — Бангор и верхнюю — Пен-Аргайл, причем каждая из них содержит еще более мелкие подразделения.

Промышленные пласты сланцев участвуют в строении моноклиальной толщи с общим северо-западным падением, но осложненной многочисленными причудливыми складками. Относительно устойчивое общее простирание пород имеет азимут около 60° СВ. Общая структура толщи установлена в результате детального изучения условий залегания пород в карьерах, а также в шоссейных и железнодорожных выемках. Складки сильно сжаты, а их осевые плоскости располагаются более полого (почти горизонтально) в северо-восточной части района по сравнению с северо-западной и приобретают более крутое положение в пространстве в направлении к горам Блу-Маунтин, а также и по простиранию в юго-западном направлении.

Соотношения многочисленных структурных направлений позволяют предполагать, что толща, вмещающая аспидные сланцы, претерпела три импульса деформации — в позднем ордовике, в нижнем девоне и в самом конце палеозоя. В процессе наиболее раннего этапа деформаций — таконского орогенеза — формация Мартинсберг была собрана в пережатые складки и в ней развился аспидный кливаж. И складчатость, и кливаж были, видимо, усилены в результате второго, акадского этапа орогенеза, при котором ориентированное давление было направлено приблизительно так же, как и при таконской деформации. С другой стороны, при позднепалеозойском этапе орогенеза аспидный кливаж, очевидно, был частично искривлен и сформировались наложенные структурные элементы — ложный кливаж, сколовые зоны и мелкие сбросы.

Как показал Вудворд (Woodward, 1957), в восточной части Пенсильвании и Нью-Йорке складки палеозойского этапа орогенеза ориентируются приблизительно в широтном направлении и секут простирание более ранней складчатости. Район месторождений аспидных сланцев Пенсильвании занимает узловую участок в региональной складчатой структуре, что объясняет, по-видимому, проявление здесь исключительно интенсивной деформации толщ. По простиранию как в северо-восточном, так и в юго-западном направлении аспидные сланцы формации Мартинсберг постепенно переходят в глинистые сланцы. В выемках, ограничивающих с востока Делавэрский канал в штате Нью-Джерси, можно наблюдать аспидные сланцы с плохо проявленным кливажем; Дейл (Dale,

1914) описал в обнажениях вблизи устья реки Лихай переходы по простиранию от аспидных к глинистым сланцам в интервале около 200 футов. «Условия локализации хорошо известных аспидных сланцев... в этом частном профиле очень трудно коррелируются в отдельных выходах, что, вероятно, объясняется многократным проявлением здесь деформаций таконского, акадского и позднепалеозойского орогенеза, в которые были вовлечены ордовикские глинистые сланцы» (Woodward, 1957, стр. 1435).

Район Поултни, Вермонт

Главный район добычи цветных аспидных сланцев представляет собой пояс длиной около 50 миль при ширине 5—10 миль, протягивающийся в меридиональном направлении вдоль границы штатов Нью-Йорк и Вермонт (Lagabee, 1939). Участок площадью около 65 кв. миль с центром в Поултни предстает для пояса в целом. Этот район расположен к западу от гор Таконик и к востоку от южного побережья озера Шамплейн вблизи северного окончания сланцевого пояса.

Развитые в районе коренные породы (Cady, 1945) представлены толщей gritов (grit — тонкозернистые кварцевые песчаники с остроугольными частицами), кварцитов, аспидных сланцев, известняков и глинистых сланцев общей мощностью около 2500 футов; возраст этих пород — от нижнего кембрия до среднего ордовика. Аспидные сланцы добываются преимущественно из кембрийской формации Меттови и ордовикской формации Норманскилл. Формация Меттови мощностью от 90 до 200 футов состоит из пятнистых и взаимно переслаивающихся зеленых и пурпурных аспидных сланцев, а также одноцветных и пятнистых серых сланцев. Присутствуют также маломощные пласты известковистых песчаников и известняковых конгломератов. Зеленые и пурпурные разновидности плохо выдержаны; они сменяют друг друга по разрезу и по простиранию часто на небольших расстояниях и даже в пределах одного карьера. Существуют сланцы нескольких оттенков каждого цвета, а также многочисленные пятнистые разновидности. Резкие изменения окраски сланцев связаны с переходом окислов железа из закисной в окисную форму, однако полностью причины этого перехода не установлены. Из формации Меттови добываются широко известные сланцы цвета морской волны и «вечнозеленого» цвета. В восточном направлении аспидные сланцы формации Меттови фациально сменяются кварцитами и филлитами гор Таконик; в связи с этим, естественно, сланцы с более тонко-

зернистым сложением и лучше выраженным кливажем встречаются преимущественно в западной части района.

В нескольких сотнях футов выше кровли формации Метови в разрезе появляются красные аспидные сланцы формации Норманскилл. Эти сланцы обладают повышенной твердостью; местами они окварцованы; красный цвет в них может резко сменяться зеленым как по простираанию, так и по падению. Сланцы не образуют выдержанных пластов, а слагают линзы, переслаивающиеся с кварцитами, граувакками и кремнистыми породами.

Вся толща отложений собрана в сжатые складки, простирающиеся в северном направлении и опрокинутые на запад. Основные черты структуры района Поултни определяются существованием пяти узких сдавленных синклиналий. Весь разрез сдвинут в западном направлении на невыясненную амплитуду по падающему на восток надвигу Шамплейн, который прослеживается у западной границы района.

Породы района Поултни претерпели как таконский, так и акадский орогенез, но почти или совершенно не подверглись позднепалеозойским деформациям. Продуктивная сланцевая свита в этом районе значительно менее мощная и менее однородная, чем в районе Бангор — Пен-Аргайл. Здесь проявилось более интенсивное региональное сжатие, что, возможно, связано с существованием неглубоко расположенного крупного надвига; складчатость становится наиболее интенсивной и опрокинутой в северо-западной части района, где находится окончание надвинутого блока, тогда как в районе Бангор — Пен-Аргайл интенсивность складчатости нарастает в юго-восточном направлении, откуда действовали сжимающие силы.

Методы добычи

В современных способах добычи аспидных сланцев бурение и взрывные работы применяются только для снятия верхней выветрелой толщи пород, так как при взрывах сланцы портятся. Первичное отделение от целика блоков аспидных сланцев, из которых затем выделяются плиты нужного качества, производится при помощи бесконечных пил (wire saw) или посредством камнерезной машины¹. От подошвы карьера

¹ Камнерезная машина устанавливается на рельсах на почве карьера и высекает желоба шириной около 2 дюймов и любой требуемой глубины до 12 футов. Режущее приспособление состоит из вертикально установленных стальных пластин, снабженных на конце тупоугольным резцом; ими и производится дробление, похожее на действие долота при ударно-канатном бурении.

блоки отделяются откалыванием по плоскостям, параллельным кливажу; аналогичным образом крупные блоки, добытые в карьере, затем разделяются на плиты. Транспортировка материала из карьера производится посредством подвесной канатной дороги.

Хотя изложенная выше методика и может показаться простой, в действительности добыча аспидных сланцев представляет собой сложное дело и требует применения весьма специфических приемов. Аспидные сланцы — это не сплошная толща однородных пород; они должны извлекаться селективно из толщи, характеризующейся весьма сложной структурой. Наибольшее значение при определении направления работ имеют условия залегания продуктивного пласта. Важную роль при добыче играют также направления кливажа и фиброватости. На месторождениях округа Нортгэмптон, Пенсильвания, поверхности напластования падают круто от 70 до 90°; благоприятные пласты здесь разрабатываются до глубины 700 футов. Кливаж на этих месторождениях ориентирован почти горизонтально, в связи с чем стенки карьеров устойчивы и нет серьезных оснований опасаться соскальзывания и оползания. С другой стороны, в сланцевом поясе штатов Вермонт и Нью-Йорк падение пластов составляет в среднем около 45°. Это обуславливает необходимость ведения добычи в более широких и относительно неглубоких карьерах, так как при значительном их углублении они выходят из продуктивного горизонта. Поэтому разработку карьеров приходится вести или по падению пластов, что приводит к быстрому росту вскрыши, или по простиранию. Кливаж здесь падает под углом 10—30°, в связи с чем параллельные ему подошвы карьеров иногда очень круто наклонены, что создает много неудобств при добыче.

Таким образом, из изложенного выше видно, что на каждом месторождении аспидных сланцев при добыче возникают разные частные проблемы, которые отличаются от проблем, имеющихся на других месторождениях, что обусловлено различиями геологических структур месторождений. Детальное описание методов разработки аспидных сланцев в отдельных месторождениях дано в работах Баулса (Bowles, 1922, 1939).

Методы первичной переработки аспидных сланцев были подробно описаны Баулсом (Bowles, 1922), а для Пенсильванского сланцедобывающего района имеется в этом отношении более позднее детальное описание (Stickler et al., 1951). В последней работе авторы установили, что технология в сланцевой промышленности изменяется, но медленно, при этом замедленные темпы совершенствования оборудования и техно-

логии здесь обусловлены в общем понижением цен на продукцию. Количество отходов сланцевой промышленности колеблется в пределах 60—90% первичной добычи. Актуальные проблемы этой отрасли производства — снижение процента отходов и изыскание способов использования накопившихся отходов¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Bates T. F. (1947). Investigation of the micaceous minerals in slate, Amer. Mineralogist, 32, 625—636.
- Behre C. H., Jr., (1926). Observations on the structures in the slates of Northampton County, Pennsylvania, Jour. Geology, 34, 481—506.
- Behre C. H., Jr., (1927). Slate in Northampton County, Pennsylvania, Pa. Topog. and Geol. Survey Bull., M9.
- Behre C. H., Jr., (1928). Geologic factors in the development of the eastern Pennsylvania slate belt, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 76, 393—412.
- Behre C. H. Jr., (1933). Slate in Pennsylvania, Pa. Topog. and Geol. Survey Bull. M16.
- Behre C. H., Jr., (1933). The Bangor-Pen Argyls slate region, Pennsylvania, 16th Internat. Geol. Cong., Guidebook 8, 15—30.
- Bowles O. (1922). The technology of slate, U. S. Bur. Mines Bull., 218.
- Bowles O. (1939). The Stone Industries, 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 229—289.
- Bowles O. (1955). Slate, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7719.
- Dale T. N. (1898). The slate belt of eastern New York and western Vermont, U. S. Geol. Survey, 19th Ann. Rept., pt. 3, 153—307.
- Dale T. N., et al. (1914). Slate in the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 586.
- Kessler D. W., Sligh W. H. (1932). Physical properties and weathering characteristics of slate, Nat. Bur. Stds. Jour. Research. 9, 377—411.
- Кнопf E. B., Jonas A. I. (1929). Geology of the McCalls Ferry-Quarryville district. Pennsylvania, U. S. Geol. Survey Bull., 799, 35—41.
- Larrabee D. M. (1939). The colored slates of Vermont and New York, Eng. and Min. Jour., 140, № 12, 47—53; 1940, 141, № 1, 48—53.
- Stickler C. W., Mullen W. F., Bitner A. W. (1951). Industrial studies of Pennsylvania slate production, Pa. State Coll., Min. Ind. Exp. Sta. Bull., 58.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР месторождения аспидных сланцев известны в складчатых комплексах различного возраста, от архейского до юрского, на Урале, Кавказе, Тянь-Шане, Салаире, в Саянах, в пределах Украинского и Балтийского щитов (Розанов Ю. А., Обзор месторождений кровельных сланцев СССР, Гизместпром, 1938). В отличие от США среди аспидных сланцев СССР практически отсутствуют цветные разновидности. В течение длительного времени в СССР производится лишь крайне ограниченная добыча аспидных сланцев в основном для местных целей. Более других систематически эксплуатировались в 30-х годах Ларское и Краснополянское месторождения на Кавказе. Своеобразное и устойчивое использование сланцев в нашей стране — применение в качестве наполнителя в грамофонных пластинках (улучшаются акустические свойства и механическая прочность, снижается удельный вес). — *Прим. перев.*

- Woodward H. P. (1957). Structural elements of northeastern Appalachians, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 41, 1429—1440.
- Анонимous (1947). Properties and new uses of Pennsylvania slate, Pa. State Coll., Min. Ind. Exp. Sta. Bull., 47.

МРАМОР

Введение

Термин *мрамор* издавна применяется в практике строительства к любым природным каменным материалам (кроме известных под торговой маркой «гранит»), обладающим красивым внешним видом и способным принимать полировку. В большинстве случаев это название используется применительно к настоящим метаморфическим мраморам или кристаллическим известнякам. В числе пород, не связанных сколько-нибудь тесно по своему происхождению с настоящими мраморами или слоистыми известняками, под торговой маркой «мрамор» фигурируют мраморный оникс (*cave oyx*), травертин и благородный серпентин (*verde antique*)¹.

В использовании терминов *мрамор* и *известняк* существует некоторая неясность. В настоящей книге принята терминология, предложенная Бруксом (Brooks, 1954), но с заменой его названия *метамрамор* применительно к метаморфическим карбонатным породам, используемым в качестве камня, подвергающегося полировке, более кратким и привычным названием *мрамор* (табл. 4.2). В настоящем разделе рассматриваются именно те породы, к которым применимо это название, тогда как осадочные ортомраморы описаны в разделе, посвященном известнякам на стр. 255.

Использование приведенной в табл. 4.2 классификации основано на том, что известняк всегда можно отличить от метаизвестняка. Поскольку между осадочными и метаморфическими карбонатными породами существуют постепенные переходы, подобно переходам, наблюдающимся между глинистыми и аспидными сланцами, то для их разграничения предла-

¹ Термином *verde antique*, или в итальянской транскрипции *verde antico*, называлась первоначально зеленая серпентиново-мраморная брекчия Фессалии. Впоследствии этим термином стали обозначать собирательно зеленые мраморы с серпентином, например среднеазиатские (Ферсман, 1961), а как видно из определения Бейтса, и пестроцветные серпентиниты с включениями карбонатов. Последний тип поделочного материала в СССР известен под названием «благородный змеевик» (разновидность офита, плотного бесструктурного эмалевидного серпентина, окрашенного в зеленые цвета разных оттенков) или просто серпентин, который по классификации Ферсмана относится к поделочным материалам II порядка. — *Прим. перев.*

гается использовать некоторые легко устанавливаемые критерии. Карбонатную породу следует считать метаморфической (метаизвестняком или метадоломитом), если, во-первых, в ней проявились достаточно интенсивная деформация и перекристаллизация, существенно разрушившие ее первично осадочные признаки и окаменелости, и если, во-вторых, некарбонатный материал в ней представлен типичными метаморфическими минералами — графитом, хлоритом, слюдой, тремоли- том и др. Дополнительный косвенный признак метакарбонат- ных пород — характер ассоциирующих с ними кластических пород, которые обычно в этом случае представлены аспидны- ми и кристаллическими сланцами, метакварцитами и гней- сами.

Т а б л и ц а 4.2

Использование терминов известняк, доломит и мрамор

	Термины, предложенные Бруксом (Brooks, 1954)	Термины, используемые в настоящей книге
Происхождение	Карбонатные породы, не используемые в произ- водстве полированного штучного камня	
Осадочное	Ортоизвестняк или из- вестняк	Известняк
	Ортодоломит или до- ломит	Доломит
Метаморфическое	Метаизвестняк	Метаизвестняк
	Метадоломит	Метадоломит
	Карбонатные породы, используемые в произ- водстве полированного штучного камня	
Осадочное	Ортомрамор	Ортомрамор
Метаморфическое	Метамрамор	Мрамор

¹ В отечественной практике существует двойственное использование термина «мрамор». Петрографо-техническое — для обозначения осадочных и метаморфических суще- ственно карбонатных пород, способных принимать полировку, и чисто геологическое как собирательное название метаморфизованных существенно карбонатных пород (Смо- лин, 1959). Такие термины Брукса и Бейтса, как метаизвестняк, ортомрамор и метамра- мор, совершенно не используются ни в прикладной, ни в научной отечественной литера- туре. — *Прим. перев.*

Самый распространенный минерал мраморов — кальцит. В наиболее высококачественном скульптурном камне содер- жание карбоната кальция превышает 99%, однако в большин-

стве случаев в мраморах присутствуют также другие минералы в количестве нескольких процентов. Главнейшие несиликатные минералы — примеси в мраморах представлены кварцем, графитом, гематитом, лимонитом и пиритом, а наиболее распространенные силикаты — слюдами, хлоритом, тремолитом, волластонитом, диопсидом и роговой обманкой. Немногочисленные разновидности мрамора сложены преимущественно доломитом вместо кальцита. Мраморы, состоящие из чередующихся прослоев или неправильных агрегатов кальцита и доломита, представляют меньший практический интерес, чем существенно мономинеральные породы, так как эти два минерала часто отличаются окраской, зернистостью, восприимчивостью к полировке и устойчивостью к выветриванию.

Последний общий обзор мраморной промышленности был опубликован в 1958 г. (Bowles, 1958).

Применение

Мрамор до настоящего времени имеет два главных вида использования, известные еще в те далекие времена, когда древние греки сооружали Парфенон, а именно архитектура и скульптура. В настоящее время более половины добываемого мрамора применяется в строительстве как для внешней, так и внутренней отделки зданий: для полов, мостовых, ступеней, подоконников, панелей и резных украшений. Остальная часть добываемого мрамора используется в основном в качестве статурного и мемориального камня.

Дробленый мрамор (отходы при добыче штучного камня и при его первичной обработке) также находит ряд применений. Некоторые виды его использования основаны на физических свойствах, например применение в качестве заполнителя бетона, другие — на химических, например применение для производства извести. Большинство видов использования мраморной крошки аналогично существующим у дробленого известняка (см. стр. 235).

Точные количественные соотношения мрамора, использованного в различных отраслях производства, невозможно установить, поскольку в статистические данные по штучному камню наряду с мрамором включены ортомрамор и благородный серпентин, а мраморная крошка попадает в одну рубрику с дробленным известняком. В 1957 г. по приблизительной оценке было произведено около 95 тыс. т мрамора в виде штучного камня общей стоимостью около 10 млн. долл. Количество вы-

пущенной мраморной крошки в несколько раз превышало количество штучного камня, но общая стоимость ее значительно меньше¹.

Свойства

В целом мраморы имеют самую различную окраску. Абсолютно чистый мрамор обладает бриллиантово-белым цветом. Присутствие рассеянного углеродистого материала в виде тонких чешуек графита сообщает мрамору гамму оттенков от очень светло-серого до черного. Зеленые оттенки обусловлены примесями хлорита или других силикатов. Гематит и марганцовистые карбонаты придают мраморам розовую и красную окраску, а лимонит — желтую и кремовую. Окраска может распределяться в породе равномерно, но многие разновидности мраморов пятнистые или имеют разноокрашенные выдержанные или неправильные полосы, называемые жилками. Жилковатый мрамор используют для композиций типа «буккат» («book-cut», дословно «высеченная книга»), которые при совмещении двух параллельно срезанных пластин образуют зеркальное повторение узора. Панели из хорошо полированных пластин, скомпонованные по этому методу, необычайно красивы. Необходимость получения материала однородной окраски или с полосчатостью определенного типа обуславливает при эксплуатации месторождений мрамора селективную выемку отдельных пластов.

Поскольку мраморы в большинстве случаев сложены преимущественно кальцитом, их структура прежде всего определяется размерами, взаимоотношениями и ориентировкой зерен этого минерала. Бейн (Bain, 1934) подсчитал, что в 1 см³ тонкозернистого вермонтского мрамора содержится около 2 тыс. зерен кальцита, а в том же объеме более грубого мрамора из Джорджии — 70 зерен; средние диаметры зерен соответственно имеют в этих случаях величину около 0,37 и 2,44 мм. В большинстве разновидностей мраморов зерна имеют весьма неправильную форму, зазубренные и тесно взаимопроникающие границы, а межзерновые пространства в мраморе чрезвычайно малы. Такая сложная структура мрамора обуславливает устойчивость его к атмосферному воздействию, так как прежде чем обнаженное зерно сможет выпасть,

¹ В 1962 г. в США добыто 146 тыс. т мрамора в виде штучного камня. Получило развитие производство бетонных строительных панелей, облицованных тонкими мраморными пластинами; установка этого материала дешевле, чем массивных мраморных плит, расход мрамора меньше. — Прим. перев.

оно должно освободиться от очень прочных связей сцепления с соседними. Обычно в мраморах ориентировка отсутствует, но в некоторых разновидностях кристаллографические оси зерен кальцита расположены приблизительно в одном направлении. Спайность кальцита создает мозаику поверхностей с бриллиантовым отблеском, которые в полированных поверхностях и обуславливают общий бриллиантовый блеск.

Мраморы обладают умеренной твердостью, которая у кальцита равна 3,0, а у доломита 3,5—4 по шкале Мооса. Чистый кальцитовый мрамор имеет невысокую износоустойчивость при использовании его в качестве материала для полов и ступеней, однако заметная примесь кварца и (или) силикатных минералов значительно увеличивает стойкость мрамора к истиранию. В большинстве видов использования устойчивость мрамора к абразивному воздействию почти или совершенно не играет никакой роли, поэтому наибольшую ценность имеют относительно мягкие легко поддающиеся обработке разновидности, на добычу которых к тому же затрачивается меньше усилий, что снижает их стоимость.

В связи с очень компактным строением и тесно взаимодействующими границами зерен кальцита мраморы обладают очень низкой *пористостью*, колеблющейся от 0,0002 до 0,5%. В связи с этим даже при службе на открытом воздухе они очень незначительно поглощают влагу и не разрушаются при воздействии мороза. На некоторых выходах вермонтских мраморов видны отчетливые штрихи, оставленные плейстоценовым ледником, а изображения и надписи, высеченные на многих мраморных памятниках времен американской революции, сохранили резкость и ясность. *Растворимость* на поверхностях, подвергающихся атмосферному воздействию, до некоторой степени зависит от структуры и состава камня, но в основном определяется атмосферными условиями. Белый каррарский мрамор из Италии может сохраняться неизменным столетиями в условиях средиземноморского климата, но в том же мраморе, подвергающемся атмосферному воздействию на северо-востоке США, через одно-два десятилетия появляются выбоинки и следы коррозии. *Прочность* практически у всех мраморов достаточна, чтобы выдерживать в течение длительного времени вес тех сооружений, в которых они обычно используются.

Генезис и структурные особенности

Погребенные пласты известняка могут превратиться в мрамор при термическом метаморфизме, осуществляющемся за счет тепла интрузивных массивов. В результате перекристал-

лизации кальцита в относительно чистом известняке признаки его первичной структуры могут стираться, и он превращается в искристо-белый мрамор. Механическое воздействие интрузии может приводить к некоторому изменению условий залегания карбонатных пород, так что они могут быть наклонены в сторону от интрузивного тела, однако при этом не происходит никаких других сколько-нибудь существенных деформаций, и они не бывают причиной метаморфизма пород. Месторождения мраморов, образовавшиеся при воздействии тектонических сил, рассматриваются ниже.

Подавляющая часть месторождений мраморов сформировалась за счет глубоко погребенных карбонатных пород в условиях интенсивного ориентированного давления и высоких температур, иными словами, в результате динамотермического метаморфизма. Проявления интенсивного неуравновешенного давления отчетливо видны в обычном смятии горизонтов мраморов и ассоциирующихся с ними пород в сложные складки. Признаки одновременного воздействия высокой температуры заключаются в присутствии в мраморах таких аксессуарных силикатов, как тремолит и диопсид, которые встречаются лишь в породах, претерпевших интенсивное нагревание. Признаки процессов, приведших к образованию мраморов, обнаруживаются и в тесно ассоциирующих с ними кристаллических сланцах и гнейсах, несущих многочисленные следы динамотермического метаморфизма. Поскольку первичные черты осадочных пород и фауна в мраморах полностью или частично уничтожены, точное определение геологического возраста и достоверная региональная корреляция толщ мраморов представляют собой трудную задачу.

Приводимые ниже данные основаны преимущественно на изучении мраморов Вермонта, однако выводы и заключения о происхождении и структуре этих месторождений вполне применимы и к другим мраморам динамотермического генезиса, в том числе, например, к мраморам, распространенным в Джорджии и Алабаме.

Крупная полоса мраморов западного Вермонта протяженностью 80 миль и шириной 0,25—4 миль располагается в меридиональной долине, ограниченной на востоке Зелеными горами, а на западе — горами Таконик. В геологическом отношении это один из сложнейших районов восточной части Северной Америки. Нижнепалеозойская толща огромной мощности смята в интенсивные складки и метаморфизована под воздействием направленного с востока ориентированного давления и разбита на отдельные блоки серий падающих к востоку надвигов. Сложность картины усиливается значительной

первично-фациальной неоднородностью осадочной толщи. Изучение геологии этого сложного по своему строению региона началось более 100 лет назад, однако многие проблемы, например история развития структуры хребта Таконик, до сих пор не разрешены.

Промышленные эксплуатирующиеся месторождения мрамора приурочены к ранне- и среднеордовикским формациям (серия Бикментаун, Чази, Блэк-Ривер и Трентон). Эта группа отложений подстилается верхнекембрийскими метадоломитами и перекрывается филлитами среднеордовикского возраста. Различаются четыре главных горизонта мраморов, разделенные зонами сланцеватых или доломитизированных карбонатных пород. Окраска мраморов преимущественно белая, светло-серая или светлая голубовато-серая. В них присутствуют нарушенные полосы и вытянутые прожилкообразные скопления силикатов. В некоторых пластах присутствуют разрушенные, но еще определяемые гастроподы, кораллы и брахиоподы, что позволяет установить возраст этих пород. Вследствие интенсивного сжатия мощность мраморов непостоянна и колеблется у отдельных горизонтов от 50 до 300 футов.

В пределах вермонтского пояса мраморов установлены крупные антиклинальные и синклинальные складки шириной более мили, протягивающиеся в меридиональном направлении на несколько миль. Чаще всего эти складки опрокинуты в северо-западном направлении, в связи с чем падение пород в обоих их крыльях юго-западное. Вследствие однородного падения пород, их размыва и наличия более или менее мощных ледниковых наносов при детальном разведочных работах удалось установить лишь присутствие этих складок, тогда как их протяженность и взаимоотношения остались невыясненными. Было установлено, что мощность пластов мраморов сильно уменьшается в гребнях главных антиклиналей и значительно увеличивается в замках синклиналей по сравнению с мощностью в крыльях складок.

В стенках карьеров видно по положению полос темноцветных минералов, что внутри пластов мраморов имеются многочисленные мелкие складки с поперечником от нескольких футов до нескольких десятков футов. Бейн (Bain, 1931) назвал эти мелкие структуры *складками течения*. Складки течения асимметричны, и их крутые крылья обращены в сторону замковой области смежной крупной синклинали. Бейн предположил, что в мраморах происходило пластическое течение материала из гребней антиклиналей в направлении шарниров синклиналей в тот период метаморфизма, когда породы были глубоко погребены и находились в пределах зоны

пластического течения земной коры. Бейн сравнивал складки течения с морщинами, образующимися на шоссе на дорогах в асфальте под действием силы тяжести. В этой аналогии само шоссе с асфальтовым покрытием представляет собой антиклиналь, его боковой кювет — главную синклиналь, а морщинки асфальта, стекающего в кювет, — складки течения, обращенные крутыми сторонами в сторону углубления.

Понятие о складчатости течения при изучении деформаций в горных цепях имеет преимущественно теоретическое значение, но в мраморной промышленности эти складки представляют непосредственный практический интерес, а именно: увеличение мощности пластов мрамора в складках течения позволяет производить в таких участках добычу в промышленных масштабах. Крупные однородные блоки удается извлекать лишь в шарнирных областях таких складок. Обычно здесь мощность мраморов в осевых частях синклиналей путем образования складок течения в 20 раз больше по сравнению с крыльями.

На некоторых карьерах Вермонта происходили внезапные и сильные выбросы горных пород (Vaip, 1931). При этом горные массы приходили в движение по мере того, как продвигалась их разработка, врубовая машина весом более одной тонны опрокидывалась с рельс и образовывались многочисленные диагональные трещины. Эти трещины секут поперек частично освобожденные блоки, а также проникают в стенки карьера и целики. Они расположены под углом 45° к горизонтальной поверхности, выходят в рабочие или свободные стенки и постепенно выклиниваются по направлению к боковым участкам. Обычно сильные выбросы горных пород, видимо, происходят в тех местах, где поверхность пород ровная или слабоволнистая и где поблизости отсутствуют глубокие овраги или ущелья.

Можно усмотреть некоторое сходство этого явления с внезапными выбросами пород в гранитных карьерах (стр. 58). В мраморах так же, как и в гранитах, горизонтальная составляющая силы, возникающей при увеличении объема горных пород при снятии с них нагрузки, представляет заметную опасность, так как она может разрешиться лишь при боковом смещении пород в свободное пространство, например в выемки. Если при этом напряжения, возникающие за счет боковой составляющей расширения разгруженных пород, превышают их предел упругости, то возникают трещины. Вертикальная составляющая расширения, по-видимому, снимается в процессе извлечения камня в карьерах, хотя при этом в мраморе не

возникают структуры отслаивания, возможно, потому, что мрамор сам по себе порода слоистая, а не массивная. Бейн (Baip, 1933 а, б) пришел к выводу, что при разработке мраморных карьеров происходит снятие напряжений, возникших «в процессе смятия мраморов в сложные группы складок течения, устанавливаемые в тех карьерах, в которых наблюдаются явления выбросов пород».

В залежах мрамора довольно обычны трещины отдельности, расстояния между которыми колеблются от нескольких дюймов до многих футов. В тех случаях, когда проявляются две взаимно перпендикулярные системы трещин, стенки карьеров ориентируют параллельно направлениям трещиноватости с тем, чтобы облегчить отделение блоков. Бейн (Baip, 1941) отмечал, что в вермонтском мраморном поясе интенсивная трещиноватость проявляется преимущественно в пониженных участках рельефа и в большинстве случаев мраморы добываются на возвышенных местах, где трещины отдельности расположены относительно редко.

Применительно к некоторым типам естественных каменных материалов, особенно к граниту, термины *раскол* и *волоknистость* имеют вполне определенное и самостоятельное значение, но в отношении мраморов они используются как вполне взаимозаменяемые и оба просто означают направления более легкой раскальваемости породы. Это направление обычно параллельно полосчатости и при этом обусловлено ориентированным расположением удлиненных минеральных зерен в результате воздействия давления при метаморфизме. Способность мраморов к раскалыванию увеличивается при наличии в них ориентированных пластинчатых минералов, например слюды и графита, или игольчатых кристаллов актинолита. Это направление легчайшего раскалывания мраморов имеет важное значение при эксплуатационных работах.

Отдельные месторождения

В обычный по масштабам производства год «мрамор» в виде штучного камня добывается в 10 или 12 штатах, но добыча в большинстве из них невелика, при этом на месторождениях штата Теннесси, занимающего ведущее место, разрабатываются лишь ортомраморы. Наибольшее количество строительного и скульптурного мрамора добывается в Вермонте и Джорджии, незначительные количества — в Колорадо, Мэриленде и Северной Каролине. Месторождения мрамора США были описаны Баулсом (Bowles, 1958).

Месторождение Джул-Крик, Колорадо

Типичное месторождение мраморов, возникших при термическом метаморфизме, расположено в долине ручья Джул в округе Ганнисон в западной части центрального Колорадо (Vanderwilt, 1937; Vanderwilt, Fuller, 1935). Палеозойская толща подверглась здесь нагреванию под воздействием третичного гранитного массива, образовавшего небольшое поднятие, получившее название купола Трежер-Маунтин. Осадочная толща наклонена в сторону от контакта с гранитным массивом. Ширина контактного ореола колеблется от немногих футов до 3000 футов. Песчаники в контактном ореоле превращены в кварциты, глинистые сланцы — в твердые кремневидные роговики, а за счет глинистых и кремнеземистых карбонатных пород возникли силикатные породы, обогащенные эпидотом, гранатом, диопсидом, роговой обманкой и тремолитом.

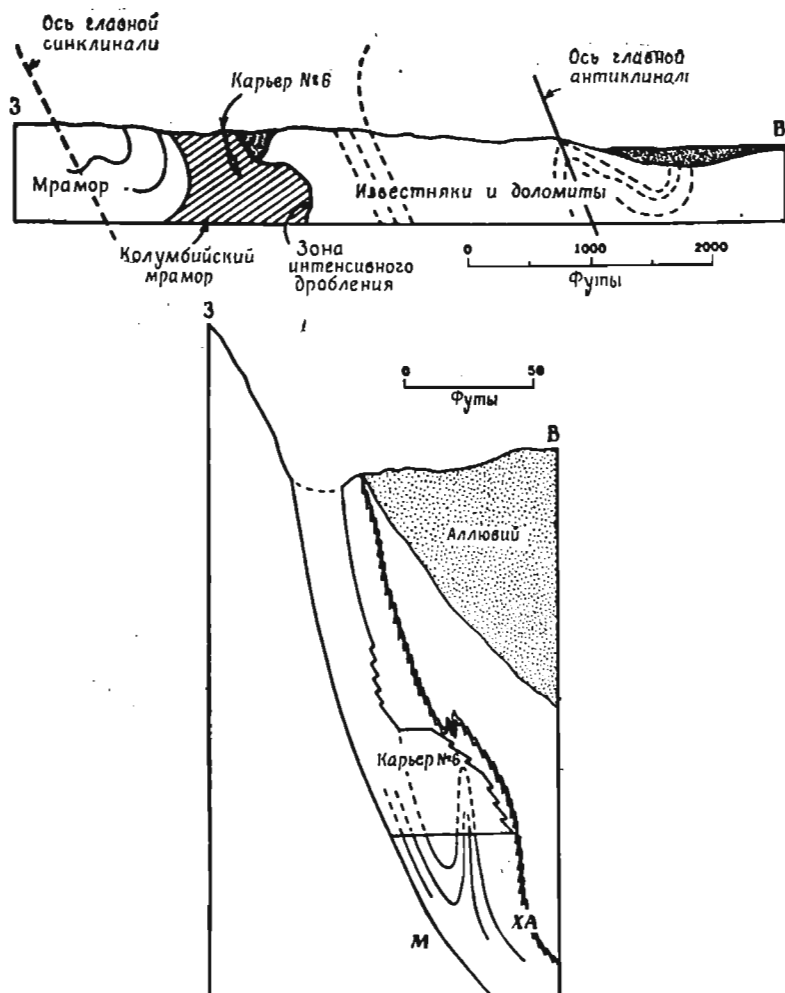
Относительно чистые известняки формации Ледвилл, имеющие миссисипский возраст, полностью перекристаллизованы в мраморы. Нижняя часть этой формации имеет доломитовый состав, а верхняя (мощностью от 125 до 175 футов) представляет собой единый пласт среднезернистого белого мрамора. В эксплуатационном карьере азимут простирания мрамора составляет 5—10° СВ, а угол падения около 45°. Хотя в толще мрамора и присутствуют тонкие линзы кремнистых образований и несколько прослоев доломитизированных пород, в целом месторождение представляет собой достаточно крупное тело высококачественного камня, из которого легко получать крупные блоки.

Это месторождение с некоторыми перерывами эксплуатировалось с 1886 по 1940 г., причем первичная обработка блоков производилась на камнерезном предприятии, расположенном поблизости. Многочисленные широко известные сооружения, в том числе памятники Неизвестному Солдату и Линкольну, сделаны из колорадского джульского мрамора. Результаты испытаний джульского мрамора под воздействием больших давлений освещены в серии статей (Griggs et al., 1951—1956).

В 1955 г. после перерыва на месторождении Джул-Крик были возобновлены эксплуатационные работы, но при этом стали добывать сырье лишь для дробленого камня.

Район Питсфорд, Вермонт

В настоящее время мрамор в Вермонтской долине добывается в основном лишь в пределах округа Ратленд в западной части центрального Вермонта. С севера на юг здесь



Фиг. 4.2. Поперечные разрезы толщи мраморов месторождения Питсфорд, Вермонт.

На верхнем разрезе показаны крупные складки и положение карьера № 6 в мраморах Колумбийской формации на восточном крыле главной синклинали. Карьер № 6 приурочен к складке течения, что можно видеть на нижнем разрезе. (Займствовано из работы Bain, 1931, Amer. Jour. Sci., 5th. ser., 22, 511, 512.)

расположены следующие главные месторождения мрамора: Брандон, Питсфорд, Проктор, западный Ратленд, Кларендон и Данби (Vain, 1931, 1933a, 1933b). Месторождение Питсфорд вполне представительно по отношению ко всей этой группе месторождений.

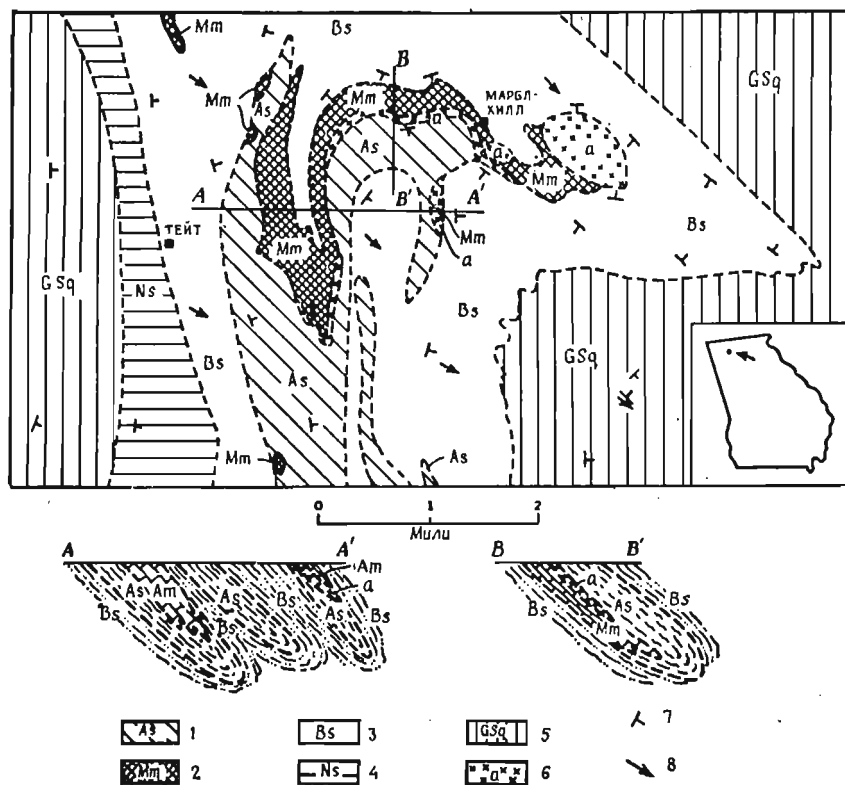
В Питсфорде функционируют восемь карьеров. Во всех этих карьерах добывается так называемый колумбийский мрамор, относящийся к нижней половине средней части серии пород бикментаунского возраста. Мраморы приурочены к восточному крылу опрокинутой синклинали, склоняющейся под углом около 10° к югу. Породы простираются на север-северо-запад 5° и падают почти вертикально от 80 до 90° на восток (фиг. 4.2). Карьеры располагаются в пределах мощной зоны складок течения. В одной из таких складок мощность пласта мраморов возрастает с 10 до 132 футов; в наиболее широкой части ширина складки составляет 50 футов. В участках складок течения с увеличенной мощностью пласта зернистость мрамора больше, чем на крыльях. Так, в только что упомянутой складке в участках с большой мощностью пласта поперечник зерен кальцита составляет в среднем около $0,5$ мм, тогда как в маломощных участках пласта — около $0,2$ мм. В основном мрамор обладает светлой голубовато-серой окраской с неправильными пятнами, возникшими в результате проявления интенсивной микроплойчатости. Этот мрамор хорошо полируется.

В связи с крутым падением пород карьеры достигают глубины 400 футов. Действительно, некоторые из них подобны шахтам, так как представляют собой огромные камеры, из которых извлечен весь мрамор, за исключением сплошных целиков, оставленных для поддержания кровли. В более глубоких карьерах проявляется самопроизвольное увеличение объема пород. В карьерах Питсфорда были добыты необычайно крупные прочные блоки. Так, резервуар фонтана Скотта на острове Белл, Детройт, сооружен из единого блока весом 65 т.

Район Тейт, Джорджия

Это месторождение мрамора расположено в округе Пикенс в северной части центральной Джорджии, близ северо-западной окраины плато Пидмонт. Местность здесь холмистая и сложена остаточными горами и глубокими долинами. Небольшой район, тяготеющий к городам Тейт и Марбл-Хилл, имеет довольно сложную геологическую структуру (фиг. 4.3). Впервые он детально был закартирован Файрли, и в основном по его данным приведены последующие описания.

Нижняя часть стратиграфического разреза в районе месторождения представлена раннепалеозойскими (?) метаосадочными породами и ортоамфиболитами. Метаосадочная



Фиг. 4.3. Геологическая карта и разрезы месторождения мрамора, Тейт, Джорджия. (Данные из рукописного отчета Файрли, любезно предоставленные этим исследователем и Горно-геологическим департаментом Джорджии.)

1—5—нижнепалеозойские метаосадочные породы: 1—гранатосодержащие слюдяные кристаллические сланцы формации Андрус; 2—мраморы формации Мёрфи; 3—кварцево-сланцевые кристаллические сланцы формации Брасстаун; 4—графитовые кристаллические сланцы формации Нантэхэла; 5—кварциты формации Грейт-Смоки; 6—позднепалеозойские (?) амфиболиты, вероятно вулканические; 7—элементы залегания сланцеватости (слоистости); 8—простираение и склонение линейности (мелких морщин на поверхностях сланцеватости).

толща расчленена на пять формаций, одна из которых — Мёрфи — сложена мраморами. Эта формация частично подстилает, а частично фациально замещает формацию гранатовых слюдяных кристаллических сланцев Андрус. Мраморная тол-

ща подстиляется формацией кварцево-сланцевых кристаллических сланцев Брасстаун. Местами мраморы отсутствуют, очевидно выклиниваясь в связи с первично-фациальными причинами, и в таких случаях кристаллические сланцы формации Андрус лежат непосредственно на сланцах Брасстаун.

Как это можно видеть на фиг. 4.3, общая структура района представляет собой синклинали. Формация Мёрфи и ассоциирующая с ней толща сжаты в изоклинальные складки общего меридионального простирания, но одна из этих складок, осложненная поперечной складчатостью, изгибается и протягивается в восточном направлении к городу Марбл-Хилл. Эта сложная структура интерпретировалась Бейли (Bailey, 1928) как складчатость, возникшая в связи с пологим надвигом Уайтстон; однако недавними работами существование этого надвига подтвердить не удалось.

Мраморы формации Мёрфи собраны в интенсивные складки и перекристаллизованы. Темные прожилкообразные полосы в мраморах, которые, как полагают, отражают первичную слоистость, позволяют расшифровывать лишь локальные структуры. В карьерах близ Марбл-Хилл по этим темным полосам можно проследить сжатые складки, осевые плоскости которых падают к юго-востоку под углами 15—20°. Таким образом, эти мелкие складки так же, как и главная синклинали, в целом опрокинуты на северо-запад. В других карьерах мраморы настолько интенсивно складчато дислоцированы, что не удается проследить какой-либо слой на сколько-нибудь значительное расстояние и невозможно установить какое-нибудь устойчивое структурное направление. Видимо, детальное структурное исследование позволило бы доказать, что в этом случае складчатые дислокации также представляют собой складки течения, подобные описанным Бейном (Bailey, 1931) для вермонтских мраморов.

Мраморы округа Тейт, пользующиеся широкой известностью, состоят преимущественно из кальцита и обычно имеют ясно кристаллическое средне- и грубозернистое строение; они полупрозрачны и обладают жилковатыми и пятнистыми текстурами. Зерна кальцита изометричны, диаметр их достигает 5 мм. Акцессорные минералы представлены кварцем, биотитом, флогопитом, амфиболами и графитистым углеродистым веществом. В карьере близ Марбл-Хилл добываются белые разновидности мраморов, а вблизи Тейта — разноцветные. Одна из разновидностей последнего участка имеет розовую окраску с зеленовато-черными пятнами и прожилками агрегата актинолита и роговой обманки. Здание Фондовой биржи в Нью-Йорке облицовано джорджийским белым мрамором, а

Букингемский фонтан в Грант-Парке, Чикаго, сооружен из розового мрамора. Многие разновидности мраморов Джорджи широко применяются в строительстве, скульптуре и для изготовления мемориальных досок.

Помимо штучного камня, в округе Тейт получают большие количества дробленого и молотого мрамора, в том числе такие продукты, как террасовая щебенка, мраморный порошок и песок (poultry grit). Технология получения всех этих продуктов была описана Сиверингхоузом (Severinghaus, 1957).

Методика разведки

Сложность структуры месторождений мрамора часто выражается в резких изменениях условий залегания и мощности пластов по горизонтали и вертикали. Экономически выгодна разработка лишь крупных месторождений мрамора, поэтому организация новых карьеров или возобновление эксплуатационных работ на старых месторождениях возможны лишь в том случае, если существует уверенность в наличии там крупного тела мраморов должного качества.

Многие структурные и стратиграфические особенности поясов развития мраморов могут быть установлены при тщательной геологической съемке, и детальные геологические карты играют важную роль в разведке месторождений мраморов. Однако одних карт для оценки месторождений недостаточно, необходимы также данные о характере залежей и запасах мрамора на глубине, сведения о распространении в мраморе разновидностей, различающихся по окраске, структуре, однородности, прочности. Получение всех этих характеристик для глубоких зон месторождения возможно лишь при условии применения при разведочных работах колонкового бурения. В этих целях обычно используется буровой инструмент с алмазными коронками, обеспечивающий получение цилиндрического керна. Необходимые испытания с определением химического состава и физических свойств мрамора (а также установление элементов залегания пластов) могут быть проведены при диаметре керна порядка 3 дюймов.

Разведочные работы на месторождениях мрамора, проводимые относительно крупными компаниями, включают большой объем бурения. При этом производится тщательное описание керна каждой скважины, а положение всех скважин точно наносится на геологические карты. После обязательных испытаний оставшийся материал от буровых кернов складывается и сохраняется для дальнейшего их изучения по мере необходимости.

Эксплуатационные работы

Проектирование и методы развития мраморных карьеров определяются тремя взаимосвязанными факторами: углами падения пластов, мощностью вскрыши и степенью однородности пригодного к добыче камня. Маломощные круто падающие пласты особо ценного мрамора могут разрабатываться с поверхности по простиранию или на глубину с применением подземных горных выработок. Более мощные круто падающие пласты, заключенные в крепких и прочных вмещающих породах, можно эксплуатировать посредством довольно глубоких карьеров. Полого залегающие пласты можно разрабатывать при помощи неглубоких и широких карьеров, развиваемых по простиранию в пределах экономически целесообразной мощности вскрыши. Во всех случаях методы разработки в большей степени зависят от качества мрамора и его цены.

После удаления приповерхностных пород вскрыши тело мрамора рассекается первоначальными прорезями. Эти прорези, как правило, получают с использованием камнерезной машины, а расстояния между ними определяются размерами применяющихся ленточных пил. Взрывные работы почти или совершенно не применяются. Наиболее часто прорези, полученные камнерезной машиной, отстоят друг от друга на расстоянии около 6 футов и достигают 8 футов глубины, располагаясь поперек длинной оси карьера. Концы полос, разделяемые прорезями, отсекаются от стенок карьера, а затем эти полосы в нескольких местах рассекают поперек; в конечном счете образуются блоки с пятью свободными поверхностями. Первый блок полосы раскалывается и извлекается произвольно, а затем производится бурение шпуров в нижних частях остальных блоков полосы с последующим их выкалыванием. Таким образом, разработка производится почвозуступно с высотой уступа 8 футов. При наклонном залегании толщи извлечение прямоугольных блоков приводит к образованию в карьере неровной или гребневидной подошвы.

Главные прорези проводятся по возможности перпендикулярно трещиноватости мрамора с тем, чтобы затем использовать трещины для поперечного расчленения полос на блоки. При этом необходимо проявлять особую внимательность при выделении блоков, чтобы трещины не оказались внутри них.

Бурение шпуров и расклинивание применяются для получения вторичных сечений и для отделения блоков от подошвы. При этом шпуров обычно ориентируют параллельно *расколу* или *волокустости* (направлению наиболее легкой раскалываемости), т. е. обычно параллельно поверхности слоистости.

Шпуры располагают на расстояниях от 4 дюймов до 2 футов друг от друга в зависимости от совершенства раскола, диаметр их 1,5—1,75 дюйма, а глубина — необходимая для отделения блока нужных размеров. Отделение блока от почвы производится при помощи расклинивания методом «клина и шипа» (plug-and-feather)¹. Из карьера блоки убираются при помощи деррик-крана.

Как это отмечал Баулс (Bowles, 1939), главная задача эксплуатационных работ на месторождениях мраморов заключается не в установлении высокой производительности дробления и бурения или валовой продукции на человеко-час, а скорее в выпуске прочных блоков однородного качества. В связи с этим на каждом отдельном месторождении разработка должна производиться в строгом соответствии с его спецификой. Таким образом, добыча мрамора представляет собой гораздо более тонкую процедуру, нежели это можно было уяснить из краткого вышеприведенного описания. Более подробно все эти вопросы рассмотрены в работах Бейна (Bain, 1938) и Баулса (Bowles, 1939, 1958)².

ЛИТЕРАТУРА

- Argall G. O., Jr., (1949). Industrial minerals of Colorado, Colo. Scholl of Mines Quart., 44, № 2, 280—297.
 Bain G. W. (1931). Flowage folding, Amer. Jour. Sci., 5th ser., 22, 503—530.

¹ Шипы (feather) — это железные полосы, плоские с одной стороны и криволинейные (по форме шпура) — с другой. Две такие полосы вставляются в шпур криволинейными сторонами к его стенкам, а затем между ними вбивается стальной клин (plug). Стальные клинья последовательно понемногу вбиваются в шпуры до тех пор, пока в основании блока не образуется трещина. Шипы имеют конусовидную форму и узкими концами обращены в шпуре навстречу вдвигаемому клину, поэтому по мере продвижения последнего шипы передают равные усилия по всей длине шпуров.

² **Заключительные замечания.** В СССР известны многочисленные месторождения мраморов самых различных расцветок, однако недостаточная их изученность препятствует более широкому использованию мрамора. До революции использовались красивые цветные, но недостаточно долговечные мраморы Карелии, а также белые и серые мраморы Урала. В годы первых пятилеток мрамор применялся почти исключительно для производства электротехнических изделий. Строительство Московского метрополитена и других монументальных сооружений вызвало развитие добычи мрамора в ряде районов СССР, главным образом на Урале (белые, серые, желтоватые), а также в Грузии, Армении, Узбекистане, на Алтае и Дальнем Востоке (бело-серые, черные, красные, разноцветные). Наиболее ценные мраморы СССР, так же как и вообще в мире, относятся к регионально-метаморфическому типу. См. Розанов Ю. А. и др., Месторождения облицовочных камней в СССР (справочник), 1941. — *Прим. перев.*

- Bain G. W. (1981). Spontaneous rock expansion, *Jour. Geology*, **89**, 715—736.
- Bain G. W. (1933a). Brandon to Bennington, Vermont, 16th Internat. Geol. Cong., Guidebook 1, 80—97.
- Bain G. W. (1933b). The Vermont marble belt, 16th Internat. Geol. Cong., Guidebook 1, 75—80.
- Bain G. W. (1934). Calcite marble, *Econ. Geology*, **29**, 121—139.
- Bain G. W. (1936). Petrology of marble, *Mineralogist*, **4**, № 2, 3—4, 30—31; № 3, 5—6, 36—37.
- Bain G. W. (1938). Mining marble, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **129**, 99—114.
- Bain G. W. (1941). Geological, chemical, and physical problems in the marble industry, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **144**, 324—339.
- Bayley W. S. (1928). Geology of the Tate quadrangle, Georgia, *Ca. Geol. Survey Bull.*, **43**.
- Bowles O. (1939). *The Stone Industries*, 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 168—228.
- Bowles O. (1958). Marble, *U. S. Bur. Mines Inf. Circ.*, 7829.
- Brooks H. K. (1954). The rock and stone terms limestone and marble, *Amer. Jour. Sci.*, **252**, 755—760.
- Cady W. M. (1945). Stratigraphy and structure of west-central Vermont, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **56**, 515—587.
- Dale T. N. (1912). The commercial marbles of western Vermont, *U. S. Geol. Survey Bull.*, **521**.
- Criggs D. et al. (1951—1956). Deformation of Yule marble, Parts I—III, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **62**, 853—906, Parte IV, **62**, 1385—1406, Parts V and VI, **64**, 1327—1352; Part VII, **67**, 1259—1294.
- Kessler D. W. (1919). Physical and chemical tests of the commercial marbles of the United States, *Nat. Bur. Stds. Tech. Paper*, 123.
- King P. B. (1951). *The tectonics of Middle North America*, Princeton, N. J., Princeton Univ. Press, 119—144.
- McCallie S. W. (1907). A preliminary report on the marbles of Georgia, *Ca. Geol. Survey Bull.*, **1**, 2nd. ed.
- Newland D. H. (1916). The quarry materials of New York—granite, gneiss, trap, and marble, *N. Y. State Museum Bull.*, **181**, 176—208.
- Perkins G. H. (1932). The marble industry of Vermont, *Vt. State Geologist 18th Rept.*, 1931—1932, 1—315.
- Prouty W. F. (1916). Preliminary report on the crystalline and other marbles of Alabama, *Ala. Geol. Survey Bull.*, **18**.
- Severinghaus N., Jr. (1957). Current technology in the Georgia marble industry, *Min. Eng.*, **9**, 1341—1344.
- Vanderwilt J. W. (1937). Geology and mineral deposits of the Snowmass Mountain area, Gunnison County, Colorado, *U. S. Geol. Survey Bull.*, **884**, 152—173.
- Vanderwilt J. W., Fuller H. C. (1935). Correlation of Colorado Yule marble and other early Paleozoic formations on Yule Creek, Gunnison County, Colorado, *Colo. Sci. Soc. Proc.*, **13**, 439—464.

ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Стоимость и общее количество используемого в промышленности осадочного сырья намного больше, чем для полезных ископаемых изверженного и метаморфического происхождения, вместе взятых. При этом осадочные породы имеют несравненно большее значение, чем полезные ископаемые, представленные минералами осадочных пород. По стоимости шесть главных видов неметаллических полезных ископаемых располагаются в следующем порядке: пески и гравий, известняки, глины, сера, каменная соль, фосфатные породы. За исключением серы, все эти полезные ископаемые представляют собой осадочные породы. Их общая стоимость составляет около 60% стоимости всех неметаллических полезных ископаемых — пород и минералов, используемых в промышленности. На долю этих же полезных ископаемых, вероятно, приходится не менее 90% тоннажа добычи всех неметаллических полезных ископаемых.

В настоящем разделе рассматриваются обломочные некарбонатные породы — пески и гравий, песчаники, глины и глинистые сланцы, а известняки и доломиты, фосфатные породы, гипс и соли описываются в гл. 6.

Некоторые обломочные осадочные породы, например пески и гравий или глинистые сланцы, встречаются повсеместно, и поэтому их практическая ценность определяется главным образом близостью месторождений этих материалов к месту потребления. Другие породы, например чисто кварцевые пески и фарфоровые глины, встречаются реже, но они обладают специфическими свойствами и имеют большую ценность, и поэтому их перевозят на большие расстояния. Применяя экономические критерии, перечисленные в гл. 2 этой книги, два последних вида полезных ископаемых могут рассматриваться и как промышленные породы, и как промышленные минералы.

Каждая осадочная порода представляет собой продукт разрушения более древних пород. Отдельные месторождения гравия, песков и глин довольно однородны по составу и более или менее полно освобождены от примесей других материа-

лов. Качество месторождения зависит от степени разделения исходных материалов, а масштабы месторождения — от длительности процесса накопления полезного ископаемого. В этой главе, а также и в следующей неоднократно показывается возможность разделения вещества в больших масштабах в процессе осадконакопления.

ПЕСКИ И ГРАВИЙ

Введение

Классификация обломочных осадков, которой обычно пользуются геологи, была предложена Уэнтуэртом (Wentworth, 1922). Согласно этой классификации, построенной на миллиметровой шкале, обломочный материал размером от $\frac{1}{16}$ до 2 мм называется песком, а более крупный — гравием¹. Оба эти материала подразделяются по размеру на разновидности, каждой из которых дано соответствующее название (фиг. 5.1).

Повседневное использование в больших масштабах песка и гравия для строительства шоссейных дорог, дамб и в других отраслях гражданского строительства привело в результате к очень неточной промышленной терминологии. Дорожные управления, строительные и государственные организации предложили различные номенклатуры песков и гравия по гранулометрическому составу. Как показано на фиг. 5.1, минимальные размеры песчаных зерен, обычно принятые в промышленности, составляют либо 0,05, либо 0,074 мм, причем эти значения соответствуют диаметрам отверстий в ситах № 270 и 200 американского стандарта. Граница между песком и гравием колеблется в пределах от 2,0 до 6,35 мм (от сита № 10 до сита с диаметром отверстий $\frac{1}{4}$ дюйма); самый большой размер частиц для гравия составляет от 3 до 3 $\frac{1}{2}$ дюймов. В промышленности часто применяется термин «мелкий заполнитель» к пескам или дробленому каменному материалу песчаных размеров и термин «крупный заполнитель»

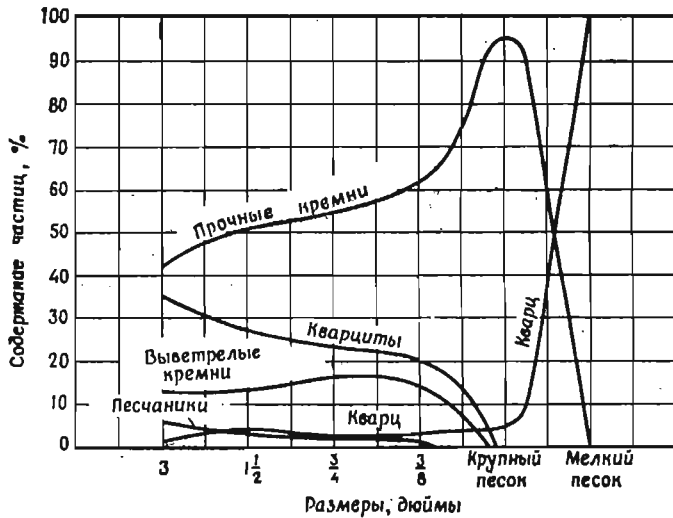
¹ Американские геологи для гравийных частиц принимают размеры от 2 до 4 мм, а частицы размером от 4 до 64 мм рассматривают как гальки. Однако в советской геологической практике и особенно в промышленности для частиц указанных размеров более употребителен термин «гравий». Подробнее о классификациях обломочных пород см. Рухин Л. Б., Основы литологии, Гостоптехиздат, 1961 г., стр. 75—86; а также Шутов В. Д., Обзор и анализ минералогических классификаций песчаных пород (по работам американских и русских литологов за последние двадцать лет), «Литология и полезные ископаемые», № 1, 1965, стр. 95—112. — Прим. перев.

мм	Геологическая классификация (по Уэнтзуэрту)	Промышленная классификация	Размер отверстий сит американского стандарта (дюймы и мм)	Дюймы	мм		
100,0	Булыжник			3 1/2	100,0		
64,0						3 1/2	3 1/2
	Галька	Гравий					
10,0							
	Мелкий гравий			1/4"	6,35		
4,0						• 4	0,187
						• 5	0,157
2,0						• 10	0,079
1,0						• 18	0,039
0,50						• 35	0,020
	Средний	Песок					
0,25						• 60	0,010
0,125						• 120	0,005
	Тонкий						
0,10						• 200	0,003
0,062				• 270	0,002		
	Алеврит	Алеврит			0,050		

Фиг. 5.1. Геологическая и промышленная классификация песков и галечников, построенная на логарифмической миллиметровой шкале. Заимствована с диаграммы Труседла и Варнеса (Truesdell, Varnes, 1950, U. S. Geol. Survey).

к гравию и дробленому каменному материалу гравийных размеров.

Пески и гравий различаются не только по размеру, но и по составу (фиг. 5.2). Как правило, пески состоят преимущественно из кварца. В некоторых песках присутствует много



Фиг. 5.2. Средние составы песков и гравия из отложений реки Теннесси. Видно, что количество различных типов пород уменьшается с уменьшением размера зерен. По Спэйну и Роузу (Spain, Rose, 1938, A. I. M. E. Trans., 129, 122).

полевых шпатов, а большая часть содержит несколько процентов слюды, кремня или минералов тяжелой фракции, таких, как магнетит, оливин и гранат. Однако, за немногими исключениями, пески представляют собой главным образом агрегаты кварцевых зерен, и большее практическое значение имеют однородные по составу пески, чем неоднородные. С другой стороны, гравий имеет довольно разнородный состав. Преобладающие компоненты гравия — обломки пород, а не минеральные зерна. Различные обломки могут быть представлены либо мягкими породами, такими, как глинистые и слюдяные сланцы, либо твердыми, устойчивыми породами, как, например, гранит, жильный кварц и кварцит. Кроме того, обычно присутствуют обломки песчаников, известняков, доломитов, роговиков, криптокристаллических вулканических пород. В гравии в противоположность пескам можно точно определить типы пород, за счет которых он образовался.

Пески почти не содержат примеси гравия, как, например, в дюнах или на пляжах, но редко можно встретить залежи гравия без примеси песка. Эти две разновидности пород могут встречаться и совместно в виде смеси либо в виде пере-слаивания линз грубого песчанистого гравия с прослоями и линзами галечникового песка. В этих обломочных породах обычно встречаются переменные количества химически осажденных минералов, таких, как кальцит, лимонит и гипс.

Применение

Главные потребители песка и гравия — строительная и дорожная отрасли промышленности, причем эти материалы применяются главным образом в качестве заполнителя бетона на портланд-цементе. Так как бетон обычно содержит по весу от 80 до 85% заполнителя, очевидно громадное количество материала, необходимое для строительства бетонных дорог, дамб, железных дорог, пирсов, фундаментов и других сооружений. В качестве заполнителей бетона применяют не только песок и гравий, в большом количестве используются также дробленый камень (щебень) и другие материалы. Тем не менее добыча песка и гравия настолько тесно связана с развитием дорожной сети и строительством, что она является одним из лучших показателей экономического развития района или страны. Стоимость всей продукции песка и гравия в США в 1957 г. более 590 млн. долл., что намного превышает стоимость продукции любого другого неметаллического полезного ископаемого¹. Общее количество используемого гравия примерно в два раза больше количества потребляемого песка.

Пески и гравий в бесцементной укладке широко применяются при строительстве оснований шоссейных дорог и аэродромов. В небольшом количестве эти материалы применяются в качестве железнодорожного балласта, для насыпей и при сооружении гравийных шоссе. Пески используются также в бетоне и штукатурке.

Около 10% песков от количества их, используемого в дорожном строительстве и сооружениях, применяется в различных отраслях промышленности. Для удобства дальнейшего рассмотрения их можно отнести к пескам специального назначения. Основная масса этого материала — пески с большим содержанием кремнезема, сложенные почти нацело кварцем. Частично сырье такого типа добывается из поперх-

¹ В 1962 г. в США добыча песка и гравия составила около 703,6 млн. т. — *Прим. перев.*

ностных отложений или ледниково-озерных осадков, но более 75% этого материала получают из песчаников¹. Поэтому пески специального назначения рассматриваются в следующем разделе, посвященном песчаникам.

Иногда пески и гравий разрабатываются для получения россыпного золота, касситерита, ильменита и других металлов. В таких случаях они представляют собой рудные залежи и поэтому не рассматриваются в настоящей книге.

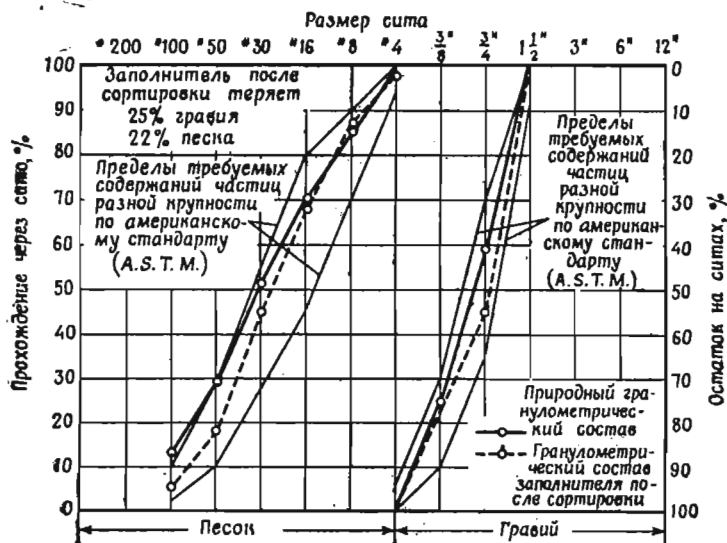
Свойства

Пески и гравий отличаются от пород, описанных в предыдущих разделах, своей рыхлостью и большим разнообразием как по количеству, так и по составу слагающих компонентов. В противоположность, например, пемзе или сланцам пески и гравий не используются в естественном виде. Их можно искусственно обогатить путем просеивания и отмучивания и составлением смесей с определенным размером зерен (фиг. 5.3). Следовательно, некоторые месторождения с сырьем неоднородного качества могут иметь промышленную ценность. Здесь можно перечислить только некоторые свойства, определяющие пригодность песков и гравия для заполнителей.

Залежи песка или гравия, разрабатываемые для заполнителей, должны быть *чистыми*, т. е. не содержать глинистого вещества, слюды и органических примесей. Глинистое вещество — вредная примесь, если оно присутствует в большом количестве повсеместно. В тех же случаях, когда глинистого материала немного, его можно отмутить, а если он встречается в виде отдельных участков или слоев, их можно избежать при разработке. Большая примесь алеврита (материала, проходящего через сито № 200) вредна, так как в большинстве спецификаций наличие алеврита не допускается совсем либо допускается в количестве не более 5%. Нежелательны пленки глинистого материала, карбонатов кальция, окислов железа и других веществ на обломочных частицах, так как связь между частицей и пленкой может быть слабой, вследствие чего ослабляется также и связь частиц с цементом. Кроме того, пленки некоторых веществ становятся химически неустойчивыми в бетоне в процессе цементации и затвердевания.

¹ К песчаникам автор относит любые дочетвертичные песчаные породы независимо от их степени консолидации, называя при этом песчаниками и рыхлосвязанные древние породы, которые у нас называются песками. — *Прим. перев.*

Устойчивость к износу очень важна для заполнителей, используемых в бетоне, особенно в тех случаях, когда бетон предназначен для дорожного строительства. Легко определить устойчивость к износу песков, но природно смешанные гравийные материалы разнородны, что обуславливает трудность определения их износоустойчивости. Месторождения



Фиг. 5.3. Сравнение гранулометрических составов природных и обогащенных заполнителей со стандартными гранулометрическими составами Американского общества испытания материалов (A S T M) Пески и гравий из отложений реки Норт-Платт, опробованные в качестве заполнителей для строительства плотины Кортес-Дам в штате Вайоминг. По Родесу [Rhoades, 1950, in Applied Sedimentation (P. D. Trask, ed.), 446, John Wiley, Sons].

гравия кондиционны, если гальки представлены главным образом прочными породами, такими, как жильный кварц, кварцит, свежие граниты и плотные безглинистые известняки и доломиты. Прочные и плотные кремнистые породы нежелательны вследствие способности их к химическим реакциям с цементной пастой.

Слабые или рыхлые породы — вредная примесь в заполнителях. Обломки хрупкого песчаника, хотя его отдельные зерна имеют твердость кварца, не могут использоваться вследствие их дезинтеграции в смеси с цементом до или после укладки бетона. Вредны также слишком мягкие и слабо связанные глинистые и слюдистые сланцы,

Прочность заполнителя имеет большое значение. Хороший заполнитель должен иметь большую устойчивость к замораживанию и оттаиванию, увлажнению и усыханию. Треугольные и пористые обломки вредны, поскольку они могут расщепиться, расслоиться или растрескаться в бетоне. Поэтому необходимо, чтобы материал был свежим и невыветренным.

На большинстве установок для кондиционирования песков можно получать не менее дюжины различных по размеру фракций, используемых в разных отраслях строительства. Поэтому необходимо, чтобы разрабатываемые залежи были сложены материалами с широким *диапазоном размеров частиц* — от крупного гравия до мелкозернистого песка. Неудовлетворительное распределение обломочного материала в залежах по размеру требует дорогостоящей переработки. При избытке крупного материала приходится применять дробление, а слишком большое содержание мелкого песка может привести к потере более тонких фракций. Имеет значение также *форма частиц*. Наиболее предпочтительны изометрические, округлые частицы, так как угловатые обломки делают бетон «шероховатым», что усложняет его обработку. Плоские или удлиненные частицы не только понижают удобоукладываемость бетона, но и стремятся ориентироваться горизонтально, что приводит к накоплению под ними воды и нарушению связи с цементом на нижних поверхностях частиц заполнителя.

В некоторых условиях и в некоторых специальных бетонах могут иметь большое значение и другие свойства заполнителей, например объемный вес, упругость, сжимаемость и теплопроводность (Rhoades, 1950).

Свойства песка и гравия определяются тремя способами: визуальным осмотром, лабораторными испытаниями и петрографическим изучением. Путем тщательного обследования вскрытых залежей или образцов, отобранных из керна, можно определить примерно качество сырья и сделать вывод о его рентабельности. Такие свойства, как твердость и прочность, количественно определяются принятыми лабораторными методами на стандартных приборах (Goldman, 1956), а размеры частиц устанавливаются просеиванием на ситах американского стандарта. Петрографическое изучение представительных образцов позволяет получать количественные данные по составу, физическим свойствам и размеру частиц, данные о природе пленок на обломках и присутствии вредных компонентов или компонентов, способных к реакции с цементом.

Щелочная реакция заполнителя с цементом

Исследования в области технологии бетона показали, что очень немногие породы или минералы, если таковые вообще имеются, полностью химически инертны при взаимодействии с цементом. Это само собой разумеется, так как затвердевание цемента представляет собой химический процесс, который приводит к выделению тепла и высвобождению щелочей, особенно гидроокислов кальция, натрия и калия. Эти реакции несущественны для кварца, полевого шпата, кальцита и большинства темноцветных силикатных минералов или пород, сложенных этими минералами. Но имеется группа кремнеземистых материалов, которые, входя в состав заполнителя, химически реагируют со щелочами, выделяемыми цементом. Эти материалы представлены кремнеземистыми глинистыми сланцами, опаловыми и халцедоновыми кремнистыми породами, кремнеземистыми известняками и кремнеземными криптокристаллическими вулканическими породами, особенно риолитами, дацитами и андезитами.

В природе этой щелочной реакции заполнителей с бетоном еще много неясного. Очевидно, натрий и калий, выделяемые при затвердевании цемента, реагируют с вышеупомянутыми неустойчивыми материалами и дают в результате щелочной гели кремнезема. Эти гели адсорбируют воду из цементного теста и развивают интенсивные напряжения, которые могут превысить прочность бетона на разрыв и вызвать растрескивание его или появление раковин, подобных «porouts». В результате возникновения этих напряжений бетонные перекрытия и даже электростанции могут выйти из строя, а покрытия дорог вспучиваются буграми. Если такая трещиноватость иногда и не представляет вреда сама по себе, то она может усилить разрушение бетона при других процессах, таких, как замораживание и оттаивание или увлажнение и усыхание. Проблема щелочной реакции заполнителя с цементом подробно разобрана Матером (Mather, 1958), а прекрасные описания этого явления с фотографиями разрушенных сооружений приводятся Мак-Конелом и др. (Mc Connell et al., 1950), а также Мерриамом (Merriam, 1953).

Поскольку способные к химической реакции кремнеземистые породы устойчивы при геологических процессах, они обычно встречаются в гравии. Если обломков кремнеземистых пород много, то залежи гравия обычно не разрабатываются, хотя иногда такой гравий используется там, где хороший заполнитель недоступен из-за высокой стоимости. В этом случае можно понизить или предотвратить щелочную реакцию запол-

нителя с цементом двумя способами. Один из них заключается в использовании специального цемента с содержанием щелочей 0,6% и менее (тогда как обычно содержание щелочей в цементе составляет 1,5%). Другой способ заключается в добавлении пуццоланового материала в портланд-цемент для ослабления этой реакционной способности, как это было уже рассмотрено в разделе «Пемза и пумицит» на стр. 79.

Экономические факторы

Из вышесказанного явствует, что идеальные песчаные и гравийные месторождения должны быть чистыми, а частицы в них плотными, твердыми, инертными и разнообразными по размеру. Но это еще не все. Даже в том случае, когда месторождение отвечает всем этим требованиям, оно малоценно или даже непромысленно, если расположено вдали от потребителя и труднодоступно. Месторождение в районе Чикаго снабжает сырьем завод, который производит 250 т в час продукции, включающей 14 фракций песка и гравия. Таким образом, это месторождение имеет большую промышленную ценность; но такое же месторождение, расположенное в центральной части штата Невада, было бы практически бесполезным.

Рыночные цены песка и гравия слагаются из стоимости труда, затраченного на их добычу, переработку и транспортировку потребителю. Короче говоря, стоимость транспортировки к месту потребления этого сырья достаточно высокая, а средняя цена единицы товарной продукции его низкая. Поэтому особенно важны такие экономические факторы, как размер и постоянство рынка сбыта, тарифы на перевозку и грузоподъемность платформ. Почти равнозначны по значению следующие два фактора: ограничительные зональные законы, из-за которых местами могут «замораживаться» («out of bounds») продуктивные площади вследствие ожидаемого в будущем увеличения торгового оборота, и сложность спецификаций, которые имеют место при сбыте продукции правительственным, штатным, окружным и городским организациям, а также частным лицам.

Пески и гравий — повсеместно распространенное сырье, и они добываются как из небольших временных придорожных шурфов, так и в огромных карьерах, из которых ежедневно извлекаются тысячи тонн сырья. Поэтому невозможно определить оптимальный размер месторождения. Небольшой потребитель может довольствоваться некоторое время месторождением

с запасами 20 тыс. куб. ярдов, тогда как запасы месторождения при большом постоянно действующем заводе должны составлять 100 тыс. куб. ярдов просеянного и отмученного песка и гравия.

В США действует более 3 тыс. обогатительных фабрик. Частные заводы производят около 70% всего количества песка и гравия, используемого в промышленности, а предприятия, управляемые правительственными агентствами, непосредственно или путем контрактов, производят около 30% всей продукции этих полезных ископаемых.

Месторождения

Месторождения гравия образуются главным образом в результате деятельности крупных быстротекущих потоков. Ветер может перемещать пески, но не способен передвигать гальки. Ледники обладают громадной движущей силой, но они не обладают сортирующей способностью, и, кроме того, в результате их деятельности образуются скопления самых различных обломков размером от глинистых частиц до валунов. Волны могут накапливать или перемывать осадки гравийного размера, но их сфера деятельности ограничивается узкой полосой вдоль береговой линии. Только текучие воды перемещают и накапливают большие массы материала песчаного и гравийного размеров.

Быстротекущие потоки не только перемещают природный обломочный материал, но размывают и отмучивают его. При этом обломки мягких пород измельчаются и вымываются, и в конечном счете накапливаются только обломки прочных, плотных пород. Кроме того, обломки обычно приобретают окатанность.

Большинство крупных месторождений песка и гравия образовалось в результате:

1) деятельности современных потоков или ранее существовавших на их местах рек, которые текли с более высоких уровней почти в тех же направлениях, и

2) деятельности водных потоков ледникового происхождения, которые размывали плейстоценовые ледниковые отложения. Другие источники песчано-гравийного сырья, имеющие местами большое значение, но играющие небольшую роль по сравнению с другими месторождениями этого сырья в США, — это пляжные и дюнные отложения, поднятые морские террасы, морены, делювий, хвосты, получающиеся при отмывке золота драгой, дробленые песчаники и конгломераты и месторождения различных элювиальных пород.

Современные аллювиальные отложения

Пески и гравий в районах современных потоков встречаются в виде наносов, русловых залежей, террас и аллювиальных конусов выноса. Поскольку эти отложения образуются в потоках, которые являются или были многоводными и имеют или имели крутой сток, обычно они расположены вблизи горных областей. Тесная пространственная связь эксплуатирующихся крупных месторождений этого типа и крупнейших потребителей песчано-гравийного сырья лучше всего видна в штате Калифорния (Gay, 1957), где песка и гравия добывается больше, чем в любом другом штате. Основная масса этих полезных ископаемых добывается из отложений потоков, которые дренируют Береговой хребет, горы Сьерра-Невада и другие горные массивы. Многие потоки сухие или почти сухие в течение большей части года, так что залежи гравия можно легко разрабатывать, а работы по вскрытию месторождений часто сравнительно просты. Некоторые из этих месторождений в настоящее время затапливаются сезонными высокими водами.

Третья часть калифорнийской продукции гравия приходится на округ Лос-Анжелес, где гравий добывается в сухих руслах рек Сан-Габриель в долине Сан-Габриель и Биг-Туджанга в долине Сан-Фернандо. Эти потоки текут с гор Сан-Габриель; гравийный материал был отложен главным образом паводковыми водами (Gay, Hoffman, 1954). Постепенные миграции русел в период от позднечетвертичного времени до настоящего времени, а также поднятие горных сооружений привели в результате к накоплению залежей гравия, мощность которых исчисляется сотнями футов на участках шириной в несколько тысяч ярдов и протяженностью несколько миль. Гравийные породы этих месторождений грубослоистые и плохо отсортированные. Однако такие залежи гравия ценны, поскольку в них содержится только 1% алеврита и частиц меньшего размера. Обломки представлены главным образом изверженными и метаморфическими породами, чаще диоритами и диоритовыми гнейсами. В песчаной фракции гравийных пород много полевого шпата.

Главным источником заполнителя в районе залива Сан-Франциско является аллювиальный конус выноса реки Аламеда-Крик, которая течет в западном направлении и дренирует Береговой хребет юго-восточнее Окленда. Этот конус выноса представлен грубослоистыми песками и гравием, сложенными полуугловатыми обломками. Мощность их по меньшей мере 1 тыс. футов; но уровень грунтовых вод находится на глубине

100 футов, что ограничивает глубину разработки этого месторождения (Davis, 1950). Много песка и гравия добывается из аллювиальных конусов выноса с противоположной (восточной) стороны Берегового хребта и еще далее к востоку из террас, наносов и русловых отложений реки Станисло и других, текущих на запад с гор Сьерра-Невада. Как и следовало бы ожидать, состав галек в месторождениях этих двух районов совершенно различен. Галечники в конусах выноса, окаймляющих Береговой хребет, сложены главным образом метаграувакками, кремнистыми породами и жильным кварцем, образовавшимся за счет пород францисканской (верхнеюрской?) формации, тогда как гальки в конусах выноса с восточной стороны хребта представлены главным образом жильным кварцем, метаосадочными кварцитами, зеленокаменными породами и гранитами, происходящими из района гор Сьерра-Невада (Clark, 1955).

Только что описанные месторождения, как и многие другие месторождения в штатах Тихоокеанского побережья, расположены в пределах достижимости главных потребителей, и они поддерживают развитие крупной промышленности. Однако месторождения песка и гравия в других горных районах США расположены слишком далеко от густо населенных центров, и поэтому они поставляют сырье только для немногих постоянных заводов. На этих месторождениях добыча производится в небольших карьерах, снабженных портативным и полупортативным оборудованием для получения заполнителей для дорожного строительства и других целей местной промышленности.

Временами возникает большая потребность в заполнителе, особенно при строительстве бетонных дамб; в этом случае необходимы тысячи тонн песка и гравия поблизости от места строительства. Песчано-гравийные осадки намывных, русловых, террасовых отложений и отложений конусов выноса использовались при сооружении таких плотин, как, например, плотины Хувер, Паркер, Дейвис на реке Колорадо, Кортес и других на реке Норт-Платт в штате Вайоминг, Каньон-Ферри на реке Миссури в штате Монтана, а также ряда плотин, построенных на реке Теннесси и ее притоках. Гравийные осадки из отложений перечисленных крупных рек, дренирующих участки суши в несколько тысяч квадратных миль, сложены обломками самых разнообразных пород. Заполнители, добывающиеся из отложений реки Колорадо в окрестностях плотины Хувер, хотя они и разнородны по составу, использовались при строительстве этой плотины и имели удовлетворительные качества. Однако ниже этой плотины река пересекает серию по-

род, представленных преимущественно вулканическими образованиями, и поэтому гравийные осадки, использовавшиеся при строительстве плотины Дейвис, расположенной в 67 милях ниже по течению плотины Хувер, содержат так много обломков пород, способных к щелочной реакции с цементом, что необходимо было применять низкощелочной цемент и пуццолановые добавки для того, чтобы предотвратить щелочную реакцию заполнителя с цементом в бетоне. Еще ниже по течению реки Колорадо в нее впадает река Билл-Вильямс, которая вносит большое количество обломков андезитов и риолитов, способных к щелочной реакции. Поэтому здесь на плотине Паркер и двух других, расположенных поблизости, при строительстве которых использовался бетон на местном заполнителе и обычном цементе, в течение двух лет после укладки бетона резко проявлялись разрушения, вызванные щелочными реакциями (Rhoades, 1950). Геологическое и географическое распространение в западных штатах песков и гравия, способных к щелочной реакции, хорошо описано в иллюстрированном обзоре Холланда и Кука (Holland, Cook, 1953).

Спэйн и Роуз (Spain, Rose, 1938) проанализировали гравийные отложения реки Теннесси и определили, что различные потоки приносят: 1) кремни из кембро-ордовикских доломитов, миссисипских известняков и меловых галечников; 2) кварциты из пидмонтских серий пород из западной части штата Северная Каролина и 3) песчаники из пенсильванских формаций плато Камберленд. Как показали испытания, эти материалы в качественном отношении распределяются следующим образом: кварцит, прочный кремень, выветрелый кремень, песчаник.

Террасовые гравийные отложения обычно встречаются вдоль многих потоков вне горных районов, т. е. тех потоков, которые в настоящее время не транспортируют гравийные частицы. Такие террасы особенно обычны на равнинах, расположенных у побережий Атлантического океана и Мексиканского залива. Эти залежи образовались в третичное или раннечетвертичное время, когда реки текли с более высоких уровней и были более крупными, чем в настоящее время. В качестве типичных примеров таких образований можно привести террасовые отложения вдоль некоторых плесов реки Колорадо ниже Остина в штате Техас, где гравийные осадки представлены главным образом обломками гранитов, гнейсов и кристаллических сланцев, привнесенных с докембрийского ядра поднятия Льяно,

Плейстоценовые флювиогляциальные отложения

Немного более половины количества песка и гравия, используемого в промышленности, добывается из отложений потоков, дренировавших тающие плейстоценовые ледниковые покровы. Отложения такого рода, относящиеся к более ранним стадиям оледенения (небраскской, канзасской, иллинойсской), обычно сильно выветрелы, сцементированы или глубоко погребены, вследствие чего их трудно разрабатывать. Поэтому пески и гравий в основном добываются из отложений, относящихся к последней стадии оледенения (висконсинской). Конечно, даже эти более молодые отложения местами погребены под другими осадками, но во многих местах они залегают неглубоко и легко доступны.

Пески и гравий добываются из целого ряда флювиогляциальных отложений различного типа. Местами разрабатываются грубые, плохо отсортированные, сильно косослонистые галечники *эскеров* (озов), но вследствие сравнительной редкости эскеров и их узкой, извилистой формы обычно разрабатываются отложения других типов. *Камы* — скопления водоотмученных обломков, которые накапливались в депрессиях на ледниках или между тающими ледниками, также состоят из грубого плохо отсортированного обломочного материала. Во многих районах США камы являются крупными источниками гравия, хотя они могут содержать линзы валунной глины и постепенно сменяться валунной глиной по простиранию. Камы могут встречаться отдельно или группами в местах соединения языков ледников, продвигавшихся из различных направлений, как, например, в северо-восточной части штата Огайо, или, наконец, они могут иметь другие формы нахождения, что зависит от того, как на строении ледника отражались неровности той поверхности, по которой он двигался. В участках, которых не достигали ледники, гравийный материал отлагался тальми водами в долинах. В результате этого образовывались *камовые террасы*, которые также являются промышленными источниками гравийного сырья.

Талые воды, текущие по долинам, уходящим прочь от ледникового фронта, откладывали осадки, известные как *долинные шлейфы*. Эти шлейфы сложены довольно хорошо отсортированным, равномерно слоистым материалом на протяжении многих миль, а их мощность составляет несколько десятков футов. Обычно в какой-то мере они уничтожены послеледниковой эрозией и в настоящее время обнажаются на террасах современных долин. Террасовые гравийные залежи этого типа

являются важными источниками заполнителей в долинах рек Сайото, Маскингем, Хокинг и других рек в штате Огайо, текущих на юг, и в долинах южного направления в соседних штатах (Vieber, 1950). Там, где земная поверхность была равномерно наклонена от края ледникового поля, потоки талых вод покрывали ее в виде неправильной разветвленной сетки, образуя таким образом отложения *зандровых долин*. Некоторые гравийные песчаные залежи покрыты толщей валунной глины, отложенной при более поздних подвижках ледника. Эти валунные глины делают месторождения трудно распознаваемыми и трудно оцениваемыми; кроме того, они образуют вскрышу, которая должна быть удалена при разработке любых гравийных залежей. Несмотря на присутствие в некоторых случаях поверхностного слоя валунной глины, отложения *зандровых долин* все же представляют собой крупные источники промышленных песков и гравия. Для этого вида типично месторождение, расположенное на ровной поверхности южной части острова Лонг-Айленд, которое было источником заполнителя бетона для строительства нью-йоркского метрополитена в течение многих лет.

В таких районах, как западная часть штата Нью-Йорк, где выходы коренных пород расположены поперек направления движения ледника, в конечные стадии оледенения обычно образовывались подпруженные ледниками озера талых вод. В эти озера впадали реки, несущие большое количество обломочного материала, и здесь образовывались *дельтовые отложения*. Эти отложения не трудно обнаружить, если геолог достаточно хорошо знаком с историей деятельности ледника и имеет в руках топографическую карту, но дельтовые отложения обычно весьма изменчивы по составу. Смена источников материала, переносимого потоками, и изменения несущей силы потоков приводили в результате к тому, что в одной и той же дельте накапливались слои сцементированного загрязненного песка, чистого крупнозернистого песка, гравия с высоким содержанием известняковых галек, мощные слои мелкозернистого песка с глинистыми частицами и всевозможные промежуточные между этими породами разности. Изменение уровней озер местами приводило к образованию сложных дельт, т. е. дельт, наложенных одна на другую. Невин (Nevin, 1929) описал дельту в округе Каттарогес в западной части штата Нью-Йорк длиной 4 мили, шириной 0,25—0,5 мили и мощностью по меньшей мере 135 футов. Это дельтовое образование содержит около 60% гравия и 40% песка. В штате Нью-Йорк больше всего песка и гравия добывается из плейстоценовых дельтовых отложений.

Состав флювиогляциальных гравийных отложений обусловлен в основном типами пород, которые разрушал продвигавшийся ледник. Например, еще до того, как ледник достиг южной части штата Мичиган, он на протяжении более 200 миль эродировал осадочные породы мичиганского бассейна. Вследствие этого в образовавшихся гравийных залежах преобладают обломки осадочных пород, особенно известняков и доломитов. Состав этого гравия приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Состав флювиогляциальных гравийных отложений из трех промышленных карьеров около Анн-Арбор в штате Мичиган¹

Состав пород	Содержание, %
Изверженные породы	
Граниты	5—9
Базальты	6—7
Метаморфические породы	
Гнейсы, сланцы, филлиты	2—4
Осадочные породы	
Песчаники	7—15
Известняки, доломиты	56—62
Глинистые сланцы, алевролиты	4—11
Кремни	1—2

Источник. Суммировано из таблицы подсчета галек, приведенной Неллером (Kneller, 1957).

¹ Точное происхождение гравия не установлено, так как нельзя проследить смену фаций в горизонтальном направлении, вследствие наличия 6—12-футового покрова валунной глины морены Форт-Уэйн. Вероятно, здесь представлены гравийные материалы как из камывых отложений, так и из отложений зандровых полей.

В гравийных залежах западной части штата Огайо обломки силурийских доломитов преобладают над обломками известняков, а по направлению от центральной части штата Огайо на восток к западной части штата Нью-Йорк среди гравийных обломков больше девонских известняков, чем доломитов. Гравийные породы на юге центральной части штата Нью-Йорк содержат много сланцев, тогда как гравийные залежи в восточной части этого штата содержат много обломков гранитов, происходящих из района гор Адирондак. Гравийные отложения сложены почти нацело обломками криптокристал-

лических пород, снесенных из района нагорья Нью-Ингленд.

Следует отметить, что районы США, подвергшиеся деятельности ледников, т. е. северо-восточные штаты и штаты Среднего Запада, также имеют сильно развитую промышленность. Здесь существует большая и непрерывная потребность в заполнителях бетона и разрабатывается несколько сот месторождений.

Пески и гравий добываются повсюду из любых типов отложений, рассмотренных выше. Не следует думать, что выгоднее разрабатывать месторождения лучшего качества; большая стоимость перевозки сырья резко ограничивает экономически приемлемые расстояния от месторождения до потребителя. Например, хотя в центральной и южной частях штата Огайо имеются значительно лучшие по качеству пески и гравий в отложениях долинных шлейфов, они настолько далеко расположены от потребителей, что не могут быть использованы в промышленном районе Кливленд — Акрон — Янгстаун; поэтому там используются заполнители худшего качества, добываемые из каменных пляжных отложений и даже из отложений песчанистой валунной глины, которые расположены ближе к потребителям (Smith, 1949).

Поиски и разведка месторождений

Поскольку пески и гравий широко распространены, можно было бы думать, что поэтому легко и просто открыть большие промышленные месторождения их. Такое заключение решительно опровергается большинством предпринимателей, которые владеют крупными постоянно действующими фабриками или надеются построить новые фабрики. В самом деле, один из владельцев предприятия заметил с чувством (Shiely, 1950): «Предприниматель, получающий с карьера прожиточный минимум, — любимчик бога», и эта тема повторялась с изменениями в различных промышленных докладах. Имеются некоторые сложности экономического порядка, хотя поиски и разведка также составляют трудный, но решающий аспект промышленного освоения месторождений. Ожидается, что с расширением строительства поиски новых месторождений станут еще более необходимыми.

Поиски независимо от того, проводятся они геологами, или инженерами, или лицами без технического образования, заключаются в выделении участков, в которых имеются или предполагаются пригодные для разработки месторождения. Основными необходимыми материалами для разведки явля-

ются все доступные карты и описания по топографии, гидрологии и геологии района плюс опыт практической деятельности и здравый смысл у исследователя. Несомненно, желательно знание масштабов осадконакопления в различных водных потоках и основных вопросов деятельности ледников. Вполне возможно заранее устранить участки, не представляющие ценности или содержащие очень небольшие залежи, и сконцентрировать исследование на потенциально продуктивных площадях. Поисковик должен систематически обследовать все обнажения в железнодорожных и дорожных выемках, в берегах рек и возвышенностях и подробно описать их. Образцы с глубины в несколько футов можно брать почвенным буром. Кроме того, отмечаются видимые залежи под водой в реках, прудах или озерах. Геофизические методы, особенно электроразведка, также применялись для выделения гравийных отложений, залегающих на ровных поверхностях, например зандровых полях или в днище долин (Congrades, 1952; Moore, 1950).

После того как установлено наличие месторождения подходящего размера, производится его полное опробование. Пробы отбираются грунтовыми бурами, в разведочных шурфах, ручным буром, двустворчатым грейферным ковшом или при помощи других орудий. Залежи под водой разведуются драгами и драглайнами. При разведке месторождений не может быть сокращенных методов, и никакие дополнительные работы не приведут к переразведке. Тщательная маркировка проб и нанесение результатов анализов на карту дают общую картину месторождения. Обычно получают данные по количеству песка и гравия, качеству и физической характеристике материала, количеству и типам вредных примесей. Присущее песчаным и гравийным залежам отсутствие однородности затрудняет их оценку, но в то же время разнородность сама по себе представляет необходимое свойство этих полезных ископаемых.

Разведка месторождения может завершаться опробованием по единому плану, но обычно опробование является продолжением разведки. Такое последующее опробование особенно необходимо на месторождениях удлиненной формы, разрабатывающихся постепенно вдоль простираания. Например, компания, эксплуатирующая террасовый гравий по реке Колорадо в штате Техас, имеет договор с департаментом Земельных фондов, который производит буровые работы по мере продвижения разработки и составляет карты, показывающие мощность вскрыши и количество гравия различного качества, ожидаемых при дальнейшей разработке.

Более полное описание методов поисков и разведки месторождений песка и гравия можно найти в целом ряде работ (Kendall, 1942; Shiely, 1950; Thoenen, 1932; Walker, 1954).

Методы добычи

Разработка залежей уступами в карьерах выше уровня воды производится механической лопатой, драглайном или другим оборудованием, обычно используемым при открытых работах. Маломощная и песчанистая вскрыша извлекается вместе с песком и гравием и отправляется на обогатительную фабрику; если мощность перекрывающих наносов велика, то они удаляются перед добычей. В обводненных карьерах или неглубоких реках обычно применяются драглайны и драги различных типов. Добыча песка и гравия описана в ряде работ Тоененом (Thoenen, 1933, 1934—1936); кроме того, много внимания уделяется методам добычи и оборудованию в периодических журналах «Пит энд куэрри» («Pit and Quarry») и «Рокк продактс» («Rock Products»). На большинстве месторождений транспортировка сырья на обогатительную фабрику производится по узкоколейной дороге самосвалами или ленточными транспортерами.

Обогащение

Переработка сырья заключается в отмучивании, просеивании и дроблении крупного материала, а также в удалении вредных примесей и мелких зерен. Обогатительная фабрика состоит по существу из комбинации конвейеров, сит, мельниц и отмучивающего и сортировочного оборудования, а также из приспособлений для складирования и погрузки. Поскольку каждая фабрика должна быть приспособлена к специфике того или иного месторождения, они различаются между собой. Хорошее краткое описание технологии переработки песчано-гравийных материалов дано Уокером (Walker, 1954).

Многие обломки нежелательного состава в гравии имеют удельный вес, несколько меньший, чем удельный вес плотных пород. На этом факте основана технология гравитационного обогащения в тяжелых средах (HMS), или донная флотация (обычно предпочитается первый термин). Сущность этого процесса заключается в следующем. Просеянный, отмученный гравий загружается во вращающийся барабан, наполненный водной суспензией тонкомолотого магнетита или ферросилиция (стр. 155), удельный вес которой сохраняется постоянным, например, при 2,50. Обломки сланцев, пористых песча-

ников и кремней остаются во взвеси и отделяются от более тяжелых плотных обломков. Таким образом, из сырья, которое имеет маргинальную стоимость в природном виде, путем обогащения можно получить первосортный заполнитель. Хотя обогащение в тяжелых средах уже проводилось в течение многих лет для некоторых руд и каменного угля, впервые к гравию оно было применено только в 1949 г., и еще редко можно встретить по соседству с обычной обогатительной фабрикой завод тяжелых сред. Впервые такой завод был пущен в ход в 1956 г. на западном побережье США.

ЛИТЕРАТУРА

- Be an E. F. (1950). Engineering geology of highway location, construction, and materials, Geol. Soc. Amer., Berkeley Volume, 188—192.
- Bieber C. L. (1950). Distribution patterns of sand and gravel pits in north-western Indiana, Ind. Acad. Sci. Proc., 59, 221—224.
- Clark W. B. (1955). Mines and mineral resources of San Joaquin County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 51, 21—95.
- Conrades O. S. (1952). Exploring gravel deposits by resistivity methods, Nat. Sand and Gravel Assoc. Circ., 52, 13—18.
- Dake C. L. (1918). The sand and gravel resources of Missouri, Mo. Bur. Geology and Mines, 2nd. ser., 15, 105—169.
- Davis F. F. (1950). Mines and mineral resources of Alameda County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 46, 279—346.
- Davis S. N. (1951). Studies of Pleistocene gravel lithologies in north-eastern Kansas, Kan. Geol. Survey Bull., 90, 173—192.
- Gay T. E., Jr. (1957). Sand and gravel, Calif. Div. Mines Bull., 176, 495—520.
- Gay T. E., Jr., Hoffman S. R. (1954). Mines and mineral deposits of Los Angeles County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 50, 467—709.
- Goldman H. B. (1956). Sand and gravel for concrete aggregate, Calif. Jour. Mines and Geology, 52, 79—104.
- Holland W. Y., Cook R. M. (1953). Alkali reactivity of natural aggregates in western United States, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 196, 991—997; discussion, 1954, 199, 1114—1116.
- Kay G. F., Miller P. T. (1941). Pleistocene gravels of Iowa, Iowa Geol. Survey, 37, 1—233.
- Kendall E. R. (1942). Methods used in prospecting for mineral aggregates, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 73—82.
- Kneller W. A. (1957). The origin of ice contact deposits, Assoc. Geology Teachers, East Central Sec., Guidebook, Gravel Deposits of the Ann Arbor Region, 4—10.
- Larrabee D. M. (1946). Preliminary map showing sand and gravel deposits of South Dakota, U. S. Geol. Survey, Missouri Basin Studies, № 4.
- Larrabee D. M., Huff L. C., Ahlman C. (1946). Preliminary map showing sand and gravel deposits of North Dakota, U. S. Geol. Survey, Missouri Basin Studies, № 3.
- Larrabee D. M., Shride A. F. (1946). Preliminary map showing sand and gravel deposits of Wyoming, U. S. Geol. Survey, Missouri Basin Studies, № 5.

- Larrabee D. M., Shride A. F. (1946). Preliminary map showing sand and gravel deposits of Montana, U. S. Geol. Survey, Missouri Basin Studies, № 6.
- Mather K. (1958). Cement-aggregate reaction, what is the problem? Geol. Soc. Amer., Engineering Geology Case Histories, № 2, 17—19.
- McConnell D. et al. (1950). Petrology of concrete affected by cement-aggregate reaction, Geol. Soc. Amer., Berkeley Volume, 225—250.
- Merriam R. (1953). Alkali-aggregate reaction in California concrete aggregates, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 27.
- Mielenz R. C. (1946). Petrographic examination of concrete aggregates, Bull. Geol. Soc. Amer., 57, 309—318.
- Moore R. W. (1950). Geophysical methods of subsurface exploration applied to the location and evaluation of sand and gravel deposits, Nat. Sand and Gravel Assoc. Circ., 37.
- Nevlin C. M. (1929). The sand and gravel resources of New York state, N. Y. State Museum Bull., 282.
- Price W. L. (1953). New floating plant for heavy media separation of gravel, Nat. Sand and Gravel Assoc. Circ., 55, 5—17.
- Rhoades R. (1950). Influence of sedimentation on concrete aggregate, Applied Sedimentation (P. D. Trask, ed.), New York, Wiley, 437—463.
- Schlee J. (1957). Upland gravels of southern Maryland, Bull. Geol. Soc. Amer., 68, 1371—1409.
- Shiely J. L., Jr. (1950). Prospecting for sand and gravel and evaluation of deposits, Nat. Sand and Gravel Assoc. Circ., 38.
- Smith W. H. (1949). Sand and gravel resources in northern Ohio, Ohio Geol. Survey Rept. Inv., 6.
- Spain E. L., Jr., Rose N. A. (1938). Geological study of gravel concrete aggregate of the Tennessee River, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 115—133.
- Thoenen J. R. (1932). Prospecting and exploration for sand and gravel, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 6668.
- Thoenen J. R. (1933). Development of sand and gravel deposits, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 6689.
- Thoenen J. R. (1934—1936). Sand and gravel excavation, U. S. Bur. Mines Inf. Circs., 6708, 6814, 6856, 6879.
- Truesdell P. E., Varnes D. J. (1950). Chart correlating various grain-size definitions of sedimentary materials, U. S. Geol. Survey.
- Varnes H., Larrabee D. M. (1946). Preliminary map showing sand and gravel deposits of Colorado, U. S. Geol. Survey, Missouri Basin Studies, № 2.
- Walker S. (1954). Production of sand and gravel, Jour. Amer. Concrete Inst., 26, 165—178; Nat. Sand and Gravel Assoc. Circ., 57.
- Walker S., Bloem D. L. (1953). Effect of heavy media processing on quality of gravel, Nat. Sand and Gravel Assoc. Circ., 55, 18—31.
- Weeks R. A., Larrabee D. M. (1946). Preliminary map showing sand and gravel deposits of Nebraska, U. S. Geol. Survey, Missouri Basin Studies, № 7.
- Wentworth C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments, Jour. Geology, 30, 377—392.
- Wentworth C. K. (1930). Sand and gravel resources of the Coastal Plain of Virginia, Va. Geol. Survey Bull., 32.
- Woodward T. P., Gueno A. J., Jr. (1941). The sand and gravel deposits of Louisiana, La. Geol. Survey Bull., 19.

- Zumberge J. H. (1957). The sand and gravel industry in Michigan, Assoc. Geology Teachers, East Central Sec., Guidebook, Gravel Deposits of the Ann Arbor Region, 1—3.
- Анонимous (1955). Sand and gravel, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 8, № 12, 1—7.

ПЕСЧАНИКИ

Введение

Начиная примерно с 1940 г. геологи стали уделять большое внимание петрологии пород, называемых песчаниками, и их роли в осадкообразовании. Поэтому в последующие годы все более совершенствовались классификации песчаных пород. Петтиджон (Pettijohn, 1957) тщательно разобрал данные предыдущих исследований и выделил следующие разновидности песчаников.

Граувакки — песчаники, состоящие из кварца (обычно менее 75%), песчинок горных пород и полевого шпата (25% или более). Цемент в этих песчаниках представлен обломочным материалом, а не аутигенными минералами. *Аркозовые песчаники* сложены преимущественно кварцем и полевым шпатом, а цемент, если он присутствует, представлен аутигенными минералами. Разновидности этих песчаников с содержанием полевого шпата более 25% называются *аркозами*, а с меньшим содержанием полевого шпата — *полевошпатовыми песчаниками*. *Литическими песчаниками* (lithic sandstone) называются песчаники, в которых обломки пород преобладают над полевым шпатом, а цемент представлен аутигенными минералами. *Субграувакки* содержат меньше 75% кварца, *протокварциты* — от 75 до 95% кварца. *Ортокварциты* на 95% и более состоят из кварца, а цемент представлен аутигенным материалом.

В различные времена и в разных местах все эти разновидности песчаников находили практическое применение. Однако в настоящее время наибольшее практическое значение имеют протокварциты и ортокварциты из-за большого содержания в них кремнезема. Несколько отвлекаясь от номенклатуры, такие породы можно назвать «чистыми» песчаниками.

Многие песчаники, используемые в промышленности, содержат небольшое количество цемента, они рыхлые и крошащиеся, а поэтому обычно рассматриваются как *пески*. В промышленности не делается никакого различия между такими песчаниками и песками из поверхностных отложений. Однако здесь пески из поверхностных образований, такие, как дюнные, пляжные, террасовые и из ледниковых отложений, не

рассматриваются, а описываются только песчаники, цементированные или рыхлые, добываемые из более древних отложений.

Применение

Песчаники используются в качестве штучного камня для наружной облицовки и украшения крупных сооружений, в виде тесаного камня в жилых зданиях, в качестве плиток и булыжника для мощения дорог, а также в мостовых устоях и подпорных стенках. Некоторые протокварциты и ортокварциты имели первостепенное значение как материалы для точильных и обдирочных камней, а граувакки использовались в виде тонких плит для мощения дорог и тротуаров, но сейчас для этих целей песчаники мало применяются.

Дробленые прочно цементированные песчаники (щебень) используются в качестве заполнителя бетона, железнодорожного балласта и наброски. Однако для получения крупного заполнителя песчаники используются меньше, чем другие породы. В 1957 г. производство щебня из различных пород для заполнителей было следующим (в миллионах коротких тонн): известняки — 202, базальты и близкие к ним породы — 35; граниты — 28, песчаники — 9.

Большая часть используемых практически песчаников — это слабо цементированные породы, содержащие много кварца, так что их можно дезагрегировать и использовать как материал для формовочных песков, стекольных песков и в других целях, рассматриваемых в конце этого раздела. Многие пески специальных применений стоят во много раз дороже, чем пески, используемые для строительства и покрытия дорог, а некоторые из них встречаются редко и поэтому перевозятся на большие расстояния. В этом отношении они сходны с промышленными минералами, а не с промышленными породами.

Огнеупорными камнями, или *ганистером*, называются ортокварциты, пригодные для производства высококачественных кремнеземистых (динасовых) кирпичей большой огнеупорности, используемых во внутренней футеровке коксовых и металлургических печей. Ортокварциты являются также исходным материалом для ферросилиция. Ферросилиций — это сплав железа и кремния, который применяется во многих отраслях промышленности, в частности для получения тяжелых стед (стр. 151).

Порошкообразный кварц, который иногда получают путем помола кварцевых песков, применяется в производстве бело-

жгущихся изделий, стекло и фарфоровой эмали как инертный наполнитель или разбавитель красок и как абразивный материал в механическом мытье и очистке. Для этих целей песчаники дробятся на частицы размером менее 200 меш (алевритовая фракция и меньше).

Описание добычи и переработки песков опубликовано в 1927 г. (Weigel, 1927). Выборочная библиография по высококачественным кремнеземистым породам была составлена в 1957 г. (Jaster, 1957). Источники и применение кремнеземных материалов всех типов обобщены в сообщении Калифорнийского горного отдела (Anopoulos, 1957).

Свойства песчаников, используемых для получения штучного камня

Структура песчаников, используемых для получения штучного камня, бывает весьма различной — от тонко- до грубозернистой, однако в пределах отдельной партии сырья величина зернистости не должна сильно колебаться. Прослой галек и включения алевритов или сланцев ухудшают внешний облик камня, затрудняют обработку и снижают прочность. Более желателен прочный цемент, кремнеземистый или глинистый (хотя в случае выполнения всех пор глинистым цементом песчаники обычно непрочные), а не кальцитовый или железистый, так как кремнеземистые и глинистые материалы не подвергаются растворению или окрашиванию под воздействием атмосферы.

Слоистость песчаников может быть разнообразной. Сложение некоторых эксплуатирующихся песчаников изменяется от толстослоистого до массивного, как, например, у песчаников формации Бериа (миссисипского возраста), мощность которых составляет почти 200 футов в районе добычи его в северной части штата Огайо. Косослоистые и тонкокослоистые текстуры многих песчаников образуют привлекательные рисунки на поверхности блоков.

Эксплуатируются также и песчаники, состоящие из прослоев мощностью от немногих дюймов до 1 фута, разделенных прослоями сланцев. К такому типу относятся, например, песчаники формации Буэна-Виста (миссисипского возраста) в южной части штата Огайо. Эти песчаники тонкозернистые голубовато-серые или бурые, сцементированные глинистым материалом и окислами железа. Другим примером таких песчаников может служить «голубой камень» формации Ашокан, развитой в восточной части штата Нью-Йорк. Песчаник этого месторождения представлен темной грауваккой, встречаю-

щейся в виде тонких пластов, но настолько прочных, что из них легко получать плиты от 2 до 3 дюймов толщиной и размером до 10 кв. футов. Камень типа песчаников Буэна-Виста и Ашокан используется в основном для облицовки, обкладки, подпорочных стен и для других подобных целей.

Наибольшим спросом пользуются песчаники серого и рыжеватого-бурого цвета. Однако применение песчаников определенных окрасок в значительной степени обусловлено архитектурными вкусами и традициями, имеющими место в течение определенного периода. В XIX в. в восточных районах США традиционными были триасовые аркозы из месторождений штатов Коннектикут и Нью-Джерси, известные под названием *бурого камня* (Lewis, 1908), но вскоре потребность в песчаниках такого цвета намного уменьшилась. Длительное время в карьерах на месторождениях песчаников Берия в штате Огайо извлекали буровато-желтый песчаник, залегающий выше основного пласта серого песчаника и отбрасывали его за отсутствием потребности, но после второй мировой войны вновь появился спрос на буровато-желтый песчаник для строительства домов, и поэтому сейчас он добывается. Для штучного песчаника необходима однородность по цвету, как и для других типов штучных камней. Однако некоторые предприятия удачно сбывают песчаники, некоторые компоненты которых окисляются под действием атмосферы, в результате чего на поверхностях блоков образуются пестрые узоры из пятен и потоков лимонита и гематита.

Пористость песчаников составляет от 2 до 15% и более. Большая пористость нежелательна, особенно если поры очень мелкие, так как они способствуют разрушению песчаника при процессах замораживания и оттаивания. Прочность на раздавливание и растяжение хорошо цементированных песчаников более чем достаточна для всех обычных видов применения. Например, прочность на раздавливание песчаника Берия составляет от 15 500 до 33 680 *фут/кв. дюйм*.

Свойства песков специального назначения

Формовочные пески

Здесь относятся литейные пески, используемые для изготовления форм, в которые разливается расплавленный металл, и стержневые пески, из которых изготавливают формы для получения пустот в отливке. Формовочные пески должны иметь следующие свойства:

1. Они должны обладать определенной *связностью* для того, чтобы сохранить приданную им форму во влажном состоянии. В качестве связующего компонента обычно применяются глины. «Природносвязанные» пески содержат достаточно глинистого материала и поэтому применяются в естественном виде; «синтетические» (искусственные) формовочные пески получают смешиванием чистого песка с 5—10% огнеупорной глины или бентонита. В качестве связующих агентов, особенно в стержневых песках¹, применяются также разнообразные масла и некоторые органические вещества, как, например, пшеничная мука и черная патока.

2. Формовочные пески должны обладать определенной *огнеупорностью*, чтобы выдержать температуру расплавленного металла. Требуемая величина огнеупорности изменяется в зависимости от вида разливаемого металла; для стали используются высококремнеземистые пески, сцементированные огнеупорной глиной, чтобы они выдерживали температуру литья 1340—1500°.

3. Кроме того, формы должны быть *прочными* и противостоять давлению металла. Прочность форм изменяется в зависимости от количества и типа связующего материала и от количества влаги.

4. Формовочные пески должны иметь определенную *проницаемость*, чтобы водяные пары и газы, образующиеся при охлаждении металла могли выходить наружу, а не оставаться в металле.

5. Кроме того, пески должны иметь соответствующие *структуру и состав*, обуславливающие гладкую поверхность отливки, и химическую инертность по отношению к горячему металлу.

Литейные пески должны строго отвечать определенным требованиям. Обычно формовочные пески составляются в лабораториях, где регулярно контролируются их свойства. Некоторые песчаники, как, например, песчаники формаций Хомвуд и Конноквенессинг (пенсильванского возраста) в западной части штата Пенсильвания, являются природносвязанными песками превосходного качества, используемыми для

¹ Многие природносвязанные формовочные пески лишь условно называются песками. В качестве формовочных песков также используются остаточные почвы или субпочвы, глинистые ледниковые пески и лёссы. Малая мощность и неоднородность многих поверхностных залежей песков затрудняют их добычу. Одними из наиболее широко применяемых природных формовочных песков являются выветрелые ледниково-озерные пески долины Гудзона около Олбани в штате Нью-Йорк, имеющие мощность в среднем только 20 дюймов (Nevin, 1925).

стального литья. Однако вследствие необходимости получать пески с однородными свойствами в больших количествах в настоящее время имеется тенденция использовать искусственные («синтетические») пески. Стандартные определения свойств формовочных песков разработаны обществом «Америкен Фаундрименс». Полное описание свойств формовочных песков и методов их испытания приведено Райсом (Ries, 1948, 1950).

Стекольные пески

Материал, используемый для производства стекла, на 52—65% (весовых) состоит из кварцевого песка (другие главные компоненты — сода Na_2CO_3 и известь). Для стекольных песков в первую очередь требуется большое содержание кремнезема, по меньшей мере 93% для производства обычного контейнерного (листового) стекла и более 99% для оптического стекла. Содержание кремнезема определяется требованиями стекольной промышленности, которые преимущественно регламентируют содержания небольших, но очень важных примесей в стекольных песках. Например, содержание окислов железа не должно превышать 0,06%, так как железо окрашивает стекло. Также имеются строгие требования к содержанию других элементов, включая хром и кобальт; последний элемент обладает настолько сильными красящими свойствами, что он проявляет их уже при содержании всего 0,0002%. Содержание глинозема (в виде полевошпатовых зерен) в песке не должно превышать 4—5%. Лишь немногие природные пески или песчаники отвечают этим требованиям, и поэтому их необходимо обогащать, особенно удалять примеси глинистого материала и окислов железа.

Никаких общих требований промышленности к гранулометрическому составу стекольных песков не имеется, но они должны быть мельче размера сита № 30 и крупнее размера сита № 140 (т. е. иметь размеры от 0,590 до 0,105 мм). Чрезмерная тонина песков нежелательна, поскольку в таких песках больше примесей, которые могут выделиться в виде газов и вызвать вспенивание стекла в ваннах. Форма зерен не имеет существенного значения для стекольных песков.

Использование песка при эксплуатации месторождений нефти и газа

Метод обработки промышленных зон в нефтяных и газовых скважинах песками был разработан в 1949 г. и с 1951 г. получил всеобщее признание¹. Этот метод заключается в том,

¹ В советской нефтепромысловой промышленности этот метод получил название метода гидравлического разрыва пласта. — *Прим. переа.*

что жидкость с песком в виде суспензии нагнетается через обсадные трубы скважины под высоким давлением в нефтесодержащие породы. В результате такой обработки расширяются существующие отверстия в нефтеносных породах и возникают новые трещины, что увеличивает проницаемость пород, а тем самым и поток нефти или газа в направлении к буровой скважине. Жидкостью, или «несущим агентом», могут служить эмульсии и различные водные или керосиновые гели, сырая или очищенная нефть или просто вода; песок, или «закрепляющий агент», представлен отмытым и обогащенным кварцевым песком.

Назначение несущего агента — доставить песок в нефтегазоносный пласт; назначение песка — проникать по плоскостям трещин и удерживать их открытыми после того, как удаляется несущий агент. Песок может, кроме того, расчищать, или эродировать, отверстия, через которые он проходит, но точно не установлено, оказывает ли он такое действие. Этот метод успешно применялся на нескольких тысячах скважин, как на новых, так и на старых, в которых происходило понижение отдачи нефти или газа. Поскольку считают, что такая обработка вызывает в основном образование новых трещин в нефтеносном пласте, этот метод известен как метод образования трещин, или *фрэк-обработка*, а также и под другими названиями.

Пески, применяемые для этих целей, должны быть высококремнеземистыми и иметь растворимость менее 5% в соляной кислоте, а также в кислотах, входящих в состав буровых растворов, и содержать как можно меньше карбонатов, силикатов и различных окислов. В большинстве случаев предпочтительны округлые зерна. Применяются пески различных гранулометрических составов, но зернистость 90% или более всех используемых в настоящее время для этих целей песков колеблется от размера отверстий сита № 20 до размера отверстий сита № 40 (т. е. от 0,84 до 0,42 мм). Однородные по зернистости пески действительно обуславливают лучшую проницаемость после внесения их в обрабатываемый пласт, чем пески с разнородными по величине зернами. В 1953 г. этот метод усовершенствовали путем проведения двух или более последовательных обработок разными песками, причем тонкие округло-зернистые пески применяются для максимального проникновения в породы, более грубые округло-зернистые пески — для расширения трещин, а пески с угловатыми зернами — для закрепления трещин, причем последние образуют миниатюрную гравийную закладку в призабойных зонах бу-

ровых скважин и предотвращают вынос округлых песчинок обратно из трещин.

В 1955 г. для обработки трещин нефте-газоносных отложений было использовано 26 тыс. фунтов песка. В 1957 г. на одной скважине, пробуренной в формации Спрейберри в западной части штата Техас, было израсходовано на такую обработку 328 тыс. галлонов воды и 225 тыс. фунтов песка — рекордные количества для того времени.

Другие области применения песков

Абразивные пески — обычное наименование кварцевых песков, используемых для распиловки камней, матирования стекла и полировки металла, применяемых в пескоструйных машинах для очистки отливок, для удаления краски, ржавчины и пятен, а также для нанесения надписей и рисунков на камнях. Требования большей части этих видов применений нестрогие, но в общем необходимы чистые, прочные, стойкие зерна, и в большинстве случаев требуется определенный размер зерен. Требования к форме зерен различны. Например, для некоторых песков, используемых в пескоструйных машинах, предпочитают угловатые зерна, поскольку они сильнее абрадируют обрабатываемый материал, в других случаях необходимы округлые зерна, особенно для обработки небольших отливок, так как они сохраняются дольше и дают более гладкую поверхность. «Пески» для наждачной бумаги приготавливаются главным образом из дробленого кварца или кварцита, и поэтому они не попадают в рассматриваемую категорию истинных песков.

На железных дорогах в больших количествах применяются *паровозные пески* (engine sand) для обеспечения большего сцепления колес локомотива с мокрыми или скользкими рельсами. Такие пески должны быть прочными, однородными по размеру и не содержать глины, чтобы они могли быстро и равномерно высыпаться. Форма зерен не имеет существенного значения.

Огнеупорные пески используются в строительстве поддонов в кислотных мартеновских печах и для внутренней футеровки вагранок и литейных ковшов, в которых переносится расплавленный металл. Общие требования к этим пескам сходны с требованиями к литейным пескам, хотя огнеупорные пески должны быть несколько более грубозернистыми. Обычно применяются глинистые природносвязанные пески либо искусственные смеси пластичных огнеупорных глин и отмученных песков.

Городское водоснабжение — главный потребитель *фильтровальных песков*, которые используются для удаления твердых частиц и бактерий из воды. Такие пески не должны содержать извести, глины и органического вещества; кроме того, необходимо, чтобы они по меньшей мере на 98% были нерастворимыми в соляной кислоте. Форма зерен не очень существенна, но однородность минерального и гранулометрического составов очень важна. Большая часть фильтровальных песков добывается на месторождениях стекольных и литейных песков.

Прочие свойства

Песчаники, являясь агрегатом сцементированных зерен, намного менее плотные и прочные, чем граниты, базальты и известняки, которые представляют собой сростки кристаллов. Кроме того, песчаники легко истираются в дробилках и других машинах и могут превращаться в кремнеземистую пыль, которая очень вредна для легких. Однако при отсутствии более подходящих типов пород некоторые прочно сцементированные песчаники успешно применяются в качестве наброски, железнодорожного балласта, дорожного материала и заполнителя бетона. Подобные песчаники, например, входят в состав формаций Кайова и Дакота (мел) на севере центральной части штата Канзас (Swineford, 1947). Это твердые, плотные, хорошо сортированные песчаники, сцементированные кальцитом. Они обладают подходящими физико-механическими свойствами и широко применяются. Их хорошие качества, вероятно, обусловлены отчасти тем, что кальцитовый цемент в них представлен крупными сросшимися кристаллами, в каждом из которых заключено несколько зерен кварца.

Чтобы можно было использовать песчаники для производства ферросилиция и динасовых кирпичей, они должны содержать 95—99% кремнезема, быть достаточно плотными и не разрушаться при обработке. Таким требованиям отвечают многие ортокварциты¹.

¹ В производстве динасового кирпича кварцит дробится до размера мелкого гравия и смешивается с водой, 1—3% извести и некоторым количеством органического связующего вещества для придания временной прочности. Из этой смеси затем изготавливаются кирпичи, которые обжигаются в течение месяца, причем температура достигает максимума 1540°. Для лучших динасовых кирпичей используются кварциты с содержанием кварца 99,50—99,75%.

Выборочное описание месторождений

Песчаники, используемые в промышленности, резко различаются по составу, распространению и возрасту, а также по типу и количеству цемента. В этом разделе детально рассматриваются три важных района месторождений песчаников США — Бериа, Орискани и Сент-Питер — и вкратце описывается несколько других месторождений. Надеюсь, что таким образом читатель познакомится с разнообразными геологическими условиями, в которых встречаются промышленные месторождения песчаников.

Песчаники Бериа

Песчаники Бериа, широко используемые в США для получения штучного камня, разрабатываются в округе Лорейн в северной части штата Огайо, примерно в 25 милях западнее Кливленда. Они представляют собой светло-серые средне- и тонкозернистые протокварциты с кремнеземистым или глинистым цементом. В этих песчаниках содержится более 90% кварца, немного кремня, неизмененного полевого шпата и обломков пород. Содержание минералов тяжелой фракции менее 1%.

Песчаники Бериа подстилаются сланцами Бедфорд, с которыми они тесно генетически связаны. Эти породы по возрасту относятся к раннемиссисипским, а ниже сланцев Бедфорд залегают уже девонские сланцы формации Огайо. Песчаники Бериа согласно перекрываются сланцами Санбери, но в районе разработок эти породы размыты и на песчаниках залегают ледниковые образования. Все породы залегают почти горизонтально.

В северной части штата Огайо песчаники Бериа состоят из двух толщ. Верхняя толща — пласт песчаника мощностью 20—40 футов; в верхней части (на одну треть мощности пласта) он тонкоплитчатый и здесь в обилии встречаются знаки ряби. Нижние две трети верхней толщи сложены массивными и обычно косослоистыми породами. Нижняя эксплуатируемая толща сложена массивными однородными песчаниками, которые не образуют выдержанного пласта, а выполняют древнее русло, глубоко врезанное в подстилающие сланцы (фиг. 5.4). Максимальная глубина карьера в этих русловых песчаниках достигает 235 футов.

Геология сланцев Бедфорд и песчаников Бериа описана Пиррером и др. (Pirrer et al., 1954). В северной части штата Огайо обе эти формации были отложены в дельтах рукавов

палеореки «Онтарио-Ривер», впадавших в море с севера. После отложения и консолидации осадков дельта Бедфорд была приподнята и обновленные потоки глубоко врезались в нее, местами прорезая сланцы Бедфорд и подстилающие сланцы Огайо. Во время образования песчаников Бериа реки несли в изобилии песчаный материал, который сначала выполнял ровообразные русла, а затем распространился в горизонтальном направлении, в результате чего сформировалась верхняя пластовая часть песчаников Бериа. Русловые залежи извилистые и имеют асимметричную форму в поперечном разрезе. Резкий контакт между стенками русла и выполняющими его песчаниками указывает на то, что сланцы Бедфорд перед размывом уже были достаточно литифицированы. Довольно однородная горизонтальная слоистость по всей мощной толще песчаников объясняется отложением медленно текущими водами в предварительно врезанном русле.

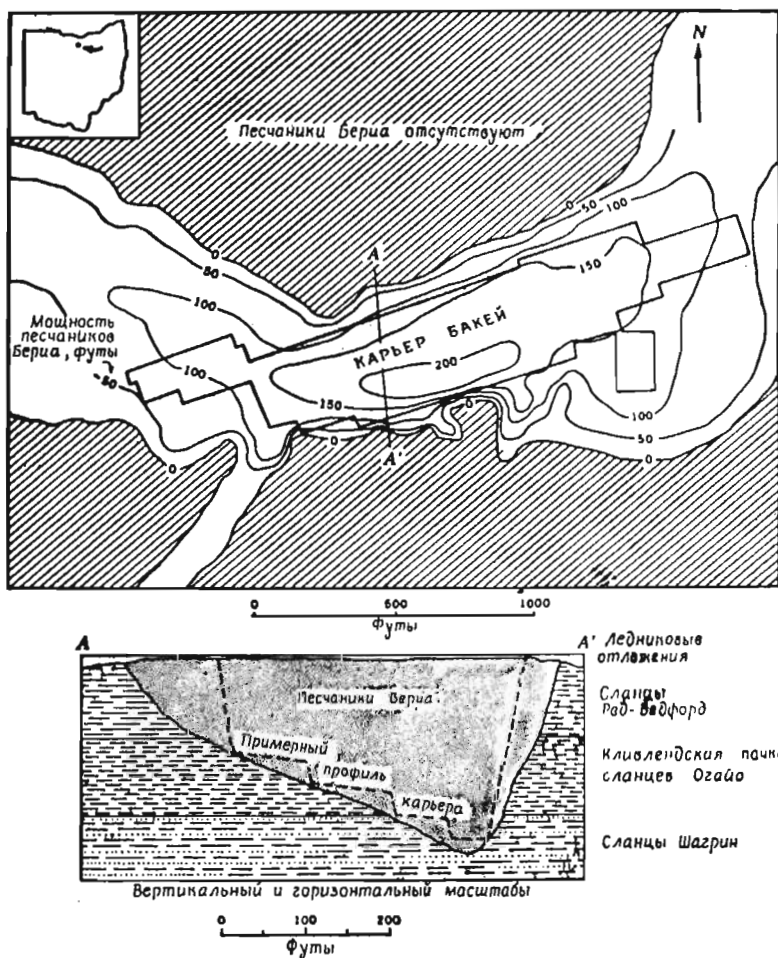
В результате ледниковой эрозии большая часть верхнего пласта песчаников была снесена и остались только массивные русловые отложения, которые выделяются в виде длинных грядок, поднимающихся на 50 футов и более над окружающей низменной равниной.

Для русловых песчаников характерно отсутствие примесей. Здесь встречаются отдельные растительные обрывки и тонкие прослойки углистого материала. Дискообразные сланцевые и глинистые окатыши, образованные из подстилающих пород, иногда слагают линзы протяженностью 2—25 футов и мощностью от 1 до 16 дюймов. Однако все эти породы составляют не более 1% к общей массе песчаников.

План и разрез одного из главных карьеров, показывающие соотношения песчаников и сланцев Бедфорд, приведены на фиг. 5.4.

Песчаники Орискани

Важный источник высококремнеземистых песков в восточных районах США — песчаники Орискани раннедевонского (алстерийского) возраста. Они залегают в виде тонкого пласта, который прослеживается в поверхностных выходах из центральной части штата Нью-Йорк (где он и получил свое название) в южном направлении в южную часть штата Виргиния, тогда как его распространение под перекрывающими породами установлено до восточной части штата Огайо. Несмотря на широкое распространение, песчаники Орискани лишь спорадически промышленно интересны мощностью и качеством, приобретая практическое значение только в немногих



Ф и г. 5.4. План и разрез месторождения песчаников Бериа, карьер Бакей «Кливленд Куаррис компани», южный Амхерст, округ Лорейн, штат Огайо. По Пипперу и др. (Perper et al., 1954, U. S. Geol. Survey Prof. Paper. 259, 68).

местах, которые расположены в складчатом поясе центральной части Аппалачских гор. Главные из этих районов месторождений песчаника расположены в округах Мифлин и Хантингдон в центральной части штата Пенсильвания и примерно в 55 милях к юго-западу вдоль прямой, соединяющей окрестности Камберленда, Мэриленда и рек Ханнок и Беркли-Спрингс в северо-восточной части штата Западная Виргиния.

В этих районах песчаники Орискани в действительности представляют собой группу, включающую две формации — вверху песчаники Риджли, внизу кремнистые породы Шривер. Пески добываются только из формации Риджли. Но, поскольку термин Орискани более широко известен и чаще применяется, наименование промышленных песков происходит от названия группы, а не от названия формации.

Песчаники перекрываются сланцами онондагского возраста (средний девон), от которых они отделяются резким волнистым контактом, вероятно указывающим на несогласие. Нижний контакт с кремнистыми породами Шривер постепенный. Формация Шривер, сложенная темными кремнеземистыми сланцами с большим количеством стяжений черных кремней, подстилается сланцами и известняками хелдербергского возраста (нижний девон).

Породы формации Орискани и Хелдерберга протягиваются в виде длинных грядок, как это вообще характерно для относительно устойчивых толщ складчатой серии Аппалачских гор. В одних грядах структура моноклиальная, в других — синклиальная. Падение юго-восточное или северо-западное от 15° — 20° до вертикального и возможно опрокинутого.

Во многих местах мощность песчаников Орискани составляет лишь несколько футов, но в центральной части штата Пенсильвания и в штатах Мэриленд и Западная Виргиния она достигает 200—350 футов. Свежие породы — это белые и голубовато-серые ортокварциты, цемент обычно известковистый, но местами кремнеземистый. Породы прочные, крепкие и местами используются в качестве железнодорожного балласта. Эти песчаники средне- и мелкозернистые, хорошо отсортированные, с угловатыми и полуугловатыми зернами. Повсюду встречаются невыдержанные прослои конгломератов. Они состоят из полуугловатых и округлых белых кварцевых галек диаметром обычно не более 0,5 дюйма.

Песчаники Орискани имеют ценность не только из-за своей мощности, но и вследствие их чистоты и рыхлого сложения. В районах карьеров песчаники почти нацело кварцевые. В них встречаются отдельные зерна частично измененного полевого шпата и иногда зерна роговой обманки и

турмалина. Среди вредных примесей встречается немного лимонита и местами вторичные окислы марганца со следами кобальта.

Выщелачивание цемента приводит к тому, что обычно прочные песчаники Орискани превращаются в рыхлые песчаники или несвязные пески. Фиттке (Fettke, 1919) утверждает, что выщелачивание имело место только в небольших участках целого пояса обнажений, очевидно, там, где песчаники в большей степени раздроблены при складчатости. Поверхностные воды, просачиваясь в породы через микроскопические межзерновые поры и по трещинам, растворяли цемент. Местами встречаются постепенные переходы от белого рыхлого песчаника у трещин до стекловидного кварцита в удалении от них. Фиттке отмечает, что в обнажении в нижних частях гряд там, где они пересекаются потоками, текущими с более верхних частей склонов, песчаники сильнее выветрелые, чем на гребнях гряд. Однако полная дезинтеграция песчаников в рыхлый песок встречается не повсеместно, и поэтому добытое сырье необходимо подвергать помолу на фабриках.

Судя по некоторым геологическим признакам, песчаники Орискани — это прибрежные мелководные осадки, отложившиеся в тектонически стабильной обстановке. Об этом свидетельствуют преобладание кварца, присутствие линз конгломератов и многочисленные находки морской фауны. Исследование минералов тяжелой фракции Стау (Stow, 1938) показало, что песчаники Орискани в южной части штата Нью-Йорк образовались за счет более древних осадочных пород, вероятно, кембрийских или силурийских песчаников, которые встречаются юго-восточнее этого района. Таким образом, песчаники Орискани — ортокварциты второго цикла осадконакопления¹. Очень большая мощность песчаников в районах их эксплуатации обусловлена отложением в дельтах.

Песчаники Сент-Питер

Эта формация, интересная как в научном, так и практическом отношении, представлена очень чистыми ортокварцитами раннесреднеордовикского (чезийского) возраста. Они выходят на дневную поверхность вдоль южного края Висконсинского антиклинального поднятия в штатах Миннесота, Висконсин, Айова и Иллинойс и на крыльях купола Озарк на востоке

¹ Только предположительно второго цикла, так как и кембрийские и силурийские песчаники также могли образоваться из более древних песчаников. — *Прим. ред.*

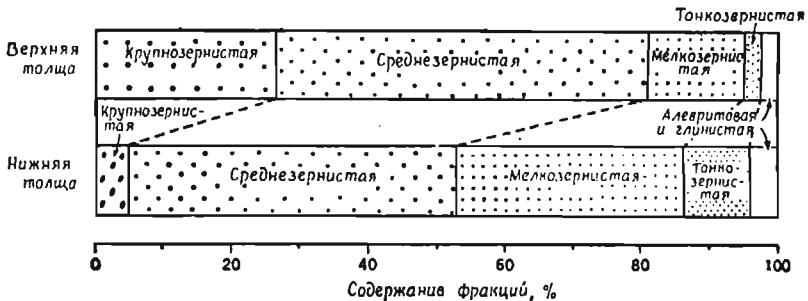
центральной части штата Миссури. Кроме того, эти ортокварциты прослеживаются под более молодыми породами в штатах Айова, Иллинойс, Индиана и в северной части штата Миссури. Пластовая залежь этих пород очень обширна; согласно Дэпплесу (Dapples, 1955), средняя мощность залежи 75 футов на площади 225 тыс. кв. миль. Песчаники Сент-Питер почти целиком состоят из кварца, однородны по гранулометрическому составу, причем более крупные зерна округлые и изъеденные; цемента немного.

Промышленная добыча песков формации Сент-Питер ведется в двух местах: в северной части штата Иллинойс, особенно в районе Оттавы, примерно на 75 миль юго-западнее Чикаго; на востоке центральной части штата Миссури, у Клондайка и Пасифика, в 30 милях западнее Сент-Луиса и около Кристал-Сити на реке Миссисипи, в 30 милях южнее Сент-Луиса. Поскольку район Оттавы в течение многих лет был главным поставщиком кремнеземного песка, то он и будет в основном рассмотрен ниже.

На протяжении нескольких миль к западу от Оттавы, округ Ла-Салл штата Иллинойс, песчаники Сент-Питер выстилают дно долины реки Иллинойс и образуют крутые обрывы в бортах долины. Эти песчаники залегают на гребне антиклинали Ла-Салл и являются самыми древними породами, выходящими на дневную поверхность в окрестностях Оттавы. Песчаники несогласно перекрывают доломиты Шакопи и, очевидно, выполняют древние русла, врезанные в этих и более древних породах. Иногда песчаники перекрываются тонким уцелевшим от размыва пластом известняков Платвилл (следующей в нормальной последовательности более молодой формации), но обычно на них налегают либо пенсильванские глины, угли и сланцы, либо плейстоценовые ледниковые отложения и современный аллювий. Падение пластов песчаника восточное, примерно 50 футов на милю. Там, где песчаники Сент-Питер перекрываются другими породами, их мощность 135—160 футов, но в тех участках, где они размыты современными реками, их мощность значительно меньше.

Тот факт, что разрабатываемые песчаники Сент-Питер в среднем обычно содержат более 97% кремнезема, указывает не только на малую примесь прочих минералов, но также и на отсутствие включений в самих кварцевых зернах. Большую часть примеси составляют глины. Содержание лимонита в среднем около 0,35%; этот минерал встречается в виде пленок на кварцевых зернах или в смеси с глинистым материалом. В небольших количествах присутствуют полевые шпаты и некоторые минералы тяжелой фракции. Чистые песчаники свет-

ло-серые и белые с редкими пятнами желтого или коричневого цвета, обусловленными примесью лимонита. Содержание глин наибольшее и окраска более сильная в тех местах, где песчаники перекрываются пенсильванскими глинами и углями в обрывах выше дна долины. Поэтому большинство карьеров размещается именно в этих местах, так как к добываемому здесь сырью, предназначенному для получения литейных и других песков, не предъявляется требование максимального



Фиг. 5.5. Гранулометрический состав и сортировка песчаников Сент-Питер в районе Оттавы, штат Иллинойс. В верхней части схемы приведен средний состав песчаников верхней толщи по 18 анализам, в нижней части — средний состав нижней толщи песчаников по 3 анализам. Данные заимствованы у Уиллмана и Пэйна (Willman, Payne, 1942, III. Geol. Survey Bull., 66, 75).

содержания кремнезема. Песчаники с наименьшим содержанием глины и лимонита встречаются под речными наносами, и поэтому большинство карьеров по добыче отмученного стекольного песка располагается на отменях реки Иллинойс. Отмученный песок из этих карьеров содержит в среднем 99,9% кремнезема.

Высокая степень сортировки песчаников Сент-Питер показана на фиг. 5,5, на которой видно, что 80% зерен лежат в пределах двух соседних размерных фракций. На этой фигуре также показано, что верхняя часть песчаников Сент-Питер в районе Оттавы сложена преимущественно крупно- и среднезернистыми разностями, тогда как нижняя часть — средне- и мелкозернистыми.

Более крупнозернистые пески верхней части, очевидно, распространены лишь в пределах Иллинойса. Геологическое исследование Тила (Thiel, 1935) показало, что медиана зерен песчаников Сент-Питер в штате Иллинойс в среднем составляет 0,463, в штате Миссури — 0,161, в штате Миннесота — 0,216, в штате Висконсин — 0,223 и в штате Арканзас —

0,241 мм. Последние четыре величины попадают в мелкозернистую фракцию. Присутствие более крупнозернистых песков в районе Оттавы имеет промышленное значение, так как средне- и крупнозернистые пески используются шире, чем мелкозернистые, например, в качестве материала для пескоструйных аппаратов и гидравлического разрыва нефте- и газоносных пластов. Все карьеры заложены частично или полностью в песках верхней толщи.

Зерна крупных и средних размеров хорошо окатаны, мелкие зерна — полуугловатые, а очень мелкие — угловатые. Относительно крупные зерна мутные (шероховатые), и большая часть их испещрена выемками. Округлость и шероховатость (мутность) зерен приписывается обычной морской абразии (Dake, 1921; Lamaq, 1927), а выемки, видимо, унаследованы от кварцевых кристаллических пород, где зерна были окружены и пронизаны другими минералами, которые потом были удалены.

Песчаники Сент-Питер рыхлые и плохо сцементированные. Их некоторая связность, очевидно, обусловлена главным образом примесью светлоокрашенного глинистого материала, который отмечается между зернами и в виде пленок на зернах, хотя Уиллман и Пэйн (Willman, Payne, 1942) относят эту связность большей частью за счет уплотнения песков. Окислы железа в отложениях этой формации не играют роли цемента, так как характерные желтые песчаники лишь несколько прочнее белых. Хотя некоторые кварцевые зерна являются вторичными, количество такого кремнезема невелико и он также не может служить цементирующим веществом. Неразрушенные поверхности песчаников при выветривании (под действием атмосферы) обычно «цементируются» и покрываются тонкой коркой, в которой при испарении грунтовых вод образуются кварц и лимонит.

Песчаники залегают в виде устойчивых пластов мощностью от нескольких дюймов до 10—12 футов. Во многих местах отмечается косая слоистость. Она обычно проявляется только на протяжении немногих футов всего разреза, обнаруживает углы падения менее 20° и, очевидно, имеет первичное осадочное происхождение. В песчаниках Сент-Питер в штате Миннесота найдены морские ископаемые, а в районе Оттавы обнаружены ходы червей. Знаки ряби встречаются в верхней и нижней частях толщи песчаников, а трещины усыхания отмечаются в средней части формации, в пластах с большим содержанием глины.

Песчаники секутся крупными трещинами отдельности в основном в двух направлениях, примерно под прямым углом.

В карьерах, расположенных в обрывах на северном берегу реки Иллинойс, встречаются карманы мягкой пластичной глины. Это включения грубо цилиндрической формы, достигающие в поперечнике 5—60 футов и до 10—100 футов глубиной. Местами они встречаются в виде линз, протягивающихся по главным трещинам. Глины привнесены из пенсильванских отложений, перекрывающих песчаники.

Генезис песчаников Сент-Питер широко обсуждался геологами. Литология песчаников привела ранних исследователей к выводу о том, что эти песчаники золотые по происхождению и залежали на месте большой внутриконтинентальной пустыни в виде движущихся песков. Однако исчерпывающие исследования Дейка (Dake, 1921) ясно показали, что эти песчаники имеют морское происхождение. Некоторые данные для такого заключения были приведены выше, и читатель может найти к этому гораздо больше доказательств в статье Дейка и в более поздних работах Ламара (Lamar, 1927) и Дэпплеса (Dapples, 1955). Региональные исследования, проведенные Дэпплесом, показали, что: 1) песчаники Сент-Питер — трансгрессивные отложения песка, представляющие собой переотложенные пляжные отложения моря, которое постепенно наступало с юго-востока на северо-запад; 2) кварцевые зерна были привнесены несколькими крупными реками, текущими в южном направлении с Канадского щита, и 3) тектонические условия в период отложения формации выражались в равномерном слабом опускании. Вероятно, в прибрежных дюнах происходила ветровая транспортировка перед наступлением моря и разрушением песчаных отложений волнами и течениями.

Песчаники Сент-Питер явно представляют собой продукт неоднократного переотложения, так как они слишком чистые и состоят из настолько хорошо отсортированного и окатанного материала, что их нельзя связать с непосредственным разрушением и переотложением кристаллических пород. Хотя предполагалось, что эти песчаники образовались при размыве верхнекембрийских песчаников, расположенных севернее, Тил (Thiel, 1935) показал, что едва ли это верно, так как верхнекембрийские песчаники более мелкозернистые, чем песчаники Сент-Питер, и содержат иную ассоциацию минералов тяжелой фракции. Тил предполагает, что главным источником были песчаники формации Кетл-Ривер (Хинкли), по возрасту относящейся к верхнему Кивино, которые несколько крупнозернистее песчаников Сент-Питер и содержат сходные минералы тяжелой фракции.

После отложения песчаников Сент-Питер история развития района Оттава характеризовалась следующими главными особенностями: 1) непрерывное морское осадконакопление, вероятно продолжавшееся вплоть до (2) образования антиклинали Ла-Салл в раннепенсильванское время, 3) повсеместный размыв, в результате которого были эродированы песчаники Сент-Питер (и местами в северной части штата Иллинойс доломиты Шакопи); 4) образование пенсильванских отложений, которые несогласно перекрывают все более древние формации в северном направлении, и, наконец, 5) плейстоценовая ледниковая эрозия и деятельность современных потоков, в результате проявления которых была удалена большая часть пенсильванских пород.

Прочие месторождения песчаников

Некоторые песчаники приближаются в практическом отношении к тем только что описанным их типам, и часть из них вкратце характеризуется ниже. Однако автор отнюдь не предпринимает какой-либо попытки систематического описания многих месторождений песчаников, имеющих ограниченное или узкоместное промышленное значение.

Несколько формаций Атлантической береговой равнины являются источниками песков для специальных применений. Эти формации обычно ассоциируют с глинами, известковистыми глинами и гравием; сложены они неконсолидированным и почти горизонтально залегающим материалом. Больше всего таких песков добывается в штате Нью-Джерси. В округе Мидлсекс разрабатываются пески *формации Раритан* (верхний мел). В этом же штате добываются преимущественно морские *пески Коханси*, которые больше обнажены, чем любая другая формация Береговой равнины; это довольно чистые пески, представляющие собой сырье для стекольной промышленности.

Пески формаций Бриджтон и Пенсокен (нижний плейстоцен), не выдержанные по простиранию и по мощности, главным образом речного происхождения, но в течение многих лет они разрабатывались для получения больших количеств природносвязанных литейных песков (Moore, Taylor, 1924).

Формация Таскалуса (верхний мел) еще не разрабатывалась на пески, но она представляет собой наиболее важный потенциальный источник высококремнеземистого сырья в юго-восточных штатах.

В складчатом поясе в центральной части штата Пенсильвания *формация Таскарора* (нижний силур) — главный источ-

ник кремнеземистого сырья для огнеупорного кирпича. Она сложена ортокварцитами с содержанием кремнезема 97—98%; средняя мощность около 400 футов. Поскольку породы формации Таскароора очень устойчивы по отношению к размыву, они образуют длинные гряды, а склоны многих таких гряд покрываются настилом или «ледяными полями» («floe») (Mooge, Taylor, 1924) делювиальных глыб кварцита. Эти коренные и делювиальные ортокварциты в течение многих лет используются в качестве сырья для огнеупоров. Главные центры добычи сосредоточены вдоль гряд Тасси-Маунтин, Джэкс-Маунтин и других, которые протягиваются в центральной части штата Пенсильвания через округа Бедфорд, Блэр, Хантингдон и Сентр.

В районе Аллеганских гор разрабатывается ряд песчаных толщ пенсильванского возраста. Две из этих песчаных толщ — конгломераты Шарон и песчаники Массиллон — широко разрабатываются в восточной части штата Огайо. Конгломераты Шарон (базальная часть формации Потсвилл) в действительности сложены главным образом средне- и крупнозернистыми косослоистыми песчаниками, но они содержат мощные пласты кварцевых галек диаметром $\frac{1}{8}$ —3 дюйма. Главные пласты гравелитов, приуроченные к основанию этой толщи, представляют собой линейные залежи, которые выполняют русловые углубления, прорезанные в подстилающих миссисипских сланцах. Максимальная мощность конгломератов Шарон достигает 175—200 футов. Содержание кремнезема 95—99%, главные примеси — глинистый материал и окислы железа. Добыча сосредоточена в северо-восточной и юго-западной частях штата Огайо, на относительно небольших расстояниях от крупных промышленных рынков. Эти песчаники отмучивают и сортируют по размеру для получения безглинистых литейных песков, а гальки размалывают и получают продукт, который служит источником кремнезема для ферросилиция и динасового кирпича. Фуллер (Fuller, 1955) описал историю образования конгломератов Шарон и породы, за счет которых они образовались.

Песчаники Массиллон (средняя часть формации Потсвилл) косослоистые, плохо отсортированные, выходят в виде полосы, простирающейся с севера на юг в восточной части штата Огайо. По размеру частиц они колеблются от мелко до крупнозернистых и содержат несколько прослоев гравия. На обогатительных фабриках в округах Перри, Таскаравос и Нокс, в северо-восточной части штата Огайо, эти песчаники размалываются и отмучиваются для получения литейных песков и очень чистых стекольных песков. В округах Гленмонт

и Холмс, где песчаники Массиллон мощные, без включений галек, они добываются в качестве штучного камня. Этот камень — «Бриар Хилл-стоун» — широко применяется в жилищном и других видах строительства. На выветривающейся поверхности песчаника образуются характерные пестрые узоры желтых и желтовато-бурых потеков. Грей (Gray, 1956), изучив петрологию песчаников Массиллон, пришел к выводу, что они представляют собой пляжные пески и первоначально были отложены прибрежными течениями.

Строительные песчаники широкого применения добываются вблизи Кросвилла на плато Камберленд в центральной части штата Теннесси. Эти породы Джилдерслив (Gildersleeve, 1950) относил к песчаникам Роккасл, но Уилсон и др. (Wilson et al., 1956) считают, что они принадлежат песчаникам Кросвилл, т. е. толще, лежащей несколько выше в серии Потсвилл (нижнепенсильванского возраста). Эти песчаники широко известны под своим традиционным названием «Крэб-Орчард-стоун». Песчаники мелкозернистые, прочные, кварцевые; залегают в виде тонких пластов, простирающихся на большие расстояния. Легко извлекаются плиты песчаника 16 футов длиной, 10 футов шириной и только 3 или 4 дюйма толщиной. Цвет песчаников — рыжеватобурый, желтоватобурый, серый, красный, желтый и розовый. Камень извлекается из широких неглубоких карьеров и разрезается на блоки нескольких типов. Он особенно широко применяется для внешней отделки зданий ввиду своей стойкости, продолжительности срока службы, непроницаемости, а также приятного цвета и легкой обрабатываемости. Согласно Уилсону и др. (Wilson et al., 1956), в 1955 г. было добыто «Крэб-Орчард-стоун» на сумму более 2 млн. долл.

На северо-западном крыле поднятия Финдли в северо-западной части штата Огайо и в юго-восточной части штата Мичиган встречаются песчаники Силвейния (нижний девон), являющиеся источником высококачественных стекольных песков. Эти песчаники кварцевые, очень чистые, хорошо отсортированные, слабо связанные доломитовым цементом, с округлыми мутными зернами, от мелко- до среднезернистых. Вблизи поверхности в бассейне Мичиган мощность песчаников Силвейния достигает 300 футов, а южнее Детройта, в штате Мичиган, около Роквуда, там, где они добываются, их мощность составляет 50—75 футов. Эти песчаники с резким несогласием залегают на доломитах Бэсс-Айлендс (верхний силур), а вверх они постепенно сменяются доломитами Детройт-Ривер. Кармэн (Carmen, 1936) считал, что песчаники Силвейния — это переработанные и эоловые образования, отложившиеся по-

вторно в водном бассейне. Стратиграфически они занимают почти то же место, что и песчаники Орискани, с которыми они сопоставляются.

Пласт песчаников, известный под названием Сент-Питер в долине Миссисипи, простирается на юго-запад до штата Оклахома, где он разделяется уже на несколько пластов песчаника пластами известняка. Эта ассоциация обломочных и карбонатных пород именуется группой Симпсон. Две формации этой группы — *Ойл-Крик* и *Мак-Лиш* в районе гор Уичито на юге центральной части штата Оклахома — являются источниками стекловидных песков, из которых путем обогащения получают высококачественное сырье. Толщи песчаников формаций *Ойл-Крик* и *Мак-Лиш* имеют мощности 150—400 футов. В литологическом отношении они сходны с песчаниками Сент-Питер из месторождений штата Иллинойс, хотя они более мелкозернистые. Эти формации залегают на доломитах Арбакл (*кембро-ордовик*) и местами перекрываются верхнепенсильванской толщей: они слагают сложные синклиналильные складки и крылья больших антиклинальных складок пенсильванского возраста. В пределах опущенных грабеноподобных тектонических блоков песчаники сохранились от размыва в постпенсильванское время. Песчаники формации *Ойл-Крик* разрабатываются около *Милл-Крик* в штате Оклахома, а песчаники формации *Мак-Лиш* добываются около *Роффа*. В этих местах песчаники залегают на небольшой глубине и добываются открытым способом. Геологическое строение района распространения песчаников Сент-Питер приводит Хэм (Ham, 1945), цементация песчаников формаций Сент-Питер и Симпсон описана Хилдом (Held, 1956), а региональные взаимоотношения этих песчаниковых толщ изучены Дэпплесом (Dapples, 1955).

Потребности в песке в Калифорнии удовлетворяются из различных источников, включая ввоз песка из месторождений штатов Иллинойс и Невада и из месторождений прибрежных пляжных и дюновых песков. Большое практическое значение имеют три формации песчаных пород. С 1955 г. в карьере на западном склоне *Инио-Маунтинс* восточнее озера *Оуэнс* разрабатываются *кварциты Эврика* (средний ордовик) с целью получения сырья для динасового кирпича. Здесь имеется пласт мощностью около 250 футов стекловидных белых и розовых кварцитов с содержанием кремнезема более 99%. В меньшем количестве добываются кремнеземистые пески *формации Айоне* (эоцен), которые выходят на дневную поверхность в виде прерывистой полосы у западного подножья *Сьерра-Невады* (Апопутос, 1956). Формация *Айоне* включает белые глины (стр. 222) и лигниты, но в основном она состоит из

светлоокрашенных глинистых песчаников. Зерна песчаника угловатые, что указывает на близость источника сноса, мелкие и средние по размеру. Сортировка песчаников довольно хорошая. Песчаники массивные и слабо сцементированы глинистым веществом. Наиболее продуктивные пласты встречаются вблизи Айоне, где они сложены на 60% кремнеземистым материалом и на 40% — глинистым веществом. Глинистый материал представлен каолинитом хорошего качества, который отмучивается от песка и используется как сырье для керамических изделий; пески идут в стекольное и керамическое производство. Вблизи Ошансайда в округе Сан-Диего разрабатываются другие песчаники эоценового возраста, связанные с *формацией Тижон*, которые на поверхности слагают небольшие холмы. Эти песчаники, белые, мелко- и крупнозернистые, сложены главным образом кварцем с небольшой примесью полевого шпата. В них встречаются линзы алевритового и глинистого материала, которые следует избегать при добыче. Добыча песков для пескоструйных машин из формации Тижон увеличилась в 1954 г. в результате установки высокопроизводительной вращающейся мельницы ударного типа для крупных зерен.

Методы добычи и обогащение

Песчаники в качестве штучного камня добываются такими же способами, как и штучный камень других типов. Методика разработки зависит в основном от типа породы и степени ее цементации. Если в песчаниках имеются трещины и поверхности напластования, то к ним обычно приспособляются при разработке месторождения. В месторождениях массивных песчаников (плотностойких), подобных песчаникам Берия около Саут-Амхерст в штате Огайо, имеются наиболее удобные направления раскалывания — *раскола*, простирающиеся горизонтально и, несомненно, отражающие плохо выраженные поверхности напластования песчаников. Другие ослабленные направления, по которым отделяются блоки песчаника, — это кливаж, направленный в общем вертикально или почти вертикально. Основные вертикальные сечения вдоль стенки карьера для отделения первичных блоков производятся камнерезной машиной. После этого блоки освобождаются при помощи бурения ряда шпуров и взрывами слабых зарядов пороха, что вызывает разрушение породы в требуемых местах, либо при помощи метода «клина и шипа» (стр. 130). При окончательной обработке блоки обычно разрезают на более мелкие набором пил, используя в качестве

абразивного материала кварцевый песок. Подробное описание методов добычи и обработки штучного камня приводит Баулс (Bowles, 1917, 1939).

Кварцитовые песчаники, используемые как исходный материал для динасового кирпича или ферросилиция, добывают при помощи взрывных работ, а затем дробят и подвергают грохочению. Для использования в динасовом кирпиче камень дробят до частиц с максимальным размером зерен около 6 меш (0,132 дюйма), для ферросилиция — до частиц размером от 0,75 до 6 дюймов. Для использования в качестве обычных заполнителей песчаники дробят и просеивают точно так же, как и другие дробленые камни.

Добыча и подготовка высококремнеземистых песков — это специализированные процессы, значительно видоизменяющиеся в зависимости от природы полезного ископаемого и конечного продукта. Там, где вскрыша очень мощная, как на месторождениях песчаников Сент-Питер у Пасифика и Кристал-Сити в штате Миссури, производится подземная добыча методом камерно-столбовой системы разработки. Но обычно пески разрабатываются открытыми карьерами. Методика разработки зависит в основном от степени цементации породы. Неконсолидированные пески, подобные пескам Коханси в штате Нью-Джерси, залегающие ниже уровня грунтовых вод, могут разрабатываться при помощи пульпопровода. На многих месторождениях песчаников Сент-Питер в штате Иллинойс породы сначала разрыхляются слабыми взрывами, а затем отмучиваются путем применения гидромонитора в водосточках, из которых они или отводятся по трубопроводам или вычерпываются ковшовым элеватором и переправляются на обогатительную фабрику. Более прочные песчаники требуют взрывных работ и помола. Литейные пески и строительные пески можно использовать без какой-либо обработки, не считая помола, в то время как стекольные пески необходимо отмутить, высушить и просеять. Кроме того, из стекольных песков иногда удаляют минералы тяжелой фракции путем концентрационной, флотационной, электромагнитной или электростатической сепарации.

ЛИТЕРАТУРА

- Bowen C. H. (1953). Petrology and economic geology of the Sharon conglomerate in Geauga and Portage counties, Ohio, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 153.
- Bowles O. (1917). Sandstone quarrying in the United States, U. S. Bur. Mines Bull., 124.
- Bowles O. (1939). The Stone Industries, 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 67—102.

- Bownocker J. A. (1915). Building stones of Ohio, Ohio Geol. Survey, 4th ser., Bull. 18, 72—118.
- Carman J. E. (1936). Sylvania sandstone of northwestern Ohio, Bull. Geol. Soc. Amer., 47, 253—265.
- Cleaves A. B. (1939). The Oriskany group, Pa. Geol. Survey, 4th ser., Bull. G19, 92—130.
- Dake C. L. (1918). The sand and gravel resources of Missouri, Mo. Bur. Geology and Mines, 2nd. ser., 15, 105—169.
- Dake C. L. (1921). The problem of the St. Peter sandstone, Univ. Mo. School of Mines and Metallurgy Bull., Tech. ser., 6, № 1.
- Dapples E. C. (1955). General lithofacies relationship of St. Peter sandstone and Simpson group, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 39, 444—467.
- Dunkin D. D. (1928). Mining and preparation of St. Peter sandstone in Arkansas, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub., 55.
- Fettke C. R. (1919). Glass manufacture and the glass-sand industry of Pennsylvania, Pa. Topog. and Geol. Survey. Rept., 12.
- Fettke C. R. (1926). American glass sands—their properties and preparation, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 73, 398.
- Fuller J. O. (1947). Sharon conglomerate, a source of high silica raw material, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. News, 19, 48—55.
- Fuller J. O. (1955). Source of Sharon conglomerate of northeastern Ohio, Bull. Geol. Soc. Amer., 66, 159—176; Ohio Geol. Survey Rept. Inv., 23.
- Gay T. E., Jr. (1957). Specialty sands, Calif. Div. Mines Bull., 176, 547—564.
- Gildersleeve B. (1950). Building stone of the Crab Orchard district. Tennessee, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 187, 883—885.
- Gray H. H. (1956). Petrology of the Massillon sandstone at the type locality, Ohio Jour. Sci., 56, 138—146.
- Gutschik K. A. (1955). Producing silica sand for the petroleum industry, Rock Products, 58, № 12, 54—59.
- Ham W. E. (1945). Geology and glass sand resources, central Arbuckle Mountains, Oklahoma, Okla. Geol. Survey Bull., 56.
- Heald M. T. (1956). Cementation of Simpson and St. Peter sandstones in parts of Oklahoma, Arkansas, and Missouri, Jour. Geology, 64, 16—30.
- Jaster M. C. (1957). Selected annotated bibliography of highgrade silica of the United States and Canada through December 1954, U. S. Geol. Survey Bull., 1019-H.
- Krynine P. D., Klepper M. R., Glasser M. (1939). Mineralogy of the Mapleton glass sand, Pa. Acad. Sci. Proc., 13, 88—94.
- Lamar J. E. (1927). Geology and economic resources of the St. Peter sandstone of Illinois, Ill. Geol. Survey Bull., 53.
- Lewis J. V. (1908). Building stones of New Jersey, N. J. Geol. Survey, Ann. Rept. State Geologist for 1908, 89—94.
- Lowry W. D. (1954). Silica sand resources of western Virginia, Va. Polytechnic Inst. Bull., 47, № 12.
- Martens J. H. C. (1956). Industrial sands of New Jersey, Rutgers Univ., Bur. Min. Research Bull., 6.
- Moore E. S., Taylor T. G. (1924). The silica refractories of Pennsylvania, Pa. Geol. Survey, 4th ser., Bull. M3.
- Murphy T. D. (1954). Silica resources of Clark County, Nevada, Nev. Bur. Mines Bull., 55.
- Nevlin C. M. (1925). Albany molding sands of the Hudson Valley, N. Y. State Museum Bull., 263.

- Pepper J. F., DeWitt W., Jr., Demarest D. F. (1954). Geology of the Bedford shale and Berea sandstone in the Appalachian Basin, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 259.
- Pettijohn F. J. (1957). Sedimentary Rocks, 2nd. ed., New York, Harper, 283—339.
- Ries H. (1948). Properties of foundry sands, Calif. Jour. Mines and Geology, 44, 9—35.
- Ries H. (1950). Foundry sands, Applied Sedimentation (P. D. Trask, ed.), New York, Wiley, 475—482.
- Santmyers R. M. (1931). Quartz and silica, U. S. Bur. Mines Inf. Circs, 6472—6474.
- Schuchert C., et al. (1913). The Lower Devonian deposits of Maryland, Md. Geol. Survey, Lower Devonian, 90—96.
- Sheakley H. L., Coolidge D. J. (1947). Use of silica sand in the glass industry in Missouri, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 601—606.
- Stadt H. E., Jr. (1953). Sand, important factor in successful fracturing, Petrol. Engineer, 25, 530—533.
- Stow M. H. (1938). Conditions of sedimentation and sources of the Oriskany sandstone as indicated by petrology, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 22, 541—564.
- Swineford A. (1947). Cemented sandstones of the Dakota and Kiowa formations in Kansas, Kan. Geol. Survey Bull., 70, 53—104.
- Thiel G. A. (1935). Sedimentary and petrographic analysis of the St. Peter sandstone, Bull. Geol. Soc. Amer., 46, 559—614.
- Weidman P. A. (1942). The Berea sandstone of the Cleveland area, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. News, 14, 14—21.
- Weigel W. M. (1927). Technology and uses of silica and sand, U. S. Bur. Mines Bull., 266.
- Wilkerson A. S., Comerford J. E. (1948). Some New Jersey glass sands, Rutgers Univ., Bur. Min. Research Bull., 1.
- Willman H. B., Payne J. N. (1942). Geology and mineral resources of the Marseilles, Ottawa, and Streator quadrangles, Ill. Geol. Survey Bull., 66, 61—62, 71—80, 193—194, 234—243.
- Wilson C. W., Jr., Jewell J. W., Luther E. T. (1956). Pennsylvanian geology of the Cumberland Plateau, Tenn. Div. Geol. Folio, 6, 20.
- Anonymous (1954). Glass sand in California, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 7, № 6, 1—4.
- Anonymous (1956). The mineral resources of the Ione formation, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 9, № 8, 1—5.
- Anonymous (1957). Commercial silica, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 10, № 4, 1—7.

ГЛИНЫ

Введение

Несмотря на то что глины встречаются повсеместно, очень трудно дать им точное определение. Вообще говоря, глины — это природные землистые вещества: 1) с коллоидными или почти коллоидными размерами частиц, 2) существенно состоящие из глинистых минералов, главным образом водных алюмосиликатов, и 3) более или менее пластичные во влаж-

ном состоянии. В большинстве глин содержатся примеси неглинистых минералов и органического вещества. *Глинистыми материалами* вообще называются все тонкозернистые землястые глинистые породы — глины, глинистые сланцы и некоторые глинистые почвы.

В приведенном определении глин не дается их генетической характеристики. Глины образуются в основном при выветривании различных пород, а в дальнейшем могут остаться на месте своего образования или быть смыты и отложиться в качестве осадка. Считать образование глин при выветривании пород процессом разрушения или процессом созидания — это зависит от точки зрения, которой придерживается исследователь. Келлер (Keller, 1957, стр. 5)¹ пишет, что ранние исследователи магматических пород рассматривали глину как «петрологический мусор». С другой стороны, для седиментологов и, несомненно, для промышленных геологов «залежи чистого каолинита или монтмориллонита — пример высокого класса очистки пород». В настоящее время имеется больше оснований придерживаться второй точки зрения, а не первой.

В последнее время даже геологи-магматисты проявляют большой интерес к глинам гидротермального генезиса. Глинистые минералы такого рода встречаются среди продуктов изменения вмещающих пород на некоторых рудных месторождениях. Изучение глин гидротермального генезиса помогает установить механизм рудообразования. Кроме того, эти глины могут служить поисковым признаком при разведке рудных месторождений. Более подробно эти вопросы разобраны Гримом² [Grim, 1953, стр. 323—330 (375—382)³; 1955]. Иногда гидротермально образованные глины имеют мономинеральный состав и встречаются в количествах, представляющих промышленный интерес. Примером может служить месторождение белого каолина на полуострове Корнуэлл в Англии, которое длительное время эксплуатируется для производства знаменитого английского фарфора.

Механизм образования глин, т. е. физические и химические процессы изменения пород в глины, как гипергенные, так и гидротермальные, флокуляция глинистых частиц, образование месторождений переотложенных глин и их диагенез — все это очень сложные вопросы, выходящие за рамки настоящей

¹ См. русский перевод в сб. «Геохимия литогенеза»: Келлер, Основы химического выветривания, ИЛ, 1963, стр. 87. — *Прим. перев.*

² См. русский перевод: Грим, Минералогия глин, ИЛ, 1959, стр. 375—382. — *Прим. перев.*

³ Здесь и ниже в скобках приводятся страницы русского издания. — *Прим. ред.*

книги. Читатель может ознакомиться с вопросами происхождения глин и условиями залегания их в авторитетной сводке Грима (Grim, 1953, стр. 316—368 (368—427) и в превосходных статьях Келлера (Keller, 1956, 1957).

Максимальный размер глинистых частиц по шкале Уэнтурта составляет $1/257$ мм или около 4 м. Однако недавние исследования показали, что частицы глинистых минералов обычно имеют размеры меньше 2 м, а частицы неглинистых минералов — больше этой величины. Следовательно, максимальный размер частиц глинистых минералов, по-видимому, равен 2 м. Вследствие чрезвычайной тонкозернистости глины имеют большую удельную поверхность, и, будучи диспергированными в воде, они приобретают, по существу, свойства коллоидов. Многие свойства глин, в частности пластичность, обусловлены коллоидными свойствами поверхностей глинистых частиц.

Глины отличаются от других осадочных пород своей тонкозернистостью, и поэтому их очень трудно изучать. Прежде чем перейти к описанию глинистых минералов, рассмотрим кратко методы исследования глин.

Методы исследования глин

Такие методы исследования песчаных и алевритовых пород, как ситовой анализ и изучение под бинокуляром, почти не дают никаких результатов в применении к глинам. Поэтому детальное изучение глин было начато только после разработки специальных методов исследования. В 1923 и 1924 гг. в Швеции и Германии впервые были произведены рентгеноструктурные анализы глин. Было обнаружено, что если порошок глины подвергнуть действию пучка рентгеновских лучей с волной определенной длины, то происходит определенное рассеивание этого пучка лучей. Кроме того, для каждого глинистого минерала получается характерная картина рассеивания, которую можно зафиксировать на пленке, используя ее для изучения и сравнения с другими пленками. В короткий срок рентгеноструктурный анализ стал и продолжает оставаться основным методом определения глинистых минералов (Brindley, 1951)¹. В 1925 г. геологи Геологической службы США показали, что изучение глин может быть дополнено тщательным исследованием их в шлифах под поляризационным микроскопом, которое сопровождается химическим анализом.

¹ Имеется русский перевод: Сб. «Рентгеновские методы определения и кристаллическое строение минералов глин», ИЛ, М., 1955.

Сравнительно недавно были разработаны и другие методы изучения глин. Один из них основывается на различной способности глин к адсорбции¹ некоторых красителей из растворов; другой — на их различной адсорбции² инфракрасных лучей. Для изучения глин применяются также дифференциальный термический анализ³ и электронный микроскоп⁴.

Литература по технологии и минералогии глин весьма обширна; она появилась в результате развития и применения только что упомянутых аналитических методов к изучению глинистых минералов исследователями, работающими в самых различных отраслях науки и техники. Глинистые материалы почв представляют интерес для почвоведов и строителей. Глинистые минералы и их свойства изучаются специалистами различных отраслей промышленности — керамической, бумажной, резиновой, нефтяной, огнеупорной и металлургической. Поведение глин в породах — коллекторах нефти — представляет интерес для горных инженеров. Кроме того, выше уже указывалось, какое большое значение имеют глинистые минералы вмещающих пород на рудных месторождениях. О том, что интерес к глинам неуклонно возрастает, можно судить уже по тому, что в 1952 г. было решено ежегодно проводить национальную конференцию по глинам и глинистым

¹ Адсорбция — это прилипание очень тонких слоев ионов или молекул газа либо жидкости к поверхностям твердых тел, с которыми они контактируют. Определение глин методом окрашивания (адсорбция красителей) описано Миеленцем и др. (Mielenz et al., 1951). В промышленности используются адсорбирующие глины, которые обладают способностью удалять красящие вещества из жидкостей, особенно из нефтей, жиров и восков (Nutting, 1943; Nagner, 1939).

² Абсорбция — общий термин, обозначающий ассимиляцию (поглощение) или насыщение. Абсорбция инфракрасных лучей порошкообразными глинистыми минералами описана Келлером и Пиккетом (Keller, Pickett, 1950). Кроме того, различные глины абсорбируют воду, масла и другие вещества.

³ По мере прокаливания глинистых минералов до 1000° или более они претерпевают физические и химические изменения, которые сопровождаются поглощением или выделением тепла. Эти изменения включают дегидратацию глинистых минералов, изменение их кристаллической структуры и образование новых высокотемпературных фаз. Результаты дифференциального термического анализа записываются в виде непрерывной кривой, причем каждый глинистый минерал имеет свою типичную кривую. Этот метод анализа глинистых минералов очень детально описан Маккензи (Mackenzie, 1957), а также Спейлем и др. (Spell et al., 1945).

⁴ Электронный микроскоп можно лишь грубо сравнить с оптическим микроскопом, так как в первом приборе используется пучок электронов вместо видимых световых лучей и магнитные катушки вместо оптических линз. На электронном микроскопе получают увеличение более 20 000 раз. Электронные фотографии глинистых минералов и ссылки на литературу приведены в книге Грима [Grim, 1953, стр. 106—125 (137—159)].

минералам. Статьи по отдельным вопросам, связанным с глинами, приведены в ежегодных выпусках трудов этой конференции (National Conference on Clays and Clay Minerals, Annual Proceedings), а также в периодических журналах минералогического, керамического и других обществ. В 1955 г. была опубликована статья Грима (Grim, 1955), представляющая собой сводку новейших данных по минералогии глин.

Глинистые минералы

По Гриму [Grim, 1953, стр. 18 (стр. 30)], глины «обычно состоят из исключительно малых кристаллических частиц одного или более минералов, принадлежащих к небольшой группе, известной под названием глинистых минералов». Хотя в куске глина едва ли напоминает кристаллическое вещество, тем не менее она кристаллична, что бесспорно доказывается данными рентгеноструктурного анализа и электронными фототрафиями глинистых минералов. Вероятно, все глинистые минералы, за немногими исключениями, имеют моноклинную и триклинную сингонию; форма минеральных частиц пластинчатая или щепковидная. Глинистые минералы состоят из сеток или слоев атомов, упакованных так же плотно, как яйца в яичной коробке. В основе строения атомных решеток большинства глинистых минералов лежат два структурных элемента. Один структурный элемент состоит из двух слоев плотноупакованных атомов кислорода или гидроксильных групп, между которыми расположены атомы алюминия, железа или магния. В случае присутствия алюминия уравнишенность в этом структурном элементе возникает, когда заняты лишь две трети всех возможных позиций, состав слоя тогда соответствует формуле $Al_2(OH)_6$ и его называют гиббситовым. При наличии магния заняты все позиции и уравнишенная структура имеет формулу $Mg_3(OH)_6$ (структура брусита). Второй структурный элемент состоит из атомов кремния, кислорода или гидроксильных групп и имеет общую формулу $Si_4O_6(OH)_4$. Этот структурный элемент называется сеткой кремнекислородных тетраэдров.

Минералы глин по структуре очень сходны со слюдами. Определение структур глинистых минералов вообще проводилось косвенными методами по аналогии с мусковитом, биотитом и вермикулитом. Выделено более дюжины глинистых минералов, отличающихся или по составу, или по кристаллической структуре. Они подразделяются на четыре главные группы: группу каолинита, группу монтмориллонита, группу иллита (гидрослюд) и группу хлоритов.

Группа каолинита

Среди нескольких минералов этой группы практическое значение имеет главным образом каолинит. Основа структуры каолинита — двуслойная кристаллическая решетка, состоящая из гиббситовой сетки и сетки кремнекислородных тетраэдров, бесконечно повторяющаяся параллельно плоскости, в которой лежат оси a и b . Каолинит не разбухает в смеси с водой, и в нем не наблюдается заметных изоморфных замещений алюминия атомами других металлов. Формула каолинита $(\text{OH})_6\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}$. На электронно-микроскопических фотографиях видно, что каолинит состоит из чешуйчатых частиц или идиоморфных уплощенных кристалликов с гексагональными очертаниями. Каолинит — обычный глинистый минерал, но не всегда преобладающий в глинах и сланцах. При гидротермальных процессах и выветривании алюмосиликатных пород или седиментогенезе иногда возникают скопления исключительно чистых белых каолиновых глин. Такие глины (каолины)¹ представляют собой высококачественное сырье, используемое для производства фарфора, бумаги и огнеупоров.

Другой минерал группы каолинита — галлуазит, как видно на электронно-микроскопических фотографиях, встречается в виде удлинённых трубчатых частиц. Возможно, они действительно представляют трубки, но имеются также данные о том, что эти трубки не что иное, как скрученные чешуйчатые частицы. Галлуазитовые глины используются иногда в качестве отбеливающих глин и катализаторов при крекинге нефти.

Группа монтмориллонита

Минералы монтмориллонитовой группы в противоположность каолиниту обычно встречаются в виде частиц неправильной и щепковидной формы. Минералы этой группы во многом отличаются от каолинита. 1. Основной структурный элемент этих минералов состоит не из двух, а из трех сеток, причем гиббситовая сетка заключена между двумя сетками кремнекислородных тетраэдров наподобие сэндвича. 2. Магний может замещать большую часть алюминия в гиббситовом слое. 3. Каждый трехслойный структурный элемент в направлении оси c слабо связан с соседними элементами молекулами воды, количество которых может резко изменяться. Вслед-

¹ Правильнее каолином называть только остаточные каолиновые глины, образовавшиеся на месте при выветривании, а переотложенные каолины — огнеупорными глинами или каолиновыми глинами. — *Прим. ред.*

ствие этого размеры структуры по оси *c* непостоянны и монтмориллонит, как говорят, имеет «разбухающую» кристаллическую решетку. 4. Кроме воды, между трехслойными пакетами могут присутствовать ионы кальция, натрия или калия; монтмориллонит имеет наибольшую емкость «ионного обмена» по сравнению со всеми остальными глинистыми минералами. Общая формула монтмориллонита $(\text{OH})_4\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Монтмориллонит не встречается в палеозойских глинах и сланцах, но он обычен в мезозойских и более молодых осадках. Монтмориллонит — главный компонент пластичных бентонитов и некоторых глинистых адсорбентов. Обе эти разновидности пород имеют практическое применение.

Группа иллита

Иллитами вообще называются слоноподобные глинистые минералы. Как видно под электронным микроскопом, иллит встречается в виде небольших четко ограниченных чешуек, собранных иногда в агрегаты различной формы. Основной структурный элемент иллита — трехслойный пакет, как и у монтмориллонита, но в отличие от последнего в иллите кремний в кремнекислородных тетраэдрах частично замещен алюминием, а в промежуточных (октаэдрических) слоях содержится много железа и магния. Эти трехслойные пакеты крепко связаны атомами калия, и поэтому решетка иллита неразбухающая. Общая формула иллита $(\text{OH})_4\text{K}_y(\text{Si}_8 - y \cdot \text{Al}_y)(\text{Al}_4\text{Fe}^{3+}\text{Fe}^{4+}\text{Mg})_{4-6}\text{O}_{20}$. Для иллита *y* колеблется от 1,0 до 1,5, тогда как для мусковита *y* равен 2,0, т. е. иллит содержит несколько меньше калия, чем мусковит.

Когда иллит теряет большую часть калия, заключенного между трехслойными пакетами, его место занимает вода и кристаллическая решетка может приобретать способность к разбуханию.

Группа хлорита

В структурном отношении хлориты сходны с иллитами, но в отличие от последних трехслойные пакеты хлоритов связаны сетками, состоящими из атомов магния и гидроксильных групп $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В глинах хлориты очень трудно обнаружить, и они не изучены так полно, как глинистые минералы других групп. Вполне вероятно, что хлориты — довольно обычные минералы глинистых пород.

Смешанно-слоистые минералы

Нельзя провести четкие границы между четырьмя рассмотренными группами глинистых минералов, так как повсеместно встречаются глинистые минералы, представляющие собой смешанно-слоистые сростки структурных элементов глинистых минералов различных групп. Хлориты сами по себе могут рассматриваться как смешанно-слоистые минералы со структурой, состоящей из правильно чередующихся биотитовых и бруситовых слоев (Grim, 1942, стр. 37). В других смешанно-слоистых минералах чередование пакетов или слоев неупорядоченное. Обычно встречаются смешанно-слоистые минералы, состоящие из отдельных структурных элементов иллита и монтмориллонитов и из пакетов монтмориллонита и хлорита (Grim, 1950, стр. 625). Такие минералы трудно диагностируются, но имеют большое значение, так как заметно влияют на свойства глин.

Аттапульгит

Некоторые глинистые минералы представлены кристаллами волокнистой формы. Один из таких минералов — аттапульгит — имеет большое практическое значение. Кристаллическая структура аттапульгита не слоистого типа, а «цепочечная» и подобна структурам амфибола и пироксена. Аттапульгит — водный магниевый силикат, главный компонент некоторых глин-адсорбентов.

Неглинистые минералы и органическое вещество

В глинах присутствуют многочисленные неглинистые минералы, или «примеси», количество которых колеблется от очень незначительного до 50%. Обычно в глинах имеется примесь кварца в виде зерен алевритового и меньшего размера и полевых шпатов, часто сильно измененных. Кроме этих минералов встречаются другие: тонкие чешуйки мусковита, обычно заметные невооруженным глазом из-за их совершенной спайности; тонкие включения и конкреции лимонита; кальцит, особенно в современных глинах, из которых он еще не успел выщелочиться; рассеянные зерна или гроздевидные скопления пирита около кусочков лигнита; конкреции гипса и пластинчатые кристаллы селенита; рассеянные зерна рутила микроскопического размера.

В некоторых редко возникающих условиях при выветривании из глинистых минералов удаляется весь кремнезем, и в их состав входит дополнительная вода, в результате чего образуются *гиббсит* ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) или *диаспор* ($Al_2O_3 \cdot H_2O$). В отличие от других неглинистых минералов гиббсит и диаспор не расматриваются как вредные примеси, так как они способствуют повышению огнеупорности глин и поэтому повышают их ценность как огнеупорного сырья (стр. 191).

Органическое вещество встречается в глинистых материалах в двух видах. Оно может присутствовать в виде обломков и кусочков деревьев, спор и других остатков растительности величиной от крупных кусков до частиц коллоидного размера и в виде органических молекул адсорбированных на частицах глинистых минералов. Органическое вещество, даже в небольших количествах рассеянное в глинах в виде частиц коллоидального размера, окрашивает их в темно-серые цвета.

Свойства глин, их применение и разновидности

Состав глинистых минералов является главным фактором, определяющим такие свойства глин, как их поведение при высоких температурах, адсорбционные свойства, коллоидные свойства и емкость ионного обмена. Здесь можно привести один пример того, как свойства зависят от состава глины. Известно, что при обжиге керамических изделий в печи каолиновые глины резко выделяют гидроксильную воду при определенной температуре, тогда как некоторые иллитовые глины дегидратируются постепенно в пределах довольно большого температурного интервала (Grim, 1955). Поэтому каолиновые глины можно обжигать, резко повышая температуру в интервале дегидратации, тогда как для иллитовых глин обжиг следует проводить гораздо более постепенно. Точное знание типа глин несомненно является залогом их успешного практического использования. Не менее важно для практических целей точно определить содержание и состав неглинистых минералов и органического вещества.

Иногда глина по некоторым показателям может быть очень похожа на другую, и все же они будут иметь резко различные свойства; поэтому большое значение имеет комплексный анализ глины. «Геологи и другие специалисты уже впадали в грубые дорогостоящие ошибки, так как они считали, что глинам свойственна относительная инертность, однородность материала, который можно было определить даже

при поверхностном изучении. Никакое другое мнение не могло бы находиться так далеко от истины» (Grim, 1950, стр. 472).

Применение глин в керамическом производстве

Около 75% общего тоннажа всех добываемых глин и глинистых сланцев используется в производстве керамических изделий. Эти изделия можно разделить на две главные группы. В первую группу входят гончарные и фарфоровые изделия, химический фарфор, санитарный фаянс, высококачественная кафельная плитка, электрофарфор и некоторые другие изделия, получаемые при обжиге керамической продукции в печах. Ко второй группе, именуемой обычно строительными глиняными материалами, относятся строительный кирпич, дорожная плитка, метлахская плитка, облицовочная плитка, канализационные трубы и т. д.

Потребовалось бы очень много места для классификации и оценки всех свойств глин, которые имеют значение в керамическом производстве; в этой книге можно лишь вкратце рассмотреть основные их свойства.

Влажным глинам можно придать любую форму, которую они будут сохранять (*пластичность*). То усилие, которому глина во влажном состоянии противостоит раздавливанию пальцами, характеризует *связность* глины. При высушении глина претерпевает *воздушную усадку* и приобретает *прочность в сухом виде*. Эти показатели различны у разных глин, и их следует тщательно измерять и контролировать. Для получения материалов с необходимыми свойствами часто смешивают разные глины.

При обжиге в печи изделие из глины постепенно теряет влагу, химически связанную воду, органическое вещество, серу и углекислый газ. По мере повышения температуры некоторые глинистые частицы начинают плавиться, первоначальная структура глины разрушается и частицы спекаются друг с другом. Из керамических свойств глин наибольшее значение имеют температура, при которой начинается спекание глинистых частиц (витрификация), и температурный интервал (*интервал спекания*) между точкой спекания и полным плавлением глины в вязкую массу. В производстве обыкновенного кирпича при температурах около 1000° спекание едва начинается и образуется только немного стекловатой массы, тогда как при производстве таких продуктов, как электрофарфор, при температуре около 1300° происходит почти полное спека-

ние. Наилучшими считаются глины с большим интервалом спекания, так как для них не требуется тщательного контроля температуры печи, как для глин с коротким интервалом спекания. При обжиге в печи изделия из глины претерпевают некоторую *огневую усадку*. Для обожженных изделий определяются их прочность, способность к адсорбции (водопоглощению и пр.) и степень белизны или цвет.

Керамические изделия, за исключением строительных глиняных материалов, изготавливаются из глин с высоким содержанием каолинита. Одна из разновидностей таких глин — белая глина, называемая *каолином*; это название произошло от китайского слова «каулинг», что означает Высокая Гряда — название горы, где издавна добывался каолин. В США некоторые каолиновые глины относятся к типу остаточных (собственно каолины), но главные месторождения этого сырья представлены месторождениями осадочных каолиновых глин, расположенными в прибрежной равнине в штатах Джорджия и Южная Каролина. (Каолиновые глины широко применяются не только в керамике, но и в других отраслях промышленности.)

Другая разновидность глин, имеющая практическое значение, — это *болклей* (комовые или пластичные глины) — светлоокрашенные и белые каолиновые глины, которые добываются главным образом в западных частях штатов Теннесси и Кентукки. Болклеями эти глины названы потому, что на глиняных карьерах в Англии их добывали в виде шароподобных комков. Болклеи — очень пластичные глины, используемые преимущественно в керамическом производстве. Беложгущиеся глины, фарфоровые глины и гончарные глины — все эти наименования применяют обычно к глинам, используемым в отдельных отраслях керамического производства.

Разумеется, никакое керамическое изделие не готовится только из одной глины, так как для получения требуемых свойств рабочей смеси (шликера) ее готовят из двух или более глин, характеризующихся различными свойствами, и других материалов. Например, в рабочую смесь для фарфора в качестве компонентов входят каолин, болклей, полевой шпат (или тальк или нефелиновый сиенит) и молотый кремнезем.

Для получения строительных глиняных материалов применяются некоторые разновидности обычных глин и глинистых сланцев, которые обозначаются в производстве как *строительные глины* (в американской практике — смешанные — *miscellaneous clays*), а также огнеупорные глины (файрклей или сухарные глины). Строительные глины состоят из каолинита и

иллита и обычно содержат много неглинистых минералов. В этих глинах желателен присутствие окислов железа, которые действуют как флюс, понижая температуру спекания. Поэтому большая часть кирпичных и черепичных глин в обожженном виде имеют красные или желтые цвета. Почти все разновидности пластичных железосодержащих глин и глинистых сланцев, имеющих достаточную связность и небольшую усадку, могут быть использованы в производстве строительных глиняных материалов.

Применение глин в производстве огнеупоров

Глины, используемые в производстве огнеупорного кирпича, глиняных тиглей и ковшов для расплавленного стекла, а также в качестве связующего материала в литейных песках, называются фэйрклеями (огнеупорными глинами). По своим свойствам эти глины близки к керамическим, но в отличие от последних они плавятся при больших температурах. Огнеупорность глин определяется с использованием методики пирометрического конуса или Р С Е¹ (пироскоп). Глины, для которых характерен пироскоп ниже № 19 (1515° при скорости нагревания 20° в час), считаются неогнеупорными. Какого-либо общепринятого промышленного стандартного разделения глин по огнеупорности не существует, но в общем к низкоогнеупорным относят глины, характеризующиеся пироскопами от № 19 до 28 (1515—1615°); глины средней огнеупорности определяются пироскопами до № 30 (1650°), высокой огнеупорности — пироскопами до № 32 (1700°) и сверхогне-

¹ Существует ряд стандартных конусообразных образцов (пироскопов), приготовленных из различных смесей глин и плавней. Они подобраны таким образом, что характеризуются определенными температурами размягчения, причем каждый пироскоп размягчается при температуре на несколько градусов выше той, при которой размягчается предыдущий пироскоп. Так как на глины влияет не только температура, но и скорость нагревания, то температура размягчения каждого пироскопа несколько изменяется в зависимости от скорости нагревания. При скорости нагревания 20° в час пироскопы от № 022 до 01 имеют температуры размягчения от 535 до 1110°, а пироскопы от № 1 до 35 — от 1125 до 1775°. Пироскопы помещают в печь и следят за ними во время обжига. Как только достигается температура размягчения, пироскоп изгибается и температура, при которой его вершина коснется поверхности подставки, принимается за огнеупорность смеси, входящей в состав пироскопа, и обозначается соответствующим номером. Огнеупорность глин определяется путем параллельного обжига пироскопов, изготовленных из испытуемых глин, и стандартных пироскопов с заранее известной огнеупорностью.

упорные глины характеризуются пироскопами до № 35 (1775°).

Многие огнеупорные глины очень пластичны, но в некоторых из них пластичность практически отсутствует. Непластичные огнеупорные глины известны как *флинтклеи* (сухарные глины), названные так из-за их плотной структуры и раковистого излома, похожего на излом кремней. Для использования сухарных глин в керамике они должны быть смешаны с пластичными глинами. Глины с промежуточной пластичностью называются полусухарными и полупластичными. В США особенно широко используются в качестве огнеупорного сырья так называемые подугольные глины (*underclays*), залегающие обычно ниже угольных пластов в отложениях пенсильванской системы на востоке центральной части страны. Главные минералы в этих глинах — каолинит и иллит. Кроме того, в огнеупорной промышленности также применяют некоторые каолины, а в качестве связующего материала в искусственных формовочных песках в больших количествах используются бентониты (глинистый минерал этих глин — монтмориллонит).

Некоторые сухарные глины содержат примесь диаспора, которая значительно увеличивает их огнеупорность. Однако запасы диаспорсодержащих глин в США истощаются, и поэтому в промышленности начали использовать гиббситовые породы и бокситы в качестве глиноземной добавки к огнеупорным глинам для получения высококачественных огнеупоров.

Применение глин в качестве наполнителей

Более половины тоннажа ежегодно добываемого каолина применяется в качестве наполнителя высококачественной бумаги. Это применение каолина обусловлено его мягкостью, химической инертностью, способностью абсорбировать чернила, легкой диспергируемостью в воде и природной белизной. Кроме того, каолин применяется в качестве наполнителя резины частично из-за некоторых перечисленных свойств, а также потому, что он придает резине большие прочность и упругость и имеет низкую стоимость. Кроме того, каолины и другие глины в небольших количествах применяются в качестве наполнителей и носителей, например, в линолеумах и красках. Применение и свойства каолина хорошо описаны в книге, выпущенной одной каолиновой компанией (Anonynous, 1955).

Применение глин в буровых растворах

Разновидность бентонитовых глин¹, в которых глинистый минерал представлен монтмориллонитом, богатым натрием, способна абсорбировать в больших количествах воду и очень сильно при этом разбухать. Около 70—90% частиц в таких глинах имеют размеры менее 0,5 м в диаметре и остаются во взвешенном состоянии в любом количестве воды. Получающаяся при этом коллоидная взвесь применяется в качестве циркулирующего раствора в буровых скважинах при бурении на нефть. Этот раствор смазывает бур, поднимает обломки разбуренных пород из забоя скважины наверх, «закрепляет» стенки скважины и сохраняет желатинообразное состояние, находясь длительное время без движения. Большая часть разбухающих бентонитов добывается на месторождениях, расположенных в восточной части штата Вайоминг и поблизости от этого района.

Неразбухающие глины из месторождений штатов Джорджия и Флорида, сложенные аттапульгитом, также применяются для буровых растворов, но в гораздо меньших количествах, чем разбухающий бентонит. Главное преимущество буровых растворов на аттапульгитовых глинах — их устойчивость против флокуляции даже при больших концентрациях солей.

Применение глин в качестве адсорбентов

Адсорбирующие глины обладают весьма полезным свойством — они удаляют окрашивающие вещества из нефтей, масел и восков. Это обесцвечивание («вышелачивание») происходит не в результате фильтрации. Оно заключается в процессе селективной адсорбции, наподобие того, как это имеет место в красильном производстве, где красящие вещества из-

¹ Бентониты — это глины, образованные путем девитрификации и других изменений вулканических туфов или пеплов. Промышленная терминология бентонитов приведена ниже. Курсивом выделены термины, используемые в настоящей книге.

Бентонит

I. *Разбухающий тип*; гелеобразующий тип, вайомингский тип; натриевый бентонит, «истинный» бентонит; «бентонит» по таблице Горного бюро США.

II. *Неразбухающий тип*; миссисипский тип; калиевый бентонит, кальциевый бентонит, «метабентонит»; некоторые *адсорбирующие глины* или *обесцвечивающие глины*.

A. Некоторые *природно активные глины*, или *фулеровы земли*.

B. Некоторые *глины, способные к активации* (в исходном виде), *активированные глины* (обработанные).

влекаются из раствора и прилипают к текстильным волокнам и уже не отмываются от них (Nutting, 1943, стр. 136). Подобным образом окрашивающие вещества нефти прилипают и удерживаются на поверхностях глинистых частиц, а потом не отмываются даже сильными растворителями. Точная природа этой реакции не ясна полностью; возможно, здесь имеют место химические и физические явления, связанные с молекулярной структурой глинистых минералов. Все эти вопросы рассмотрены Хагнером (Hagner, 1939, стр. 94—105).

Глины, которые обладают адсорбирующими свойствами в природном виде, называются *природно активными глинами* или *фулеровыми землями* (последний термин происходит из практики сукновального производства или очистки шерсти путем удаления загрязняющих веществ с волокон). Кроме того, существуют глины, неактивные в природном состоянии, но приобретающие сильные адсорбционные свойства после их обработки серной кислотой. Такие глины называются в исходном виде *способными к активации глинами*, а после их обработки — *активированными глинами*. Активация — это по существу процесс выщелачивания или частичного растворения, в результате которого происходят изменения в строении молекул глинистых минералов.

Адсорбирующие глины используются главным образом в нефтяной промышленности. Их применение основано на обезцвечивании и удалении смол из газолитина и кислых загрязняющих примесей из маслянистых нефтей, очистке парафина и других восковых веществ.

Многие адсорбирующие глины представляют собой неразбухающие бентониты. Однако во многих случаях термины «адсорбирующие глины» и «бентонит» не являются синонимами (Schroter, Campbell, 1942). Действительно, исследование адсорбирующих глин из месторождений юго-восточной части Береговой равнины, составляющих основную массу добываемого в США сырья этого типа, показало, что реликты пирокластического материала в них отсутствуют. Однако неизвестно, образовались ли эти глины путем полного изменения вулканического пепла или как-нибудь иначе.

Применение глин в цементной промышленности

Главные исходные материалы для производства цемента — это осадочные породы, содержащие известь, кремнезем и глинозем. Известь получают из известняков, но лишь немногие цементные известняки содержат требуемые количества других материалов. При использовании известняков, богатых

кальцием, следует добавлять кремнезем и глинозем, для чего широко используются глины и глинистые сланцы. Применение этих материалов рассмотрено более полно на стр. 237.

Применение глин в качестве легких заполнителей бетона

Некоторые богатые различными примесями глины и глинистые сланцы при быстром прокаливании до 1000—1300° увеличиваются в объеме («вспучиваются») и образуют ячеистую массу. В этом процессе увеличения объема имеют место одновременно два явления — выделение газов и плавление глинистых материалов в жидкую фазу, достаточно вязкую, чтобы удержать эти газы. Образующиеся газы представлены кислородом, двуокисью серы или углекислым газом, которые возникают при диссоциации неглинистых минералов и, следовательно, не связаны с глинистыми минералами. Жидкая фаза — это расплав, подобный тому, который получают при переплавлении в печи керамических глин. При резком охлаждении этого расплава образуется пористый шлакоподобный материал, который затем сортируется для получения легкого заполнителя бетона с объемным весом 60—110 фунт/куб. фут. Большая часть такого заполнителя используется в бетонных блоках. На применении глин и глинистых сланцев в качестве легких заполнителей бетона базируется крупноблочное строительство (Everhart, Ehlers, Richardson, 1958).

Поскольку в глинах и глинистых сланцах, используемых для этих целей, содержатся различные примеси, для керамического и огнеупорного производств именно из-за тех свойств, которые необходимы для вспучивания глины при прокаливании, они непригодны. Однако, прежде чем решить вопрос их использования, всегда необходимо тщательно исследовать глины и сланцы.

Прочие и потенциальные области применения глин

Если разновидности фулеровых земель аттапульгитового состава распылять на полу машинных цехов и фабрик, они будут впитывать масла и жиры и даже абсорбировать их с пола. Аттапульгит также находит новые применения в качестве добавок к различным смазочным веществам и в специально обработанной бумаге, с помощью которой можно производить многократное копирование без применения копировальной бумаги. Как фулеровы земли, так и каолины ши-

роко применяются в качестве инертных носителей для инсектицидов и фунгицидов. Разбухающие бентониты применяются при укреплении (гидроизоляции) дамб, резервуаров и ирригационных каналов и в некоторых типах цементной пасты для обработки нефтяных скважин. Некоторые глины, особенно активированные, используются при крекинге нефти. Предполагается также использовать монтмориллониты в качестве фиксатора (улавливателя) радиоактивных отходов. Некоторые типы глин имеют определенные свойства, обуславливающие самые разнообразные применения их в небольших количествах.

Высокоглиноземистые глины, особенно сухарные, диаспоровые и каолинитовые глины, — потенциальный источник металлического алюминия. Поскольку запасы бокситов в США истощаются и придется использовать импортное сырье в большем количестве, то несомненно, что глины будут разрабатываться и для получения алюминия. Во время второй мировой войны и после нее некоторые месторождения глин США уже разведывались в отношении запасов сырья для глинозема (Foose, 1944; Parker, 1946; Popoff, 1955; Sohn, 1952; Wimpler et al., 1947). Некоторые месторождения галлуазитовых глин озерного происхождения в окрестностях Москоу и Трой в штате Айдахо интенсивно разведывались алюминиевыми компаниями в 1958 г.

Классификация

Существующие классификации глин обычно основываются на их практическом применении или происхождении или одновременно на том и другом. Из семи классификаций, приведенных Райсом (Ries, 1927), две основаны на применении глин, три — на происхождении и две — на применении и происхождении глин. Эти промышленно-генетические классификации не очень хороши, так как в их основу положены две различные группы признаков, которые очень слабо связаны между собой.

Промышленные классификации глинистого сырья обычно основаны на их применении. Удобна, хотя и имеет несколько упрощенный характер, классификация глин Горного бюро США, в которой выделяется шесть их групп и которая применяется для статистических целей. Ниже приведена классификация глин, в которой выделены все ранее рассмотренные типы глин и их применение, причем значительная часть важных областей применения отмечается впервое:

Каолины	Наполнители, огнеупоры, керамика
Болклен (пластичные глины)	Керамика, огнеупоры
Огнеупорные глины	Огнеупоры, керамика
Бентониты	Буровые растворы, формовочные смеси (разбухающий тип); адсорбенты (неразбухающий тип)
Фулеровы земли	Адсорбенты и прочие применения
Строительные глины (в том числе глинистые сланцы)	Керамика, цемент, легкие заполнители

Пластичные глины, фулеровы земли, бентониты и каолины добываются сравнительно в небольших количествах в связи с их высокой себестоимостью. Огнеупорные глины по размерам добычи занимают промежуточное положение, а строительные глины и глинистые сланцы добываются в громадном количестве.

Классификация глин по видам их использования может быть упрощена, как это имеет место в номенклатуре Горного бюро США, или, наоборот, детализирована наподобие классификации Пармели (Parmelee, Schroger, 1921), в которой только керамические глины разделяются на 28 классов.

Наиболее целесообразная геологическая классификация глинистого сырья должна основываться на генетических признаках. В этой классификации выделяются три главные генетические группы глин. *Остаточные глины* возникают в результате выщелачивания глинистых известняков или образуются при химическом выветривании полевошпатовых пород. *Бентониты* образуются при выветривании и девитрификации вулканических туфов или пеплов. *Переотложенные глины* отлагаются в реках, озерах, болотах, лагунах и морях. Большинство переотложенных глин и глинистых сланцев имеют сложный генезис. Обычно они возникают за счет переотложения остаточных глин или бентонитов. Глинистые породы *волового* (некоторые лёссы) и *флювиогляциального* (валунные глины) происхождения не имеют большого практического значения. Ниже кратко рассматриваются главные генетические типы глин и описываются более или менее представительные месторождения отдельных разновидностей глин:

Остаточные глины

Большинство остаточных глин образуется либо в виде остаточного продукта после выщелачивания глинистых известняков или доломитов, либо при выветривании таких полевошпатовых пород, как граниты и пегматиты. Месторождения глин, образовавшиеся первым путем, широко распространены во влажных районах, в местах, где на поверхность выходят карбонатные породы; они имеют небольшое практическое значение, главным образом в связи с присутствием в них таких вредных примесей, как окислы железа, песок и кремни. Кроме того, эти глины обычно залегают на очень неровной поверхности с характерными выпуклыми формами, расщелинами и глубокими карманами, и поэтому их трудно добывать. Гнездообразные залежи низкокачественных остаточных глин, образовавшихся при растворении кембрийских и ордовикских доломитов в центральной части штата Алабама, описаны Брамлетом и Мак-Вейем (Lang et al., 1940).

Месторождения остаточных каолинов в районе Спрус-Пайн в штате Северная Каролина

Месторождения глин, образовавшихся при выветривании полевошпатовых пород, встречаются редко, и только немногие месторождения, представленные высококачественными каолинами, имеют промышленное значение. Месторождения каолинов этого типа расположены вблизи Спрус-Пайн в горах Блу-Маунтинс на западе центральной части штата Северная Каролина (Sand, 1956; Parker, 1946). В этом районе также добываются полевой шпат и слюда, о чем говорится на стр. 352 и 366.

Месторождения каолина в этом районе возникли при химическом выветривании небольших неправильных штоков гранитных пород — аляскитов, внедрившихся в докембрийские гнейсы и кристаллические сланцы. Эти штоки имеют размеры в поперечнике от немногих сотен ярдов до 1—2 миль. Аляскиты — крупнокристаллические и очень однородные по составу породы. Они состоят из олигоклаза (50%), микроклина (25%), кварца (25%) и небольшого количества мусковита. Железомагnezиальные минералы, за исключением незначительной примеси биотита, в этих породах отсутствуют.

Месторождения каолина расположены в пониженных участках слабо поднятой и размытой поверхности вдоль рек Норт-Тое и Саут-Тое, притоков реки Теннесси, текущих в северо-западном направлении. Образование каолина

происходило после формирования эрозионной поверхности, вероятно, в третичное время (Sand, 1956). В некоторых частях этого района, особенно вдоль приподнятых речных террас, каолины встречаются на глубине до 100 футов, но большая часть разрабатываемых залежей каолина расположена на глубине менее 50 футов. Каолины сложены каолинитом и родственным ему минералом — галлуазитом с примесью частично разложенного полевого шпата, неизмененного кварца и мусковита. Включения сланцев и гнейсов, встречающиеся в материнских аляскитах и сохраняющиеся в залежах каолинов, представляют собой пустые породы.

Вскрыша на месторождениях имеет мощность от 1 до 10 футов. Она представлена речными отложениями или остаточной почвой. Вскрыша удаляется драглайнами или экскаваторами. Каолин разрабатывается экскаваторами и доставляется на фабрики на самосвалах или ленточным конвейером. Некоторые месторождения разрабатываются при помощи гидромониторов; глинисто-водная взвесь («шликер») поднимается ковшовым элеватором в желоба, по которым она переправляется на обогатительную фабрику. Крупные включения пустых пород избегают при разработке, а мелкие включения извлекаются вместе с вскрышей.

Каолиновое сырье обогащается по довольно сложной схеме, включающей дробление, отмучивание, просеивание, отстаивание и флотацию. Важным побочным продуктом обогащения является тонкозернистая слюда. Каолин используется главным образом в качестве фарфоровой глины. Рассматриваемые месторождения представляют собой потенциальные источники алюминия, так как в отмученном каолине содержится в среднем 37% и более глинозема и менее 1% окислов железа. Паркер (Parker, 1946) сообщил, что запасы каолина в этом районе составляют 3—7 млн. т.

Глины, образовавшиеся при изменении пирокластических пород

О пирокластическом характере пород, за счет которых образовались бентониты, можно судить по наличию в этих глинах более или менее измененных характерных осколков стекла (shard). Сравнение химических составов этих глин и исходных пород показывает, что при образовании глин кремнезем и щелочи частично удалены из исходных пород, а вода добавлена. Для бентонитов также характерно широкое горизонтальное распространение отдельных пластов, как это наблюдалось бы в случае выпадения вулканического пепла. Поле-

вые наблюдения позволяют предполагать, что в этом случае в мелководные озера или моря выпадал в изобилии вулканический пепел. Пепловые частицы, переносившиеся по воздуху вместе с вулканическими газами, вероятно, подвергались действию этих газов, и пепел таким образом подготавливался для быстрого разложения при попадании его в воду. В некоторых месторождениях бентониты содержат много «песка», и они, видимо, лишь частично образовались за счет вулканического материала. Вулканический пепел, вероятно, выпадал сначала на сушу, откуда он потом сносился в близлежащие водоемы совместно с некоторыми количествами терригенного материала. Практическую ценность имеют только месторождения меловых и третичных бентонитов, хотя известны месторождения бентонитов более древнего возраста, в частности ордовикских. Главные месторождения этого полезного ископаемого расположены в западной части США на территории от штата Дакота до штата Нью-Мексико и далее к западу до штата Калифорния, а также в юго-восточной части США в пределах Береговой равнины. Неразбухающие или адсорбирующие бентониты более распространены, чем разбухающие бентониты.

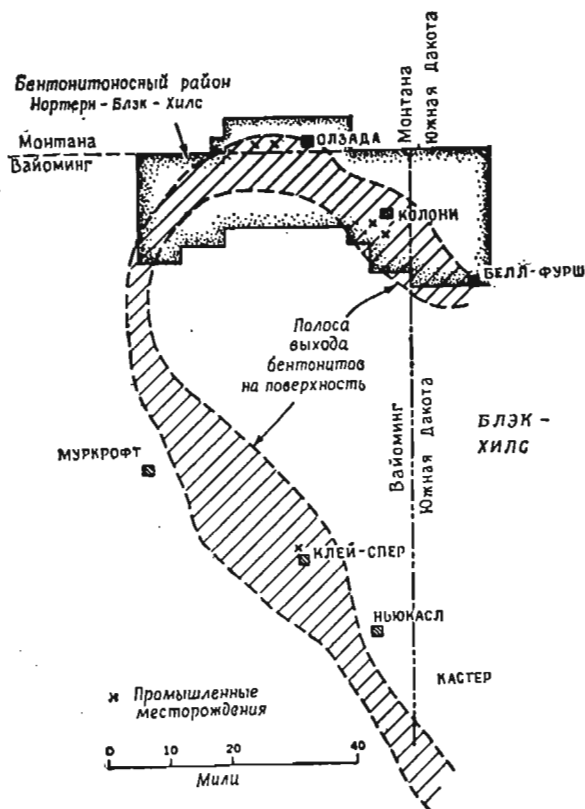
Месторождения бентонита в районе северной части Блэк-Хилс

Большая часть разбухающих бентонитов добывается на двух месторождениях, расположенных на склонах поднятия Блэк-Хилс. Одно из них находится на юго-западной стороне этого поднятия между городами Ньюкасл и Муркрофт в северо-восточной части штата Вайоминг. Другое более крупное месторождение располагается на северном крыле этого поднятия, к северо-западу от Белл-Фурша, в штате Южная Дакота (фиг. 5.6). В плане бентонитовая толща занимает около 980 кв. миль и встречается как на равнине, так и в нижних частях склонов гор в северо-восточной части штата Вайоминг, юго-восточной части штата Монтана и западной части штата Южная Дакота.

В структурном отношении северная часть района Блэк-Хилс представляет собой широкое антиклинальное поднятие, погружающееся в север-северо-западном направлении. Многочисленные второстепенные антиклинали и синклинали вытянуты примерно параллельно главной структуре, и благодаря этой складчатости бентонитовые пласты многократно выходят на поверхность. На крупномасштабной карте этого района, приведенной Кнехтелом и Паттерсоном (Knechtel, Patterson,

1956), хорошо видны мелкие структурные особенности и большая неравномерность обнажений бентонитовых пластов, обусловленная размывом.

В глинистых сланцах формации Маури (самые верхи нижнего мела) и перекрывающей ее формации Белл-Фурш (ба-



Фиг. 5.6. Схема распространения бентонитосодержащих отложений в северо-восточной части штата Вайоминг и соседних районах и месторождения бентонитов северного Блэк-Хилс. По Уилльямсу и др. (Williams et al., 1954, Proc. 2nd Nat. Conf. on clays and clay Minerals, 142), а также Кнехтелу и Паттерсону (Knechtel, Patterson, 1956, U. S. Geol. Survey Map, MF, 36).

зальный горизонт верхнего мела) присутствует 15 или 20 бентонитовых пластов, главным образом в первой толще. Сланцы формации Маури — это темные, прочные кремнеземистые породы, расщепляющиеся на тонкие пластинки; сланцы Белл-

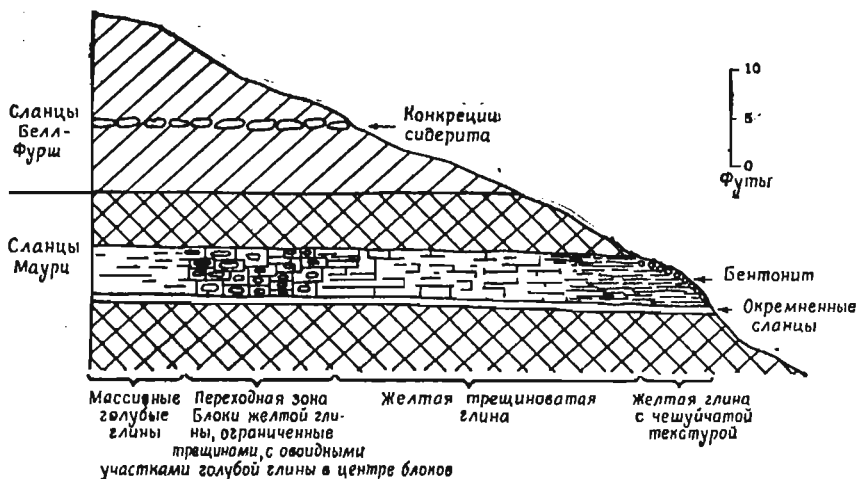
Фурш также темного цвета, но мягкие, содержат примесь известковистого материала и железисто-карбонатные конкреции. Эти две формации составляют часть группы Бентон (получившей свое название от Форт-Бентон в штате Монтана), а название бентонит произошло от этого стратиграфического термина.

Мощность бентонитовых пластов колеблется от $\frac{1}{2}$ дюйма до 8 футов и более; пять пластов имеют среднюю мощность по меньшей мере 3 фута. Сланцы, вмещающие бентониты, неустойчивы к эрозии, и поэтому они обычно перекрываются третичными и четвертичными галечниками и песками или почвой и растительным покровом. В участках, расположенных непосредственно ниже каждого пласта бентонита, сланцы имеют повышенную прочность и содержат больше кремнезема, чем обычно, вследствие обогащения их кремнеземом из водных растворов, которые просачивались вниз во время превращения вулканического пепла в бентонит. Вследствие этого, а также в связи с тем, что бентонит несколько более устойчив к эрозии, чем вмещающие сланцы, пласты бентонита на склонах холмов обычно выделяются в виде низких округлых выступов.

Монтмориллонит — главный, и вероятно единственный, глинистый минерал бентонитов. Обычно встречающиеся примеси большей частью представлены слюдой, полевым шпатом, кварцем, гипсом, растворимыми солями и осколками вулканического стекла. Свежие бентониты — это или плотная восковидная глина с ровным изломом, или слабо сцементированный зернистый материал, похожий на крупчатку (cornmeal). В основном бентониты имеют сероватую или желтовато-кремовую окраску. Во время дождливой погоды бентонит насыщается водой, разбухает и образует желатинообразную массу. При высыхании он уменьшается в объеме, растрескивается и в нем образуются характерные однородные узоры из угловатых обломков глины.

На месторождениях разрабатывается главным образом пласт бентонита Клей-Спер или «промышленный пласт», залегающий почти в самой верхней части формации сланцев Маури. Этот пласт встречается во всех разрезах; его мощность колеблется от немногих дюймов до 7 футов, составляя в среднем 2—4 фута. Бентониты пласта Клей-Спер содержат незначительную примесь неглинистых минералов и обладают хорошей способностью к разбуханию и образованию коллоидных взвесей. Этот пласт резко контактирует с нижележащими темными кремнистыми породами мощностью 2—8 дюймов, которые вниз постепенно переходят в типичные кремнеземистые сланцы формации Маури. Бентониты Клей-Спер в нижней части пласта в тех участках, где пласт имеет наибольшую мощность, предста-

влены светлоокрашенными глинами мощностью 2,5—4 фута, выше которых залегают темно-серые глины мощностью около 1 фута. Последние постепенно сменяются вверх темными кремнеземистыми сланцами типа сланцев формации Маури мощностью до 6 футов, которые, как считают, венчают эту формацию. В тех участках, где мощность бентонитового пласта Клей-Спер невелика, он перекрывается непосредственно мягкими мергелистыми сланцами формации Белл-Фурш. Следовательно, в этих местах формацию сланцев Маури венчает пласт бентонитов.



Фиг. 5.7. Схематический разрез через бентонитовый пласт Клей-Спер и ассоциирующие отложения в северной части района Блэк-Хилс. Желтые глины более пластичны, чем массивные голубые глины, залегающие под мощной вскрышей. Заимствовано у Уильямса и др. (Williams et al., 1954, Proc. 2nd Nat. Conf. on clays and clay Minerals, 149).

Уильямс и др. (Williams et al., 1954) показали, что многие свойства бентонитов пласта Клей-Спер зависят от мощности покрова. В тех местах, где мощность вскрыши составляет более 25 или 30 футов, свежие бентониты обладают синеватым оттенком, что обусловлено присутствием закисного железа, слабо разбухают и имеют плохо выраженные коллоидальные свойства. В направлении к непосредственному выходу на поверхность эти бентониты сменяются высококачественными желтоватыми бентонитами (фиг. 5.7). Однако это изменение свойств бентонитов, по-видимому, обусловлено не присутствием железа в закисной или окисной форме, а увеличением в направлении к поверхности отношения количеств обменных катионов натрия и кальция в бентонитах.

Бентонитовый пласт Клей-Спер прослеживается не только в районе Блэк-Хилс, но также далее к югу в районе Ньюкасл — Муркрофт и в районе Хардин, в южной части штата Монтана, примерно в 150 милях северо-восточнее района Блэк-Хилс, где имеются крупнейшие запасы бентонитового сырья (Knechtel, Patterson, 1956). Формации сланцев Маури и Белл-Фурш явно морского происхождения, что подтверждается находками в них ископаемых организмов и стратиграфическими данными. Предполагается, что слои вулканического пепла, из которого образовались бентониты Клей-Спер и др., также отлагались в морской среде.

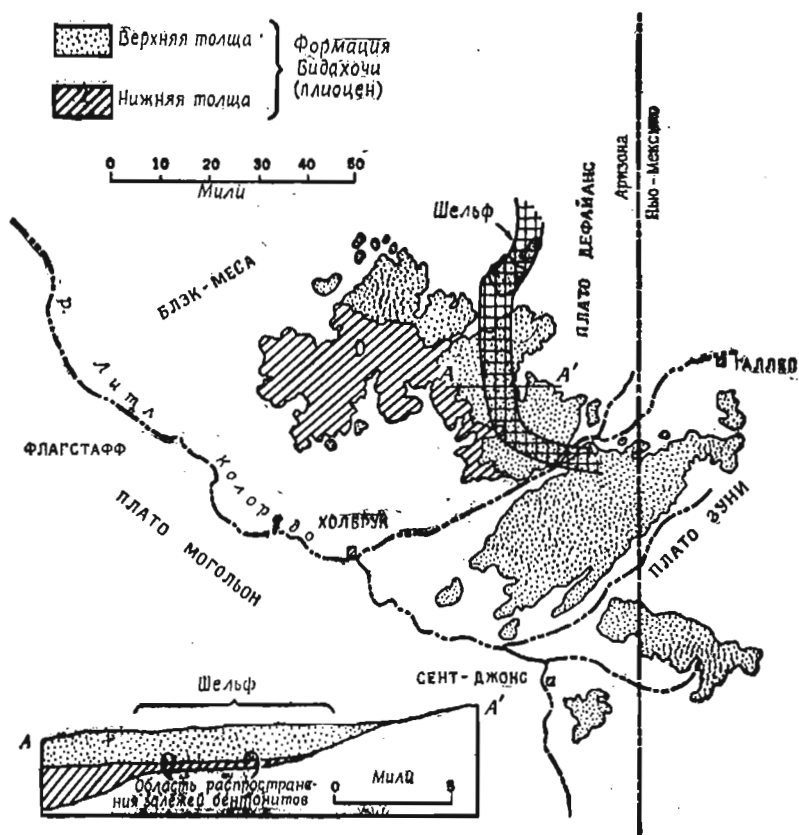
Добыча бентонитов может производиться только в сухую погоду. Бентониты разрабатываются путем обычных открытых горных работ. Максимальный коэффициент вскрыши в 1956 г. составлял 4 (4 фута вскрыши к 1 футу мощности бентонита). Добытые бентониты из карьера транспортируются по узкоколейной дороге или в крупных самосвалах на перерабатывающую фабрику. В течение лета добывается до 225 тыс. т сырья. Переработка заключается в сушке сырья, дроблении и помоле до необходимых размеров. Готовый продукт отгружается в бумажных мешках и используется для буровых растворов или как связующий компонент в литейных песках.

Месторождения бентонитов Сандерс — Дефайанс в штате Аризона

Важный источник бентонитов, способных к активации, находится в северо-восточной части штата Аризона на юго-западном крыле плато Дефайанс (Kiersch, Keller, 1955). Месторождения расположены вблизи города Сандерс, находящегося на пересечении автострады 66 и железной дороги Санта-Фе примерно на полпути между Холбруком, штат Аризона, и Галлепом, штат Нью-Мексико. Район месторождений дренируется рекой Рио-Пуэрко (притоком реки Литл-Колорадо), текущей в западном направлении.

Залежи бентонита приурочены к формации Бидахочи (плиоцен) континентального происхождения, которая несогласно перекрывает формацию Чайнл (триас) и другие более древние формации. Формация Бидахочи имеет ограниченное распространение, приурочиваясь к району истоков реки Литл-Колорадо (фиг. 5.8). Эта формация состоит из трех толщ. Нижняя толща представлена главным образом озерными отложениями — аргиллитами и мелкозернистыми глинистыми песчаниками, которые занимают пониженные участки в рельефе. Средняя, или вулканогенная, толща состоит из базальтовых

пород мощностью до 100 футов в западной части района, выделяющихся на поверхности в виде гряд или уступов, и латитового вулканического пепла, измененного в бентонит в



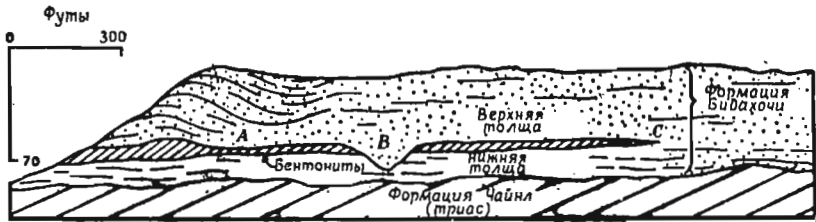
Фиг. 5.8. Распространение формации Бидахочи (плиоцен) в северо-восточной части штата Аризона. Залежи бентонита приурочены к полосе шельфа между плато Дефайанс и главным бассейном осадконакопления. Заимствовано у Кирша и Келлера (Kiersch, Keller, 1955, Econ. Geology, 50, 475).

восточной части района. Верхняя толща сложена главным образом речными песчаниками, светлоокрашенными, косослоистыми, средне- и мелкозернистыми, глинистыми. Породы этой толщи образуют на склонах ступенчатые формы.

Осадки формации, вероятно, отложились в реках, текущих в юго-западном направлении, которые дренировали плато Де-

файанс и горы Часка, расположенные далее к северу. Плато Зуни на востоке и плато Могольон на западе также возможно поставляли материал в бассейн осадконакопления Бидахочи.

В результате ларамийской складчатости образовался очень пологий шельфовый склон шириной около 5 миль, ограниченный с восточной стороны плато Дефайанс, а с западной — бассейном Бидахочи. Нижняя толща формации Бидахочи накапливалась главным образом в глубоководном бассейне и



Фиг. 5.9. Схематический разрез в районе структурного шельфа, показанного на фиг. 5.8. Уменьшение мощности пласта бентонита у А вызвано сползанием перекрывающих пород в направлении глубокого каньона влево; В — отмечена эрозионная выемка; С — отмечена выемка, выполненная осадками. По данным Кирша и Келлера (Kiersch, Keller, 1955, *Econ. Geology*, 50, 480).

частично в области шельфа. Затем в области шельфа произошел внутриформационный размыв, что привело к образованию речных русел и углублений. Материнский пепловый материал бентонитов выпадал на эту неровную поверхность и частично сносился в карманы и углубления. Эти залежи бентонита перекрываются верхней песчанниковой толщей формации Бидахочи.

Залежи высококачественных глин обычно имеют мощность в среднем 3—5 футов, а буровой скважиной была подсечена 9-футовая толща бентонитов. Залежи глин частично размывы в результате более поздней эрозии, а в настоящее время расчленены каньонами. Некоторые особенности строения этих месторождений можно видеть на фиг. 5.9.

Адсорбирующие глины этих месторождений имеют белую, розовую и темно-серую окраску. В некоторых русловых отложениях они явно косослойные, а в линзовидных залежах имеют массивное сложение. Для глины характерен грубый раковистый излом. Основной глинистый минерал этих бентонитов — кальциевый монтмориллонит. Во всех залежах бентонитов встречается немного прослоев песка и алевролита, но в промышленных залежах они составляют менее 4%. Отмечаются постепенные переходы от гомогенных чистых монтмо-

риллонитовых глин до песчаниковидных мучнистых глинистых туфов. По мнению Кирша и Келлера (Kiersch, Keller, 1955), материнским материалом бентонитов был однородный существенно стекловатый туф, а его девитрификация и гидролиз с образованием глины происходили в пресноводных бассейнах.

Добыча глин производится в открытых карьерах после удаления вскрыши. Эти бентониты представляют собой высокосорбционные адсорбирующие глины, которые после активации применяются в качестве катализаторов при очистке нефти и адсорбентов. Используются они в районе Лос-Анжелоса и в долине Миссисипи.

Переотложенные глины из поверхностных наносов

Среди глин, связанных с поверхностными наносами, практический интерес представляют главным образом глины речного и ледниково-озерного происхождения. Во всех районах США разрабатываются многочисленные месторождения таких глин, однако сырье этого типа составляет лишь небольшую часть всех используемых глин. Поскольку эти глины практически всегда представляют собой широко распространенные или строительные разновидности, стоимость их относительно невелика. Близость месторождения к потребителю имеет большее значение, чем качество глины. Аллювиальные отложения, главным образом самые верхние горизонты в поймах реки Лос-Анжелос и других рек округа Лос-Анжелос, служат источником глин, из которых в большом количестве производятся кирпичи и черепица в штате Калифорния (Апопугос, 1953). Эти глины содержат примесь песка, органического вещества и других неглинистых материалов. Такие примеси не всегда нежелательны, так как они уменьшают усадку и понижают температуру обжига, хотя увеличение содержания песка вниз по разрезу приводит к тому, что залежи глин становятся нерентабельными. Вредные примеси представлены крупными обломками известняка и различными растворимыми сульфатами. Сульфаты обычно выкристаллизовываются на поверхности изделий во время сушки или обжига. Чтобы избежать этого явления, на некоторых заводах в сырье добавляют в небольшом количестве карбонат бария для образования нерастворимых сульфатов, которые остаются внутри кирпичей.

Типичные ледниково-озерные глины присутствуют в отложениях высохшего озера Олбани в долине Гудзон, штат Нью-Йорк (Brownell, Broughton, Peterson, 1951). Это месторождение представлено мощной хорошо слоистой толщей глин, ча-

стично ленточных, которые в настоящее время обнажаются в террасах на высоте от 50 до 250 футов над урезом реки. Обычно толща глин имеет мощность около 50 футов; она сложена голубыми пластичными глинами, переслаивающимися с суглинками. Эти глины залегают на глинистых сланцах формации Норманскилл (ордовик). Глины находят разнообразные применения, но они используются главным образом для производства кирпича. На 12 заводах в долине Гудзона в 1951 г. изготовили 500 млн. кирпичей. (Эта цифра кажется большой, однако она составляет лишь половину мощности 54 заводов, действовавших здесь в 1928 г., и мощности 131 завода, функционировавшего в 1906 г.) Кроме того, глины этого месторождения в больших количествах используются на пяти заводах портланд-цемента, расположенных в районе долины Гудзона.

Переотложенные глины. Болотные глины

Введение

Ежегодно добывается громадное количество глин, отложившихся в древних болотах, главным образом на месторождениях подугольных глин пенсильванского возраста в центральной и восточной частях США. Глины же современных болот имеют незначительное практическое значение. Подугольные глины названы так потому, что они обычно залегают непосредственно под угольными пластами. Пласты этих глин являются составными частями типичных циклов пенсильванских отложений, которые рассматриваются в общих работах по седиментологии и стратиграфии.

Подугольные глины, имеющие практическое значение, встречаются главным образом в нижней части толщи пенсильванских отложений — в сериях Потсвилл и Аллегейни. Мощность некоторых пластов глин превышает 12—15 футов, а у большей части разрабатываемых пластов составляет в среднем 3—10 футов. Отдельные пласты по простиранию значительно изменяются в мощности или фациально сменяются известковистыми глинами и даже мергелистыми известняками. Подугольные глины вниз по разрезу обычно постепенно сменяются песчаниками — базальным горизонтом циклотемы. Некоторые пласты глин разрабатываются отдельно, в то время как другие параллельно с перекрывающим пластом угля. Мощность вскрыши определяет целесообразность применения открытой или подземной разработки.

Подугольные глины представлены пластичными, полупластичными, полусухарными и сухарными разновидностями. Пла-

стичные глины мягкие и влажные, в обнажении они разрушаются и образуют пологие формы в рельефе склонов. Сухарные глины более плотные и не выделяются в виде грядок или ступенек на склонах, в связи с тем, что они встречаются в более мягких пластичных глинах в виде линз и включений, увлекаемых в оползни мягким материалом. Подугольные глины обычно описываются как «массивные» или «бесструктурные», и хотя эти термины недостаточно верно отражают истинное строение глин, они все же указывают на отсутствие плитчатости. Как пластичные, так и сухарные глины имеют землистый или глыбовый излом; у плотных сухарных глин появляется раковистый излом. В пластичных глинах обычно встречаются зеркала скольжения, покрытые тонкой пленкой органического вещества. Зеркала скольжения, возможно, образовались в результате дифференциальных подвижек в глинах после выщелачивания включенного в глины органического вещества.

Подугольные глины сложены преимущественно каолином, иллитом и смешанно-слоистым глинистым минералом — иллит-монтмориллонитом (Schultz, 1958). Многие подугольные глины обладают хорошей огнеупорностью и являются первосортным огнеупорным сырьем. Однако это вовсе не означает, что термины «подугольная глина» и «огнеупорная глина» — синонимы, так как многие огнеупорные глины не являются подугольными, а многие подугольные глины не обязательно будут огнеупорными. Действительно, подугольные глины большей частью используются для производства строительных глиняных материалов, особенно кирпичей и черепицы. В меньшей мере эти глины применяются в качестве цементного сырья.

Неглинистые вещества в подугольных глинах представлены преимущественно кварцем и слюдой. Кроме того, встречается диаспор, которого довольно много на месторождениях в штатах Пенсильвания и Миссури. Примесь диаспора значительно повышает огнеупорность глин.

Генезис

Происхождение подугольных глин не совсем ясно. В 1941 г. Гривс-Уокер (Greaves-Walker, 1939, стр. 14—24) привел 11 гипотез происхождения подугольных глин, различающихся в некоторых деталях между собой. Многие исследователи, начиная с Уортена в 1866 г., были уверены в том, что подугольные глины представляют собой почвы, на которых произрастали углеобразующие растения и в большей или меньшей степени преобразованные в процессе развития этой раститель-

ности, а также частичного разложения растительных остатков. Однако некоторые полевые данные свидетельствуют о том, что эта гипотеза неприемлема. В подугольных глинах отсутствует зональность, наблюдающаяся у современных почв. Кроме того, очень часто под тонкими пластами угля (а не под мощными) залегают более мощные толщи глин и даже лучшего качества, а сухарные разновидности глин с большим содержанием глинозема могут залежать ниже пластичных глин, которые, несомненно, менее изменены, чем сухарные глины.

Возможно, что подугольные глины отложились, по существу, в том же виде, в каком они встречаются сейчас, и что они подверглись лишь небольшим изменениям после отложения. Гривс-Уокер (Greaves-Walker, 1939) предположил, что глинистый материал был привнесен в виде «почвенных коллоидов» очень медленными потоками, дренировавшими сильно выветрелые породы. Материал крупнее коллоидных размеров отфильтровывался широкой каймой болотной растительности, через которую медленно просачивались потоки. Глинистые коллоидные вещества подвергались некоторой переработке во время транспортировки и после отложения, так как речные и болотные воды содержали углекислый газ и органические кислоты. Постепенно болота зарастали с краев и образовывался слой торфяника, позднее уплотнившийся в пласты каменных углей, которые залегают поверх пластов глин.

Мак-Миллан (McMillan, 1956, стр. 236—243) предложил несколько иную гипотезу происхождения подугольных глин Нодавей (пенсильванская система) в штате Канзас, а именно что эти глины являются ископаемым или захороненным «глем». Глей — это клейкая, пластичная коллоидальная глина, встречающаяся под торфяниками в современных трясиных, озерах и пресноводных болотах. Так как глей встречается только под торфяниками независимо от того, образовался ли торфяник на месте или был привнесен извне, разложение растительного покрова должно обязательно влиять на образование глин. Мак-Миллан предполагает, что подугольные глины образовались аналогично современным глеям. Он считает, что после накопления торфяника органические вещества диффундировали вниз в первоначальные илистые осадки или даже в глинистые сланцы и в анаэробных условиях в насыщенной водой среде превратили их в глины. (Если бы гипотеза Мак-Миллана была применима ко всем подугольным глинам, то эти глины следовало бы исключить из группы «переотложенных глин» и включить их в группу «глин, образовавшихся при изменении пород» наряду с бентонитами.) Мак-Миллан ссылается на работу немецкого геолога Мора, который обнару-

жил, что если торфяная почва в тропиках почти постоянно находится под водой, то гуминовые кислоты вызывают «подводное выветривание» пород, которое приводит к образованию бледно-серых или голубовато-серых почв, сложенных почти нацело каолинитом и кремнекислотой.

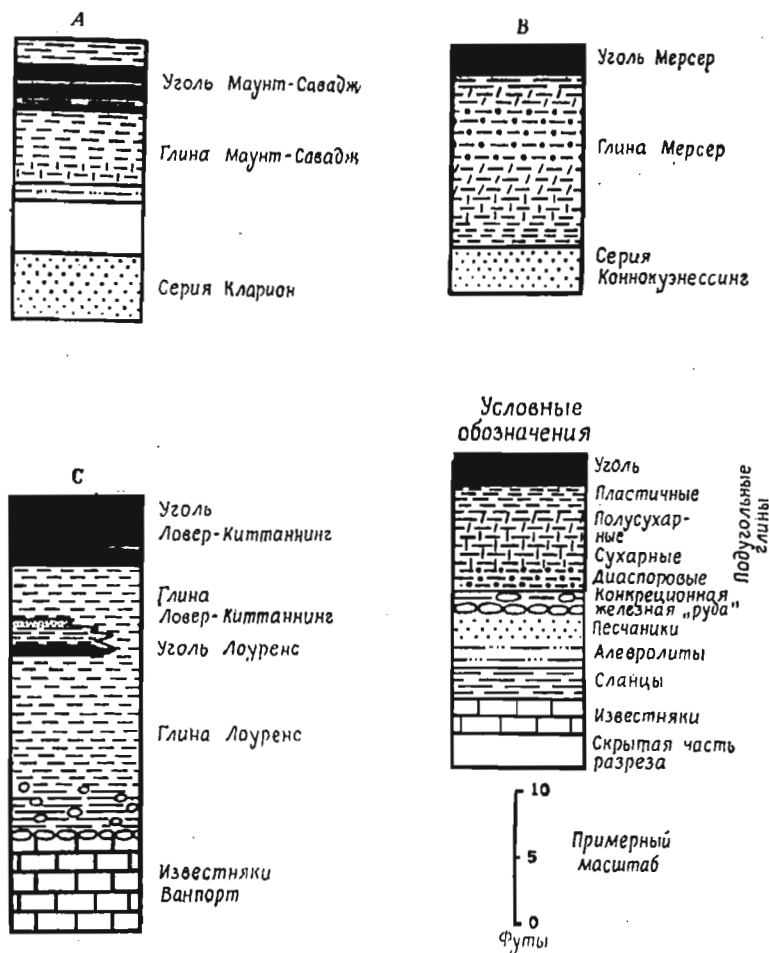
Каждую из предложенных гипотез происхождения подугольных глин можно опровергнуть с помощью тех или иных фактов. Поскольку исследователь, несомненно, отдает себе в этом полный отчет, в таких случаях нельзя отделаться однозначным объяснением того или иного факта, а следует привести несколько, по меньшей мере более одной, гипотез. Все эти рассуждения, однако, не дают исчерпывающего ответа на главный вопрос о генезисе подугольных глин, который все еще остается неясным.

Выборочное описание месторождений

Сухарные глины встречаются в глинистой толще Маунт-Савадж (серия Аллегейни) в двух угольных бассейнах в западной части штата Мэриленд (Waagé, 1950). Часть опорного разреза бассейна Каслеман приведена на фиг. 5.10. Сухарные глины этого месторождения темно-бурые, цвета красного дерева, мощностью в среднем около 3 футов. В качестве примеси сухарные глины содержат алеврит, причем в ассоциирующих пластичных глинах его так много, что они являются непромышленными. Кроме того, в глинах встречаются прослой железистых конкреций, но их легко удалить при добыче. В штате Мэриленд имеется несколько месторождений глин, но крупнейшее из них месторождение Маунт-Савадж. На этом месторождении разрабатывается открытым способом 3-футовый пласт глины при мощности вскрыши до 40 футов.

Другим важным источником огнеупорных глин являются глины формации Мерсер (серия Потсвилл), месторождения которых расположены на севере центральной части штата Пенсильвания (Foose, 1944). Эти глины отличаются от других глин восточных месторождений тем, что в средней части пласта они содержат примесь диаспора (фиг. 5.10). Диаспор встречается в виде оолитов в почти нацело каолинитовой сухарной глине; каолинит также частично образует оолиты. Эти глины почти не содержат зерен кварца и слюды; вероятно, они были отложены в форме очень тонкого коллоидного материала таким же образом, как это объясняет гипотеза Гривс-Уокера (Greaves-Walker, 1939, стр. 37). Оолитовая форма выделений диаспора и каолинита, видимо, указывает на коагуляцию коллоидных гелей соответствующего состава.

Штат Огайо стоит на первом месте по производству изделий из огнеупорных и строительных глин. В этом штате все



Фиг. 5.10. Пенсильванские подугольные глины.

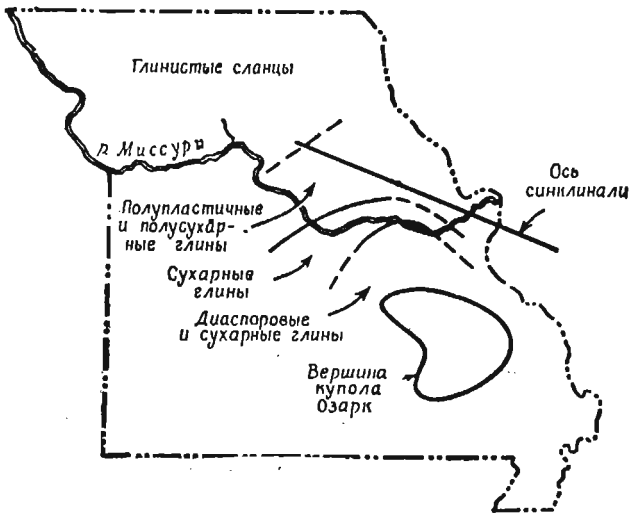
- А — глины Маунт-Савадж, бассейн Каслеман, западная часть штата Мэриленд. По Вааже (Waagé, 1950, Md, Dept. Geol. Bull., 9, 119).
 В — глины Мерсер, север центральной части штата Пенсильвания. По Фусу (Foose, 1944, Econ. Geology, 39, 569).
 С — глины Ловер-Киттаннинг и Лоуренс, южная часть штата Огайо. Составлено по данным Стоута (Stout, 1923, Ohio Geol. Survey 4th ser., Bull. 26, 269).

месторождения огнеупорных глин и многие месторождения строительных глин представлены подугольными глинами пенсильванского возраста. Наибольшее практическое значение

представляют глины пачки Ловер-Киттаннинг (серия Аллегейни). Запасы этих глин, вероятно, превышают запасы глин всех других месторождений подугольных глин этого штата. Глины выходят на поверхность в виде полосы шириной от 5 до 20 миль, протягивающейся с востока центральной части до самой южной окраины штата Огайо. В южной части этой полосы, кроме пачки Ловер-Киттаннинг, разрабатываются глины пачки Лоуренс из нижележащей циклотемы (фиг. 5.10). Угли пачки Ловер-Киттаннинг имеют промышленное значение, но угольный пласт пачки Лоуренс тонкий, прерывистый и мало разрабатывается. В тех местах, где угольный пласт пачки Лоуренс отсутствует, вместо него появляются серые огнеупорные глины. Глины пачки Ловер-Киттаннинг интенсивно разрабатывались в течение многих лет в нескольких районах, среди которых следует отметить округ Таскаравос на востоке центральной части штата Огайо. Здесь встречаются пластичные глины с высокой связующей способностью мощностью в среднем около 10 футов и доступные для разработки на площади более 150 кв. миль. Эти глины используются в гончарном производстве, производстве строительных глиняных материалов и огнеупоров.

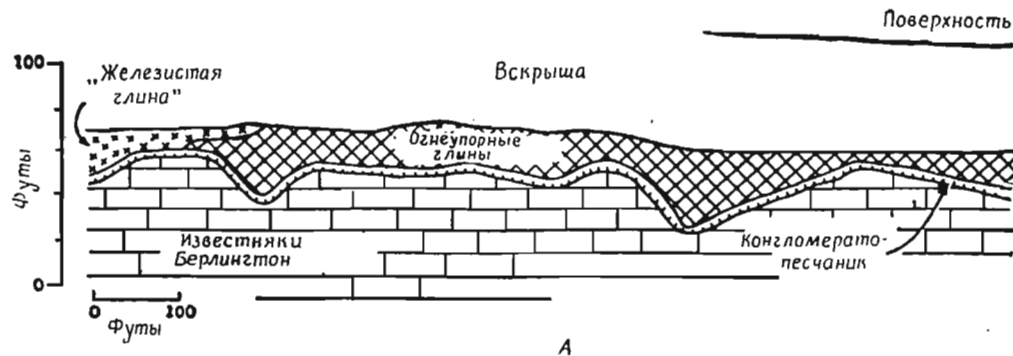
Большой практический и геологический интерес представляют *глины пачки Челтнем* (группа Чероки, серия Де-Мойн) в центральной части штата Миссури. Эти глины болотного происхождения, но они во многих отношениях отличаются от обычных пенсильванских подугольных глин. Залегают глины с явным несогласием на карбонатных породах (возраст которых колеблется от ордовикского до миссисипского) и таким образом представляют собой самую нижнюю толщу пенсильванского возраста в районе. Перекрываются они не мощными пластами угля, а прерывистыми линзами угля, которые по простиранию утолщаются, утоняются и выклиниваются. В толщину этих глин можно четко выделить отдельные фации — фацию диаспоровых и сухарных глин, встречающуюся на юге (северное крыло купола Озарк), далее к северу — фации полусухарных и полупластичных глин и фацию существенно морских сланцев, распространенную еще севернее за пределами этого района (фиг. 5.11). Геология месторождения глин Челтнем очень сложна и освещается в ряде работ (Allen, 1937; McQueen, 1943; Keller, 1944, 1952; Keller, Westcott, Bledsoe, 1954). На фиг. 5.12 приведены два разреза, заимствованные из последней указанной работы. Ниже кратко описывается генезис этих месторождений глин по Келлеру, Уэсткотту и Бледсо (Keller, Westcott, Bledsoe, 1954). В начале чирокийского времени район месторождений огнеупорных глин харак-

теризовался карстовым рельефом, развитым главным образом на доломитах формации Джефферсон-Сити (ордовик) и известняках Берлингтон (миссисипского возраста). Поверхность была наклонена к северу от купола Озарк и находилась

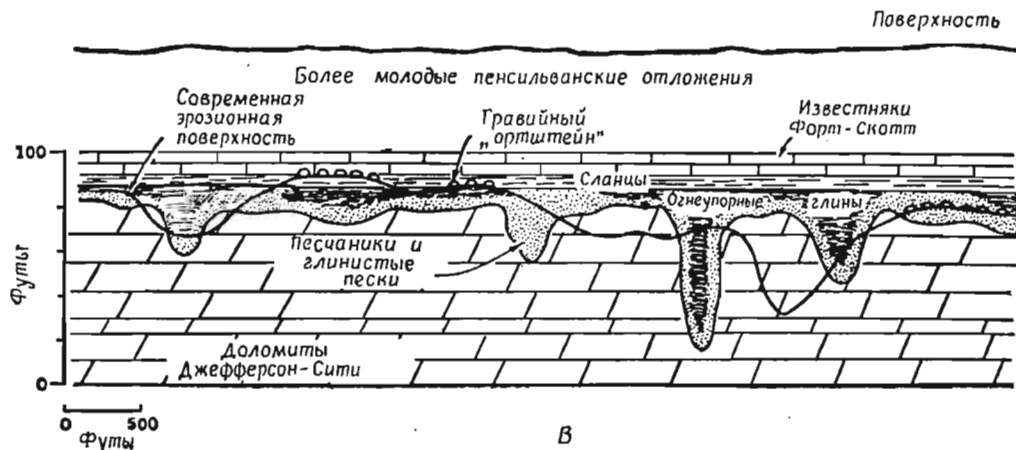


Фиг. 5.11. Схема распространения фации глин Челтнем (пенсильванского возраста) в штате Миссури. По Келлеру и др. (Keller et al., 1954, Proc. 2nd Nat. Conf. on clays and clay Minerals, 32).

почти на уровне моря в северной части района. По зонам нарушений известняки выщелачивались, и на их месте в депрессиях и воронках образовывались марши и болота, как это наблюдается в настоящее время в Эверглейдсе. Сначала происходило накопление остаточного алеврита, песка и кремней, выделявшихся при выщелачивании подстилающих карбонатных пород. Затем отлагались тонкие коллоидальные осадки, заполнявшие пониженные участки. Из этих осадков выщелачивались флюсующие примеси и кремнезем, особенно в южной части района, где возникли высокоглиноземистые глины. По направлению к северу выщелачивание было менее интенсивным, и там образовывались каолинит и в небольших количествах иллит. Полевые наблюдения свидетельствуют, что все изменения в этих осадках происходили перед отложением перекрывающих известняков Форт-Скотт. Район подвергся размыву в течение периода между отложениями глин Челтнем и отложением известняков Форт-Скотт, а также в третичное



A



B

Фиг. 5.12. Огнеупорные глины Челтнем.

A — разрез в районе месторождения полупластичных и полусухарных огнеупорных глин на севере центральной части штата Миссури. B — разрез района месторождения диаспоровых сухарных глин на юге центральной части штата Миссури, частично реконструированный. Сплошной линией показана современная поверхность. По Келлеру и др. (Keller et al., 1954, Proc. 2nd Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals, 11, 29).

время, в плейстоцене и в современную эпоху. Поэтому многие первоначальные плащеобразные покровы глин были размыты, особенно в южной, более приподнятой части района, где глины в настоящее время встречаются лишь в виде отдельных мелких залежей. В северной части сохранились неправильные залежи глин плащеобразной формы. Несомненно, поиски этих глин сложны, особенно поиски залежей диаспоровых сухарных глин (Miller, Moore, 1947). Глины Челтнем — сырье для высококачественного огнеупорного кирпича и других огнеупоров, которые производятся в Мексико, Фултоне, Сент-Луисе и других местах.

Переотложенные глины. Лагунные и дельтовые

Целый ряд месторождений промышленных глин образовался в лагунах и дельтах, располагавшихся по окраинам меловых и третичных морей. Климат в то время был тропическим и субтропическим. Пласты глин обладают линзовидной формой и окружены песками; подобное одновременное отложение очень тонкозернистых глин и крупного песка объяснить с позиций седиментологии крайне сложно. В этих глинах обычно встречаются растительные остатки, представленные преимущественно кусочками и линзами лигнита. На фиг. 5.13 показано положение лагунных и дельтовых глин в прибрежных полосах.

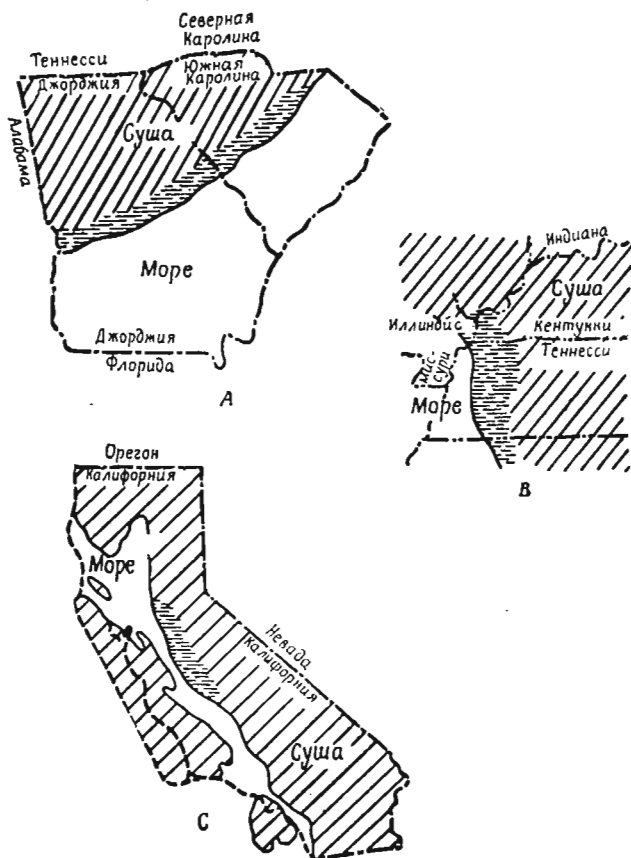
Месторождения каолинов в штатах Джорджия и Южная Каролина

Около 90% добываемого каолина в США приходится на месторождения штатов Джорджия и Южная Каролина (Kesler, 1956)¹. Каолины встречаются в виде осадочных отложений вдоль «линии обрывов», ограничивающей с северо-запада Береговую равнину. Добыча каолина сконцентрирована в двух районах; один из них расположен в центральной части штата Джорджия восточнее Мейкона, а другой — по обе стороны границы штатов Джорджия (около Огаста) и Южная Каролина (около Эйкена).

Каолины встречаются в виде линз в формации Таскалуса (верхний мел). Породы этой формации представлены преимущественно неконсолидированными косослоистыми кварцевыми песками с переменными количествами слюды, поле-

¹ Имеется русский перевод в сборнике «Вопросы минералогии глин», ИЛ, 1962, стр. 147—170. — Прим. ред.

вого шпата и каолина. Некоторые каолиновые зерна представляют собой псевдоморфозы по полевому шпату. Содержание железистых минералов в песках очень невелико. Эти пески,



Фиг. 5.13. Участки накопления лагунных и дельтовых глин.

А — в нижнемеловое время на территории штатов Джорджия и Северная Каролина, когда образовывались линзы каолина в формации Таскалуса. По Кеслеру (Kesler, 1956, *Am. Mineral Newsletter*, 10, 1).

В — в раннеэоценовое время на территории западных частей штатов Теннесси и Кентукки при отложении пластичных глин формации Холли-Спрингс.

С — в среднеэоценовое время на территории штата Калифорния при отложении глин формации Иони. Взято из *Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service*, 9, № 8, 2, 1956.

видимо, отлагались быстро, и поэтому отсортированность терригенного материала в них незначительна.

Породы формации Таскалуса залегают в виде клинообразной толщи; мощность ее колеблется от нуля у «линии обры-

вов» до 500 футов и более у юго-восточной границы полосы каолиновых залежей. Эта формация лежит на наклонной поверхности кристаллических пород, характерных для плато Пидмонт, и перекрывается с небольшим несогласием морской формацией Барнуэлл (верхний эоцен). Нижняя толща формации Барнуэлл — это глины Туингс, которые добываются как фулеровы земли южнее Мейкона и в юго-западной части штата Джорджия (см. стр. 225). В центральной части штата Джорджия эоценовые породы залегают на высоких холмах, а в долинах они размыты. Вблизи Эйкена в штате Южная Каролина эти породы большей частью размыты, вследствие чего породы формации Таскалуса обнажены и частично также размыты.

Буровые работы показывают, что каолины встречаются в виде линзовидных залежей беспорядочно по всей толще мощностью по меньшей мере 175 футов и они, вероятно, имеются также в основании формации Таскалуса. Линзовидные залежи имеют извилистую и удлиненную форму. Их протяженность от немногих футов до мили, а мощность — до 40 футов. Контакты с вмещающими песками обычно постепенные. Преобладающий размер каолиновых частиц меньше 2μ ; но иногда встречаются каолиновые зерна крупнее 10μ . Каолин, сложенный наиболее тонкими частицами, в сухом виде нельзя растереть пальцами в порошок, и он называется *твердым*; более крупнозернистый каолин легко крошится в руках и называется *мягким*. Имеются многочисленные разновидности каолина, различающиеся по гранулометрическому составу и вследствие этого — по «твердости». Некоторые залежи состоят из чередующихся прослоев «твердого» и «мягкого» каолина, в то время как в других линзах присутствуют глины массивного сложения без признаков ясной слоистости.

Многие залежи содержат настолько много обломочного песчаного материала и слюды, что они не имеют практического значения, и даже каолины наилучшего качества содержат некоторую примесь этого материала. Кроме того, в каолинах присутствует небольшое количество минералов тяжелой фракции, особенно рутил в виде очень мелких зерен. За исключением этих примесей, называемых общим термином *песок* (grit), каолины нацело сложены каолинитом.

В естественном состоянии свежий каолин, залегающий под мощными наносами, имеет синеватый оттенок, обусловленный тонкорассеянным пиритом; по мере уменьшения глубины залегания каолин постепенно приобретает белый цвет с беспорядочно рассеянными желтыми пятнами, образовавшимися в результате окисления пирита. (Подобная картина отмечается и

для вайомингских бентонитов, о которых говорилось на стр. 202). Кроме того, в каолинах встречаются окисленные конкреции пирита, особенно в «твердых» разностях.

Все исследователи этих месторождений пришли к единодушному выводу о том, что источником отложений формации Таскалуса были кристаллические породы, развитые к северо-западу от этого района. Однако не совсем ясно, каким образом линзы каолина могли отложиться между пластами крупнозернистых косослоистых песков. Согласно ранним представлениям, указанные кристаллические породы подверглись интенсивному выветриванию и каолинит образовывался *in situ*, а затем потоки вымывали его и отложили в виде отдельных линз. Кеслер (Kesler, 1952, 1956), пытаясь избежать трудностей этой концепции, объясняет происхождение каолиновых отложений следующим образом. Интенсивный размыв кристаллических пород привел к накоплению пресноводных осадков, которые переносились прямо в океан многочисленными потоками. Быстрый размыв и рост растительности в области сноса предотвратили окисление железа размываемых пород, и оно выносилось в море в растворе в двухвалентной форме, минуя кластические осадки. За счет гранитных пород непрерывно поступали обломочные зерна полевых шпатов, кварца и слюды. Выше уровня моря возникли обширные скопления смешанных дельтовых осадков, которые подверглись продолжительному выветриванию. Каолинит образовался при химическом выветривании полевошпатовых зерен, рассеянных в дельтовых песках, а затем селективно переотложившихся в старичные пресноводные озера. В дождливые периоды отлагался обломочный песчаный материал. В двух описываемых районах, где расположены главные месторождения каолина, была хорошо развита речная сеть, и поэтому в них происходило выпадение осадков, переносимых и более сильными потоками. Поскольку каолины накапливались в прибрежных озерах, сюда сносился и песок; так образовывались постепенные переходы и переслаивания между песком и каолином. Затем эти бассейны накопления каолинов выполнялись почти нацело песками, так как дельта мигрировала к северо-западу вследствие постепенного опускания суши и трансгрессии моря.

Каолины добываются из открытых выработок драглайнами и ковшовыми экскаваторами. Вскрыша, мощность которой достигает иногда 100 футов, удаляется при помощи того же оборудования. Нововведением является применение для этих целей ленточных конвейеров. Запасы каолина и конфигурация залежей точно определяются при помощи буровых скважин. Сырой каолин переплавляется на обогатительные фабрики на

самосвалах, по трубопроводам или по узкоколейным дорогам. На обогатительных фабриках сырой каолин отмучивается и очищается почти так же, как и остаточные каолины месторождений штата Северная Каролина (стр. 198). Этот обогащенный каолин применяется в бумажной и керамической отраслях промышленности.

Месторождения болклеев (пластичных глин) в штатах Теннесси и Кентукки

Более 89% высококачественных беложгущихся керамических глин, известных под названием *болклеей* (пластичная глина), добывается на месторождениях, расположенных в западных частях штатов Теннесси и Кентукки (Witlatch, 1940). Кроме того, месторождения этого полезного ископаемого расположены также в штатах Калифорния, Мэриленд, Миссисипи и Нью-Джерси. Месторождения в западных районах штатов Теннесси и Кентукки расположены между реками Теннесси и Миссисипи и подстилаются меловыми и третичными отложениями бассейна Миссисипи. Эти отложения представлены главным образом неконсолированными осадками. Промышленные залежи глин встречаются в нескольких формациях. Главные месторождения высококачественных болклеев (пластичных глин) приурочены к формации Холли-Спрингс и вышележащей формации Гренада группы Уилкоккс (нижний эоцен). Положение этих формаций в геологической колонке показано в табл. 5.2, а их распространение в районе — на фиг. 5.13.

Формация Холли-Спрингс представлена преимущественно косослоистыми слюдистыми песками, по гранулометрическому составу колеблющимися от мелкозернистых до гравийных. Эти пески обычно имеют серый, желтовато-бурый или оранжево-красный цвет. В нижней части формации встречаются конгломераты, состоящие из глинистых катышей и обломков, которые происходят из одновременно образовавшихся линзовидных залежей глин. Линзовидные залежи глин присутствуют в формации Холли-Спрингс повсеместно. Площадь залежей колеблется от нескольких кв. футов до многих акров, а мощность достигает 80 футов. В плане они имеют округлую или удлинённую и узкую формы, причем залежи вытянутой удлинённой формы протягиваются в северном направлении с небольшим отклонением к востоку параллельно береговой линии бассейна осадконакопления отложений группы Уилкоккс. В линзовидных залежах встречается три разновидности глин: 1) светло-серые очень пластичные массивные глины почти

Таблица 5.2

Стратиграфическое положение формаций, содержащих глины в разрезах западных частей штатов Теннесси и Кентукки

Система	Формация		Мощность, футов	Характеристика
Четвертичная	Плейстоценовые лёссы		0—50	
	Плейстоценовые и плиоценовые галечники			
Третичная	Эоцен	Группа Клейборн	100—200	Пески мелкозернистые, глины, лигниты
		Группа Уилкоккс	Формация Гренада Формация Холли-Спрингс	350—600
			Формация Акерман	0—15
	Палеоцен	Группа Мидуэй	Глины Портерс-Крик	90±
Формация Клейтон			0—120	Пески глауконитовые, глины и песчаники; в основании морские известняки мощностью 7 футов
Верхний мел	Формация Рипли — морские пески и песчанистые мергели с линзами глин			

без примеси песка; 2) бурые или серые слоистые пластичные глины с растительными отпечатками в более светлоокрашенных слоях и 3) светлые и темные песчанистые глины с прослойками мелкозернистого песка.

Глинистые лигниты мощностью от 1—2 дюймов до 5 футов обычно покрывают глины или переслаиваются с ними. В этих лигнитах железо присутствует в двухвалентной форме, что вызвано восстановительными условиями, тогда как в обычных глинах присутствуют окислы железа, вследствие чего они слабо окрашены. Темно-серые оттенки глинам придает примесь органического вещества.

Глины и лигниты перекрывающей формации Гренада сходны с глинами и лигнитами формации Холли-Спрингс; пески, вмещающие глины, более мелкозернистые и характеризуются более однородным серым цветом. Линзовидные залежи глин имеют мощность в среднем 15—20 футов. Одна из самых крупных таких залежей занимает площадь в 82 акра и имеет среднюю мощность 26 футов.

По мнению Берри (Berry, 1930), отложения формации Холли-Спрингс образовались в субтропических условиях, характеризующихся атмосферными обильными осадками, в то время когда море времени Уилкоккс продвигалось через низкую залесенную береговую равнину. Имеются несомненные признаки сильного размыва вдоль края этой равнины, вследствие чего образовались песчаные и гравийные отложения, включающие линзы глин. По-видимому, здесь имелись сложные дельты и барьерные пляжи или «обратные пляжи» («back-beach»), как их назвал Стирнс (Stearns, 1957). Пески, видимо, были привнесены к берегу реками, переполненными вследствие проливных дождей, и затем были переработаны волнами и прибрежными течениями. В дельтах оставались мелкие впадины и озера, а за песчаными барами возникали лагуны. В эти понижения в периоды низких уровней потоков привносились тонкие илы и глины, возможно отфильтрованные растительным покровом. Растительный материал осаждался или вымывался и накапливался вместе с глиной. Местами потоки прорезали и смывали глинистые отложения, но в конце концов эти отложения захоронились под песчаными осадками. Песчаные бары и линзы глин формации Гренада были частично размывты перед отложением песков следующей трансгрессии в клейборнское время.

Первоначальный источник песков и глин формации Холли-Спрингс и Гренада неясен, но исходный материал, вероятно, претерпел не менее чем двукратное переотложение. Эти пески и глины, возможно, образовались при размыве пенсильван-

ских песчаников и подугольных глин, которые первоначально распространялись к западу через купол Нашвилл по направлению к бассейну Миссисипи.

Болклей (пластичные глины) месторождений штатов Теннесси и Кентукки добываются и переправляются на обогатительные фабрики обычным путем. На фабрике получают продукты различного качества, которые находят широкое применение в керамической промышленности. Эти продукты различаются по пластичности, огнеупорности, прочности, цвету и по другим свойствам. Кроме высококачественной пластичной глины, используемой для фарфора, санитарного фаянса, столового фаянса и др., получают также огнеупорные глины, используемые для изготовления керамических капсул, которые применяются для поддержки и предохранения фарфоровых изделий при обжиге. Глины расфасовываются в бумажные мешки и в емкости автопогрузчиков в виде нарезанных кусков либо в виде размолотых или воздушно-обогащенных продуктов.

Месторождения глин в районе Иони в штате Калифорния

Важным источником глин в штате Калифорния является формация Иони (эоцен), которая обнажается в нижних частях склонов холмов на западной стороне Сьерра-Невады в центральной части штата (фиг. 5.13) (Pask, Turner, 1952; Apopouos, 1956). Здесь разрабатывается более 50 месторождений глин, расположенных в пределах полосы в 20 миль длиной и 1—4 мили шириной, главным образом около города Иони в округе Ямадор. В этом районе к формации Иони приурочены также разрабатываемые месторождения стекольных песков (стр. 175) и лигнитовых углей, из которых получают технический воск.

Породы формации Иони несогласно залегают на предположительно юрских изверженных и метаморфических породах Сьерра-Невады, на латеритных продуктах выветривания этих пород и на немых эоценовых сланцах и песках. Почти всюду породы формации Иони слабо погружаются к западу под более молодые осадочные и вулканические породы района Сентрал-Валли, но в районе Иони, примерно в 3 милях от главного склона Сьерра-Невады, подстилающие породы выступают в виде низких гряд. Поэтому породы формации Иони местами выполняют небольшие неправильные трогообразные пониженные участки в подстилающих породах. Максимальная видимая мощность формации Иони 450 футов.

Литология формации Иони довольно сложная; она изучалась Паском и Тернером (Pask, Turner, 1952). Эта формация разделяется на две толщи, причем в нижней толще залегает большая часть промышленных глин. Нижняя толща состоит из трех горизонтов. Базальный горизонт сложен перетолженными латеритами и отдельными линзами высокоогнеупорных глин (глины Эдвин). Этот горизонт перекрывается средним горизонтом, представленным лигнитовым углем. Верхний горизонт сложен мощными пластами глин и глинистых песков, которые являются главным источником промышленных глин. В верхней толще формации Иони развиты преимущественно пески.

Минералогически нижняя толща формации Иони характеризуется отсутствием или редкостью биотита, плагиоклаза, хлорита и других легко выветривающихся минералов. Глинистые минералы представлены каолинитом и другим минералом каолинитовой группы, называемым *анокситом*. Обычно глины светлоокрашенные и белые, довольно плотные, с раковистым изломом. В качестве примеси глины содержат главным образом кварцевые песчинки. Мощность слоев глин колеблется от нескольких до 25 футов.

В течение палеоцена и эоцена большая часть территории штата Калифорнии была покрыта мелководным морем. В это время климат был теплым и влажным, на низменных прибрежных участках суши реки текли спокойно и произрастала обильная растительность.

На кристаллических породах восточнее района Иони в этот период формировалась мощная зона выветрелых глинистых пород и остаточная почва. Одновременно с постепенным поднятием этих пород в средне- и позднеэоценовое время потоки размывали покровные образования и переотлагали их материал в виде осадков вместе с растительными остатками в лагунах и неглубоких трогах, расположенных вдоль побережья. Примечательно, что почти повсеместно пески и глины формации Иони встречаются не по отдельности, а в виде смешанных пород — глинистых песков и песчанистых глин. Последующее выщелачивание осадков привело к удалению всех других минералов, кроме наиболее устойчивых — каолинита и кварца. Позднее, в третичное же время, отложения формации Иони были погребены под вулканическими породами. Громадное поднятие Сьерра-Невада, которое достигло максимального воздымания в четвертичное время, обусловило размыв во многих местах покрова вулканогенных пород, в результате чего на поверхность выступили глины, пески, угли и другие породы формации Иони.

Большая часть глин из формации Иони используется в качестве огнеупорного сырья, особенно для изготовления огнеупорного кирпича, а глины Эдвин — главный источник высокоогнеупорных глин в западных штатах и единственный в штате Калифорния. Поэтому глины формации Иони вообще выделяются как огнеупорные глины, несмотря на то что большая часть их применяется как строительный материал, в том числе для производства обычного кирпича, черепицы и цемента.

Переотложенные глины. Морские глины

Большая часть известных месторождений глин морского происхождения расположена на территории прибрежных равнин Атлантического океана и Мексиканского залива. Здесь встречаются третичные и меловые глины, причем первые имеют наибольшее практическое значение. Большинство глин этих месторождений применяется в качестве адсорбентов, так как они либо представлены природно активными фуллеровыми землями, либо легко активируются при обработке кислотами.

Глины формации *Портерс-Крик* (группа Мидуэй, палеоцен; см. табл. 5.2) исключительно равномерно распространены на территории от юго-восточной части штата Миссури и самой южной части штата Иллинойс через штаты Кентукки, Теннесси и Миссисипи до штата Алабама, где они в восточном направлении постепенно переходят в песчанистые глины и пески. Глины представлены массивными, непластичными фуллеровыми землями мощностью 60—100 футов, темно-серыми в природном залегании и приобретающими на дневной поверхности серые и желтовато-бурые цвета. Хотя эти глины сохраняют свои адсорбирующие свойства как по простиранию, так и по разрезу, они довольно низкого качества и их практическая значимость обусловлена низкой стоимостью и близостью к потребителю. Глины добываются в нескольких местах, особенно нефтяными компаниями около Олмстида в южной части штата Иллинойс (Lama, 1928).

Аллен (Allen, 1934) изучал глины Портерс-Крик в южной части штата Миссури и определил, что они состоят из монтмориллонита, который явно образовался за счет вулканического пепла. Этот исследователь обнаружил микроскопические осколки вулканического стекла, представляющие собой обломки пемзы. Аллен считает, что пепел выпадал в море, куда одновременно привносился обломочный материал (главным образом кварц и мусковит). Однако далее к югу глины Портерс-Крик уже не похожи на бентониты, и в штате Теннесси, по данным полевых и микроскопических исследований Брам-

летта и др. (Bramlette, Lang et al., 1940), они «состоят из обычных пластичных глин и алевроитов, с небольшой примесью бентонитовых глин, иногда очень несущественной». Если глины, встречающиеся в штате Миссури, образовались за счет вулканического материала, а в районах, расположенных южнее, они имеют терригенное происхождение, то весьма удивительно повсеместное почти полное постоянство их адсорбционных свойств. Возможно, что эти глины образовались повсюду как бентониты, но затем были более интенсивно изменены при выветривании в пределах штата Теннесси и в более южных районах. Палеогеография времени отложения глин Портерс-Крик и ассоциирующихся с ними пород изучалась Стирнсом (Stearns, 1957).

Глины Туиггс, слагающие нижнюю формацию Барнуэлл (группа Джексон, верхний эоцен), выходят на поверхность в виде узкой полосы, пересекающей штат Джорджия. Эти глины добываются в округе Туиггс около Мейкона. Формация Барнуэлл залегает на формации Таскалуса (верхний мел; см. стр. 217), а также несогласно перекрывает кристаллические породы плато Пидмонт. Глины Туиггс — это светлые зелено-вато-серые, непластичные, плотные и хрупкие породы. Глины некоторых залежей могут быть активированы, но поддаются активации не всегда. Глины большей части залежей используются в природном виде в качестве фуллеровых земель. В карьерах вблизи Мейкона отчетливо выделяются два пласта глины, разделенные 50-футовым пластом песка. Мощность пластов глины 15—45 футов. Иногда глины не содержат песчано-алевритовой примеси, в других случаях они песчанистые и переслаиваются с тонкими прослоями песка. Кроме того, встречаются тонкие пласты известняков с ископаемой фауной, что указывает на морское происхождение глин Туиггс. В юго-западном направлении эти глины постепенно сменяются морскими известняками Окала, распространенными на полуострове Флорида.

С 1895 г. на месторождениях, расположенных в округе Гадсен в северной части штата Флорида и в округах Декейтер и Грейди в южной части штата Джорджия, разрабатываются высококачественные фуллеровы земли *формации Хоторн* (миоцен). Крупнейшие обогатительные фабрики находятся в Куинси в штате Флорида и в Аттапулгусе в штате Джорджия. Формация Хоторн обнажается на поверхности почти во всем описываемом районе. Она залегает почти горизонтально и имеет мощность около 200 футов. Эта формация сложена главным образом светлоокрашенными песчанистыми известняками, которые на поверхности обычно разрушаются

и переходят в плохо отсортированные глинистые пески. В этих породах присутствуют включения фосфорита, и поэтому породы формации Хоторн являются источником флоридских фосфатов, которые добываются вблизи Тампы в 230 милях к юго-востоку (стр. 170).

В песках Хоторн встречаются тонкие линзы доломитовых известняков, осадившихся, очевидно, прямо из морской воды, и слои фуллеровых земель. Фуллеровы земли внешне похожи на описанные выше глины Портерс-Крик и Туиггс. В формации Хоторн глины встречаются в виде двух пластов, причем верхний пласт обычно очень тонкий или песчанистый и поэтому не разрабатывается. Нижний пласт сложен почти чистой глиной и имеет мощность 2—16 футов, в среднем около 6 футов. Пласты глин разделяются прослоем глинистого песка (мощностью несколько футов), в котором встречаются ископаемые обломки деревьев, устрицы и раковины пектен, а также кости морских позвоночных. Максимальный коэффициент вскрыши 6—7.

Типичным глинистым минералом глин этих месторождений является аттапульгит (стр. 186). Неглинистые минералы представлены главным образом кварцем и полевым шпатом, которые встречаются в глинах повсюду в виде зерен с максимальным размером до 1 мм. Ископаемые организмы и литологический состав глин формации Хоторн указывают на то, что эти глины отложились в мелководном морском бассейне у побережья. Источником материала этих глин, несомненно, были породы расположенного севернее плато Пидмонт. Однако остается необъяснимым тот факт, что эти глины сложены аттапульгитом, а не более обычными глинистыми минералами. Вероятно, эта особенность состава обусловлена процессами, происходившими в осадках после их отложения.

Глинистые сланцы

Глинистые сланцы практически повсюду имеют морское происхождение. Они добываются уже в течение нескольких десятилетий для производства грубой фаянсовой керамики и как исходный материал для портланд-цемента. Начиная с 1940 г. они нашли новое применение в качестве вспучивающегося и разбухающего материала для легких заполнителей. Для всех этих применений глинистые сланцы — материал с низкой средней ценой единицы товарной продукции. Так как сланцы самые обычные осадочные породы, то поиски месторождений их редко вызывают затруднения. Наиболее важные факторы для оценки месторождений глинистых сланцев следующие: первый — пригодность сланцев для упомянутых це-

лей, и второй — экономически выгодное расположение месторождений в отношении месторождений дополнительных исходных материалов для использования глинистых сланцев в промышленности, особенно месторождений глин. Третий фактор относится к производству легких заполнителей — это наличие исходных материалов, необходимых для этих же целей в экономически выгодных пределах, т. е. песка и гравия, дробленого камня, шлаков или пемзы.

Для каких бы целей ни применялись глинистые сланцы, перед разработкой они должны быть тщательно и полностью опробованы и испытаны. Для определения пригодности глинистых сланцев в производстве керамических изделий должны быть определены температура спекания, интервал спекания и цвет обожженного черепка, в производстве цемента — химический состав, особенно содержание глинозема, а в производстве заполнителей — температура спекания и содержание газообразующих примесей. Пригодность глинистых сланцев для производства заполнителей определяется вообще эмпирически. Например, по химическому составу можно судить о принадлежности глинистых сланцев к группе пород, которые *могут* вспучиваться, но только непосредственный обжиг этих сланцев в печи покажет, *будут* ли они действительно вспучиваться.

Из многих месторождений сланцев, разрабатываемых в настоящее время или неразрабатываемых, но имеющих практическое значение, можно упомянуть месторождения, приуроченные к девонским отложениям в штате Нью-Йорк (Browne, Broughton, Peterson, 1951), к девонским и миссисипским отложениям в штате Огайо (Lamborn, Austin, Schaaf, 1938), к пенсильванским отложениям центральной части США (Plummer, Hladik, 1951) и к меловым отложениям Великих Равнин (Plummer, 1947) и Скалистых гор (Waagé, 1953), а также штатов Калифорния (Rogers, Chesterman, 1957) и Вашингтон (Glover, 1941)¹.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР глинистых пород добывается примерно в 3 раза больше, чем в США, а во всем мире, по-видимому, около полумиллиарда тонн в год. В структуре потребления глин в СССР удельный вес строительных глин составляет свыше 88%, в то время как в США глины, используемые в строительстве, составляют около 60% от общей добычи (см. таблицу). Несколько разные подходы к глинистому сырью имеются у нас и в США. Так, в СССР добыча каолинов базируется на маложелезистом сырье, тогда как в США для промышленных целей добывают каолины более железистые и путем соответствующего обогащения доводят их до кондиционных сортов.

Бентониты, имеющие большой спрос в промышленности США, в нашей стране разрабатываются в незначительном количестве, несмотря на

ЛИТЕРАТУРА

Общие вопросы

Brindley G. W. (1951). X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals, London, Mineralogical Society.

Davis C. W., Vacher H. C., Conley J. E. (1940). Bentonite: its properties, mining, preparation, and utilization, U. S. Bur. Mines Tech. Paper, 609.

огромную сырьевую базу (см. ниже). Объясняется это, видимо, недостаточной разработкой в нашей промышленности сфер применения этого ценного сырья.

Добыча и структура потребления глинистых пород в США за 1962 г.
(в тыс. метрических тонн)

Область применения	Вид глинистого сырья						Всего	
	каолин	комовые (пластичные глины)	огнеупорные и тугоплавкие глины	бентониты	фуллеровы земли	прочие глины	тыс. т	%
Тонкая керамика и каменный товар	118,5	238,9	52,4			54,9	465,8	1,0
Кафель и метлахская плитка	14,2	86,4	124,4			103,6	328,6	0,7
Огнеупоры	310,0	67,1	3561,7	396,7		50,5	4385,0	10,1
Стройкерамика	2,6		3476,4			16054,7	16054,3	45,1
Легковесные заполнители бетона						6140,3	6140,3	14,2
Наполнители (для бумаги, резины, красок, удобрений и пр.)	1956,0	3,7	7,4	47,6	85,2	6,3	2106,2	4,9
Цемент			6,5			8687,3	8693,9	20,1
Прочие области применения (сорбенты, бурение, фильтры и пр.)	317,1	45,5	86,1	866,5	286,6	86134	1688,8	3,9
Всего	2719,3	441,6	7315,0	1309,8	371,9	3119,4	43352,3	100,0

В СССР достигнуты большие успехи в области изучения геологии и генезиса глинистых пород. В частности, трудами советских геологов (Б. Б. Полюнов, И. И. Гинзбург, В. П. Петров и др.) создано учение о «корах выветривания» (во многих случаях являющихся материнскими источниками почти всех типов глинистых пород), почти неизвестное американским геологам.

Запасы глинистых пород в СССР очень велики. Крупнейшие месторождения каолиновых огнеупорных глин разведаны и эксплуатируются в центральных районах РСФСР, на Урале, Украине и в других местах. Месторождения первичных каолинов сосредоточены главным образом на территории УССР — Просяновское и Глуховецкое месторождения. Бентониты добываются на Гумбрийском и Асканском месторождениях в Грузии, Ханларском — в Азербайджане и Огланлинском — в Туркмении. — *Прим. перев.*

- Everhart J. O., Ehlers E. G., Richardson J. H. (1958). A study of lightweight aggregates (from clay and shale), Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 169.
- Greaves-Walker A. F. (1939). The origin, mineralogy and distribution of the refractory clays of the United States, N. C. State Coll., Eng. Exp. Sta. Bull., 19.
- Grim R. E. (1939). Properties of clay, Ill. Geol. Survey Circ., 49.
- Grim R. E. (1942). Modern concepts of clay materials, Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 80.
- Grim R. E. (1950). Application of studies of the composition of clays in the field of ceramics, Applied Sedimentation, New York.
- Grim R. E. (1953). Clay Mineralogy, New York, McGraw-Hill.
- Grim R. E. (1955). Recent developments in clay mineralogy and technology, Econ. Geology, 50th Anniversary Volume, 619—638.
- Keeling P. S. (1954). The geology of fireclays, British Ceramic Soc. Trans., 53, 362—375.
- Keller W. D. (1956). Clay minerals as influenced by environments of their formation, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 40, 2689—2710.
- Keller W. D. (1957). The Principles of Chemical Weathering, Columbia.
- Keller W. D., Pickett E. E. (1950). Absorption of infrared radiations by clay minerals, Amer. Jour. Sci., 248, 264—273.
- Klinefelter T. A., Hamlin H. P. (1957). Syllabus of clay testing, U. S. Bur. Mines Bull., 565.
- Mackenzie R. E. (1957). The Differential Thermal Investigation of Clays, London, Mineralogical Society.
- Mielenz R. C., King M. E., Schlettz N. C. (1951). Staining tests, Amer. Petrol. Inst. Research Proj. 49, Prelim. Rept. 7, New York, Columbia Univ., 135—161.
- National Conference on Clays and Clay Minerals, Annual Proceedings: First, 1952, Calif. Div. Mines Bull., 169 (1955); Second, 1953, Nat. Acad. Sci. Pub., 327 (1954); Third, 1954, Nat. Acad. Sci. Pub., 395 (1955); Fourth, 1955, Nat. Acad. Sci. Pub., 456 (1956); Fifth, 1956, Nat. Acad. Sci. Pub., 566 (1958).
- Nutting P. G. (1943). Adsorbent clays, U. S. Geol. Survey Bull., 928—C.
- Pettijohn G. J. (1957). Sedimentary Rocks, 2nd ed., New York, Harper.
- Ries H. (1927). Clays—Their Occurrence, Properties, and Uses, New York, Wiley.
- Sand L. B. (1956). On the genesis of residual kaolins, Amer. Mineralogist, 41, 28—41.
- Schultz L. G. (1958). Petrology of underclays, Bull. Geol. Soc. Amer., 69, 363—402.
- Speil S. et al. (1945). Differential thermal analysis, its application to clays and other aluminous minerals, U. S. Bur. Mines Tech. Paper, 664.
- Anonymous (1955). Clay, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 8, № 6, 1—7.
- Anonymous (1955). Kaolin Clays and Their Industrial Uses, 2nd ed., New York, J. M. Huber Corp.

Геология месторождений

- Allen V. T. (1934). Petrography and origin of the fuller's earth of southeastern Missouri, Econ. Geology, 29, 590—598.
- Allen V. T. (1937). The Cheltenham clay of Missouri, Mo. Geol. Survey 59th Bienn. Rept., App. V, 5—29.

- Allen V. T. (1946). Sedimentary and volcanic processes in the formation of high-alumina clay, *Econ. Geology*, **41**, 124—138.
- Allen V. T., Loofbrouow J. S., Jr., Nichols R. L. (1951). The Hobart Butte high-alumina clay deposit, Lane County, Oregon, U. S. Geol. Survey Circ., 143.
- Ames L. L., Jr., Sand L. B., Goldich S. S. (1958). A contribution on the Hector, California bentonite deposit, *Econ. Geology*, **53**, 22—37.
- Bay H. X. (1935). A preliminary investigation of the bleaching clays of Mississippi, *Miss. Geol. Survey Bull.*, **29**.
- Berry E. W. (1930). Revision of the lower Eocene Wilcox flora of the southeastern states, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 156.
- Bolger R. C., Weltz J. H. (1952). Mineralogy and origin of the Mercer fireclay of north-central Pennsylvania, *Problems of Clay and Laterite Genesis*, New York, Amer. Inst. Min. Met. Eng., 81—93.
- Broadhurst S. D. (1950). White residual clays of the volcanic slate belt in North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Inf. Circ., 8.
- Brownell W. E., Broughton J. G., Peterson R. B. (1951). The clays and shales of New York state, Albany, N. Y. State Dept. of Commerce.
- Burgess B. C. (1953). The Tuscaloosa kaolins of Georgia, *Proc. Southeastern Mineral Symposium 1950*, Ky. Geol. Survey Spec. Pub., **1**, 69—87.
- Calver J. L. (1956). The fuller's industry, Florida—Georgia, *Min. Eng.*, **8**, 393—395.
- Gleveland G. B. (1957). Clay. *Calif. Div. Mines Bull.*, **176**, 131—152.
- Fisk H. G. (1947). Bentonite, with test methods and results of tests of Wyoming bentonites, *Univ. Wyo., Nat. Res. Inst. Bull.*, **2**.
- Foose R. M. (1944). High-alumina clays of Pennsylvania, *Econ. Geology*, **39**, 557—577.
- Gildersleeve B. (1953). Clays of the Gulf Embayment region of Tennessee and Kentucky, *Proc. Southeastern Mineral Symposium 1950*, Ky. Geol. Survey Spec. Pub., **1**, 17—23.
- Glover S. L. (1941). Clays and shales of Washington, *Wash. Div. Geology Bull.*, **24**.
- Grim R. E. (1941). Petrographic and ceramic properties of Pennsylvanian shales of Illinois, *Ill. Geol. Survey Rept. Inv.*, **32**.
- Grim R. E., Allen V. T. (1938). Petrology of the Pennsylvanian underclays of Illinois, *Ill. Geol. Survey Rept. Inv.*, **52**.
- Gwynne C. S. (1943). Ceramic shales and clays of Iowa, *Iowa Geol. Survey Ann. Rept.*, **38**, 263—377.
- Hagner A. F. (1939). Adsorptive clays of the Texas Gulf Coast, *Amer. Mineralogist*, **24**, 67—108.
- Herold P. G. et al. (1958). Study of Missouri shales for lightweight aggregate, *Mo. Geol. Survey Rept. Inv.*, **23**.
- Jonas E. C. (1957). Pottery clay resources of Illinois, *Ill. Geol. Survey Circ.*, **233**.
- Keller W. D. (1944). The clays of Missouri, *The Geology of Missouri*, Univ. Mo. Studies, **10**, № 3, 376—384.
- Keller W. D. (1952). Observations on the origin of Missouri high-alumina clays, *Problems of Clay and Laterite Genesis*, New York, Amer. Inst. Min. Met. Eng., 115—134.
- Keller W. D., Westcott J. F., Bledsoe A. O. (1954). The origin of Missouri fire clays, *Proc. 2nd. Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals*, Nat. Acad. Sci. Pub., **327**, 7—46.

- Kesler T. L. (1952). Occurrence and exploration of Georgia's kaolin deposits, Problems of Clay and Laterite Genesis, New York, Amer. Inst. Min. Met. Eng., 162—177.
- Kesler T. L. (1956). Environment and origin of the Cretaceous Kaolin deposits of Georgia and South Carolina, Econ. Geology, 51, 541—554; 1957, Ca. Mineral Newsletter, 10, № 1, 1—8.
- Kiersch G. A., Keller W. D. (1955). Bleaching clay deposits, Sanders — Defiance Plateau district, Navajo County, Arizona, Econ. Geology, 50, 469—494.
- Kinney E. D. (1942). Kansas bentonite, its properties and utilization, Kan. Geol. Survey Bull., 41, 349—376.
- Knechtel M. M., Patterson S. H. (1956). Bentonite deposits in marine Cretaceous formations of the Hardin district, Montana and Wyoming, U. S. Geol. Survey Bull., 1023.
- Knechtel M. M., Patterson S. H. (1956). Bentonite deposits of the northern Black Hills district, Montana, Wyoming, and South Dakota, U. S. Geol. Survey Map MF 36.
- Lamar J. E. (1928). Preliminary report on the fuller's earth deposits of Pulaski County, Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 15.
- Lamar J. E. (1931). Refractory clays in Calhoun and Pike Counties, Illinois, Ill. Geol. Survey Inv., 22.
- Lamar R. S. (1953). Adsorbent clays in California, Calif. Jour. Mines and Geology, 49, 297—337.
- Lamborn R. E., Austin C. R., Schaaf D. (1938). Shales and surface clays of Ohio, Ohio Geol. Survey, 4th ser., Bull. 39.
- Lang W. B. et al. (1940). Clay Investigations in the southern states, 1934—1935, U. S. Geol. Survey Bull., 901.
- Matthews J. G. (1957). Clays and shales of western Canada, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 80—84.
- McCue J. B. et al. (1948). Clays of West Virginia, W. Va. Geol. Survey, 18.
- McGrain P. (1957). Sources of shale in Kentucky for lightweight aggregate production, Ky. Geol. Survey Rept. Inv., 12.
- McMillan N. J. (1956). Petrology of the Nodaway underclay (Pennsylvanian), Kansas, Kan. Geol. Survey Bull., 119, 187—249.
- McQueen H. S. (1943). Geology of the fire-clay districts of east-central Missouri, Mo. Geol. Survey and Water Res., 2nd. ser., 28.
- McVay T. N., Toulmin L. D., Jr. (1945). Alabama shales and fire clays, Ala. Geol. Survey Bull., 55.
- Miller B. K., Moore G. E., Jr. (1947). Prospecting for fire clay in Missouri, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 133—140.
- Neumann F. R. (1927). Origin of the Cretaceous white clays of South Carolina, Econ. Geology, 22, 380—386.
- Parker J. M., III (1946). Residual kaolin deposits of the Spruce Pine district, North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 48.
- Parmelee C. W., Schroyer C. R. (1921). Further Investigations of Illinois fire clays, Ill. Geol. Survey Bull., 38.
- Pask J. A., Turner M. D. (1952). Geology and ceramic properties of the lone formation, Buena Vista area, Amador County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 19.
- Phillips J. G. (1957). Clasy and shales of eastern Canada, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 74—79.
- Plummer N. (1947). Kansas clay, Dakota formation, Kan. Geol. Survey Bull., 67.

- Plummer N., Hladik W. B. (1951). The manufacture of lightweight concrete aggregate from Kansas clays and shales, *Kan. Geol. Survey Bull.*, 91.
- Popoff C. C. (1955). Cowlitz clay deposits near Castle Rock, Washington, *U. S. Bur. Mines Rept. Inv.*, 5157.
- Roberts J. K., Gildersleeve B. (1945). Geology and mineral resources of the Jackson Purchase region, Kentucky, *Ky. Geol. Survey, ser. VIII, Bull. 8*, 92—126.
- Rogers B. H., Chesterman C. W. (1957). Shale, expansible, *Calif. Div. Mines Bull.*, 176, 521—528.
- Schroter G. A., Campbell I. (1942). Geological features of some deposits of bleaching clay, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 148, 178—208.
- Sohn I. G. (1952). Geologic environment map of alumina resources of the Columbia basin, *U. S. Geol. Survey Map MR 1*.
- Stearns R. G. (1957). Cretaceous Paleocene, and lower Eocene geologic history of the northern Mississippi Embayment, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 68, 1077—1100.
- Stout W. (1930). Refractory clays of Ohio, *Jour. Amer. Ceramic Soc.*, 13, 29—37.
- Stout W. et al. (1923). Coal formation clays of Ohio, *Ohio Geol. Survey Bull.*, 26.
- Stuckey J. L. (1947). Kaolins of North Carolina, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 173, 47—55.
- Tracey J. I., Jr. (1944). High-alumina clays of Pulaski and Saline Counties, Arkansas, *Jour. Amer. Ceramic Soc.*, 27, 246—249.
- Waagé K. M. (1950). Refractory clays of the Maryland coal measures, *Md. Dept. Geology, Mines, and Water Res. Bull.*, 9.
- Waagé K. M. (1953). Refractory clay deposits of south-central Colorado, *U. S. Geol. Survey Bull.*, 993.
- Watts A. S., Bole G. A., Everhart J. O. (1949). Clays of Ohio, *Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. News*, 21, 26—34.
- Whitlatch G. I. (1933). The commercial underclays of Indiana, *Jour. Amer. Ceramic Soc.*, 16, 45—53.
- Whitlatch G. I. (1940). The clays of West Tennessee, *Tenn. Div. Geology Bull.*, 49.
- Williams F. J., Elsley B. C., Weintritt D. J. (1954). The variations of Wyoming bentonite beds as a function of the overburden, *Proc. 2nd Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals, Nat. Acad. Sci. Pub.*, 327, 141—151.
- Williams N. F., Plummer N. (1951). Clay resources of the Willcox group in Arkansas, *Ark. Div. Geol. Inf. Circ.*, 15.
- Wimmler N. L. et al. (1947). Exploration of five western clay deposits, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 173, 141—150.
- Anonymous (1953). Clay in Los Angeles County, *Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service*, 6, № 10, 1—4.
- Anonymous (1955). Bentonite in California, *Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service*, 8, № 3, 1—5.
- Anonymous (1956). The mineral resources of the Ione formation, *Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service*, 9, 1—5.

ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ (продолжение)

Введение

Термин *известняк* первоначально использовался в буквальном смысле для обозначения камня, из которого можно было получить известь. Таким образом, само происхождение этого слова связано с промышленностью полезных ископаемых. В современном геологическом обиходе, однако, понятие известняк объединяет крупную группу горных пород, которые иногда не имеют никакого отношения к сырью для производства извести. К известнякам относят осадочные породы, состоящие более чем на 50% из карбонатных минералов (кальцита и доломита), в которых кальцит преобладает над доломитом. В большинстве известняков, имеющих промышленное значение, содержание суммы карбонатов составляет не менее 90%. При содержании доломита более 10% породы этой группы называются *доломитистыми известняками*, а при содержании доломита от 5 до 10% — *магнезиальными известняками*. Для промышленности используются в большинстве случаев *высококальциевые известняки*, в которых содержание кальцита составляет не менее 95%.

В четырех приведенных выше определениях пород единственный отличительный признак — содержание карбонатного материала, и отсутствуют какие-либо ограничения при определении пород в зависимости от их происхождения или каких-либо других факторов. Известняки могут иметь обломочное, хемогенное или биогенное происхождение и структуру от пелитоморфной до грубокристаллической и обладать почти любой окраской, плитчатым или массивным строением, иметь всевозможные текстурные особенности — оолитовую, косо-слоистую или стилолитовую текстуру, содержать примесь кремнистого, песчаного, алевритового и глинистого материала, включать или не включать окаменелости. Из приведенного перечня различных особенностей известняков ясно, что, характеризуя эти породы, всегда необходимо вводить в их названия два или три определения

Доломит — осадочная порода, более чем на 50% состоящая из карбонатов (кальцита и доломита), в которой доломит

преобладает над кальцитом¹. Между известняками и доломитами существуют все постепенные переходы. Доломиты с содержанием кальцита более 10% называются *кальцитовыми доломитами*. К промышленно ценным породам этого типа, *очень чистым доломитам*, относятся разновидности с содержанием карбонатной составляющей не менее 97%, причём количество кальцита не должно превышать 3—4%. Доломиты в большинстве случаев возникают в результате перекристаллизации и метасоматического замещения известняков, в связи с чем существенные особенности строения последних, например первичная слоистость и кремнистые стяжения, могут унаследоваться ими. Однако мелкие признаки первичных известняков, в том числе обломки раковин, оолиты, косая слоистость, в процессе перекристаллизации могут затухиваться. В связи с этим в доломитах обычно резче, чем в известняках, проявляется тенденция к литологической однородности. В целом доломиты по сравнению с известняками обладают более равнотерным и грубокристаллическим сложением. Некоторые доломиты, переслаивающиеся с отложениями солей, видимо, возникают в результате прямого химического осаждения. Такие породы обладают светлой окраской, плотным сложением, отчетливой стратифицированностью и литологически однородны. Кристаллические известняки, воспринимающие полировку, в торговой практике обозначаются как «мрамор», но в настоящей книге они называются *ортотраморами* с целью их отграничения от настоящих мраморов метаморфического происхождения (см. стр. 114).

Свойства карбонатов и их практическое значение рассмотрены Графом и Ламаром (Graff, Lamar, 1955), которые привели в своей работе библиографию из 524 наименований. В 1957 г. была опубликована аннотированная библиография, посвященная месторождениям высококальциевых известняков и очень чистых доломитов США (Gazdik, Tagg, 1957; Davis, 1957).

Применение

Известняки и доломиты имеют следующие наиболее распространенные виды использования: 1. В виде *щебня* или *дробленого камня* для использования в качестве заполни-

¹ Применение термина «доломит» как к породе, так и к минералу довольно неудобно, в связи с чем было предложено несколько способов ликвидации этой двойственности (Pettijohn, 1957, стр. 416; Rodgers, 1954, стр. 227). Применительно к доломитовой породе предлагается термин «долостоун».

теля бетона, дорожной щебенки, железнодорожного балласта и грубого фильтра сточных вод; в более тонкомолотой форме — в качестве известковой подкормки для птиц, для штукатурок, искусственного декоративного песка, наполнителя и побелочного материала. На эту группу видов потребления уходит около половины общей добычи карбонатных пород. 2. В качестве *флюсов* при выплавке и первичной переработке железа и других металлов. 3. Для *известкования почв* с целью корректировки их кислотности и обеспечения лучших условий роста растений. Хотя используемый для последней цели материал называется «сельскохозяйственной известью», в действительности он представляет собой просто тонкоизмельченную карбонатную породу. 4. Для *производства извести*, основного химического продукта, имеющего важное значение в весьма многочисленных отраслях производства. 5. В качестве *химического сырья* в стекловарении, для нейтрализации кислот и во многих других процессах. 6. Для получения *естественного штучного камня*.

Известняки (но не доломиты) представляют собой основное сырье для производства портланд-цемента. Доломиты служат сырьем для получения высококачественных огнеупоров и в сочетании с асбестом используются для производства теплоизоляционных материалов. Особенности использования доломитов кратко характеризуются на стр. 241. Исчерпывающие описания использования известняков и доломитов приведены в работах Баулса и Дженсена (Bowles, Jensen, 1947), а также Ламара и Уиллмана (Lamar, Willman, 1938).

Применения, основанные на использовании физических свойств

При использовании в качестве заполнителя в бетоне и других применениях, опирающихся на физические свойства сырья, известняки (или доломиты) должны быть однородными, лишенными пористости, бескремнистыми, не содержать примеси органического вещества и пирита. Свежие известняки не только дают вязкий и прочный заполнитель бетона, а также весьма устойчивы в других службах, но обладают, кроме того, меньшим абразивным воздействием на дробильное оборудование по сравнению с другими типами естественного камня. Эти факторы, а также широкая распространенность известняков объясняют, почему они используются в 2,5 раза больше по сравнению с базальтами, гранитами и песчаниками, вместе взятыми. Применение и свойства дробленого и

тонкомолотого известняка рассмотрены в работах Баулса (Bowles, 1939, стр. 378—385) и Мазера (Mather, 1953).

К штучному известняковому камню предъявляются те же требования, как и к другим типам естественных каменных строительных материалов (гранит, стр. 50; мрамор, стр. 116; песчаник, стр. 156). Помимо требования однородности окраски и строения, желательны также отсутствие окислов железа, за счет изменения которых могут возникнуть ржавые потеки, а также отсутствие кварца и кремня, затрудняющих обработку камня. Пористость в кондиционном камне обычно составляет не более 10%; при этом сохраняется вполне достаточная прочность для использования известняков во всех обычных строительных целях. Некоторые известняки, хорошо воспринимающие полировку, используются в качестве орто-мрамора. Физические свойства разновидностей известняков, наиболее широко используемых в США в качестве штучного камня, охарактеризованы Кесслером и Слайгом (Kessler, Sligh, 1927).

Применения, основанные на использовании химических свойств

Свойства известняков как цементного сырья

Приблизительно 240 лет назад в Англии установили, что некоторые известняки, содержащие примесь глинистого материала и кремнезема, после отжига и помола образуют в смеси с водой твердый цемент. Этот *натуральный цемент*¹ оказался не только прочнее ранее использовавшихся цементов, например пуццоланового типа (стр. 75), но и был устойчив под водой, в связи с чем его можно было применять при сооружении устоев мостов, фундаментов маяков, шлюзов и в других подобных целях. В связи со своими свойствами известняки, пригодные для производства натурального цемента, получили название *гидравлической извести* (hydraulic lime, waterlime). При дальнейших исследованиях было установлено, что смеси известняков различных типов с глиной и песком также могут давать хороший натуральный цемент. В 1818 г. производство натурального цемента было начато и в США, в восточной части штата Нью-Йорк, где для этих целей оказались весьма пригодными известняки типа гидравлической извести горизонта Розендейл (верхний силур). В конце XIX в.

¹ В русской литературе этот тип сырья получил название натурал. — *Прим. перев.*

годовое производство натурального цемента в Нью-Йорке достигло почти 10 млн. баррелей, однако появление портланд-цемента вызвало уменьшение выпуска натурального цемента, который в настоящее время составляет примерно лишь 1% в общей цементной продукции США.

Портланд-цемент был получен в 1824 г. англичанином Эспдином, который назвал свое детище, таким образом, в честь портландского камня, широко используемого в Англии каменного естественного строительного материала. Эспдин использовал для получения нового типа цемента то же сырье, которое применялось для производства натурального цемента, но подверг его обжигу при значительно более высокой температуре. Полученный при таком режиме цемент обладал более высокими показателями, чем натуральный, в особенности по прочности и скорости схватывания. В США производство портланд-цемента было начато в 1875 г. в Лихай-Валли, Пенсильвания.

В качестве сырья для производства цемента необходимы известь, кремнезем, глинозем и окислы железа¹. Идеальное цементное сырье — загрязненный примесями известняк, в котором необходимые окислы содержатся в требуемых количествах. Подобный состав встречается лишь у немногих известняков, например у присутствующих в формации Джэксонберг в восточной Пенсильвании, которые рассматриваются на стр. 242. О сравнительной редкости сырья, содержащего все необходимые для цемента компоненты, может свидетельствовать тот факт, что из него получают лишь 16% продукции цемента в США. Около 80% цемента изготавливается из отно-

¹ При производстве цемента сырье дробится в необходимых пропорциях под строгим химическим контролем и мелется до порошкового состояния. Затем этот молотый материал вводится сверху в слабо наклоненную вращающуюся печь, которая представляет собой стальной цилиндр, облицованный изнутри огнеупорными кирпичами. Иногда такие печи достигают 500 футов длины и представляют собой крупнейшие единицы движущиеся механизмы. Загруженный материал постепенно передвигается под действием силы тяжести к нижнему концу печи, где осуществляется интенсивный обжиг за счет сжигания нефти, газа или порошкового угля. Длина языков пламени может достигать в печи 30—40 футов. В тепловом потоке с максимальной температурой около 1500° загруженная в печь шихта частично плавится и выходит из печи в виде стекловатого клинкера, состоящего из силикатов и алюминатов. Этот клинкер смешивается с 2—4% гипса (с целью корректировки времени схватывания), а затем подвергается очень тонкому помолу. Полученная таким образом масса и представляет собой портланд-цемент.

Цементная индустрия США гигантская. В 1957 г. было произведено около 300 млн. баррелей стоимостью 922 млн. долл. В США насчитывается 164 цементных завода, расположенных в 37 штатах и в Пуэрто-Рико,

нительно чистых известняков с добавлением глины или глинистых сланцев. Остальные 4% цемента получают из сочетания различных типов сырья, например известняков и металлургических шлаков, мергелей и глин или устричных раковин и глин.

Наиболее строгое требование к известняку для производства портланд-цемента: он не должен содержать более 3% MgO (около 5% $MgCO_3$). Это жесткое требование не дает использовать в цементном производстве доломиты и доломитизированные известняки. При выборе места для разработки известняков в качестве цементного сырья необходимо убедиться, что в пределах эксплуатируемого участка они не переходят в доломитовые фации ни по простиранию, ни в вертикальном направлении. Максимальное допустимое содержание магнезии в конечном продукте — 5%. Щелочи (сода и поташ) обычно вводятся в количестве до 1,5%, но в тех случаях, когда в бетонах используются заполнители, способные к химической реакции с цементом (стр. 140), их содержание должно быть уменьшено до 0,6%.

Размеры и качество месторождений известняка и другого цементного сырья представляют лишь один из факторов, определяющих место сооружения цементного завода. Приходится также учитывать наличие топлива, но самое важное значение при этом имеет близость населенных пунктов и промышленного рынка. Влияние последнего фактора можно видеть в концентрации цементных заводов вблизи крупных городов в США: 13 заводов в восточной Пенсильвании, пять в долине Гудзона (Нью-Йорк), четыре близ Далласа, семь в районе Лос-Анжелеса и т. д.

Существуют подробные печатные работы, знакомящие с технологией и экономикой цемента (Bowen, 1957; Williams, 1958; Anonypous, 1955).

Применение в качестве флюсового сырья

Для удаления из железных руд присутствующих в них примесей кремнезема или глинозема при плавке в шихту добавляют известняк или известь в качестве основного флюса. Кремнезем и глинозем соединяются с таким флюсом и образуют всплывающий жидкий шлак, который затем можно удалять из печи отдельно от железа. Сера, присутствующая в руде или коксе, используемом в качестве топлива, также переходит в шлак.

Поскольку главная цель применения известняка в этом случае — удаление кремнезема и глинозема, сам флюсовый

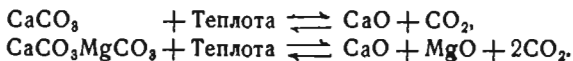
материал, очевидно, не должен содержать эти компоненты в заметных количествах. При выборе известняков в качестве флюсового сырья, следовательно, необходимо ориентироваться на высококальциевые разновидности, однако при этом играют роль и экономические факторы. Кремнезем и глинозем во флюсе не представляют собой вредных примесей, а лишь уменьшают эффективность флюса. В некоторых случаях оказывается экономически более целесообразным использовать сырье, загрязненное балластными примесями, чем известняки более чистые, но зато и более дорогостоящие. Содержание серы и фосфора в известняках, используемых в качестве флюса, не должно соответственно превышать 0,5 и 0,1%.

Для применения в виде флюса в одних случаях более желательны известняки, в других — доломиты. Следующие факторы определяют использование доломита: 1) более высокая температура плавки, чем в случае известняка; 2) эффективность доломита в качестве флюса и очистителя иногда такая же, как и у известняка; 3) присутствие магнезии может в некоторых случаях неблагоприятно влиять на флюидность шлака. В целом, однако, гораздо шире в качестве флюса используются известняки, а не доломиты, при этом металлургическое предприятие использует, как правило, один какой-либо вид флюсово-карбонатного сырья, а не попеременно оба. Дополнительные сведения по этому вопросу можно найти у Баулса (Bowles, 1929) и в учебниках по металлургии.

На тонну железных отливок требуется около 900 фунтов флюсового сырья, а следовательно, в железодельательной и сталелитейной промышленности используются очень большие количества карбонатных пород.

Применение в производстве извести

Известняки и доломиты обладают свойством, известным и используемым с древности: при нагревании они теряют двуокись углерода и превращаются в известь. Этот процесс можно изобразить следующими уравнениями:



Эти простые реакции и являются основными в известковой промышленности.

Известь получают посредством обжига дробленого известняка или доломита при непосредственном воздействии пламени в шахтных или вращающихся печах. Для обжига необходима температура 1000—1100°. Потеря веса известняков

при обжиге составляет 44%, чистых доломитов — 48%. Таким образом, для производства извести необходимо сырье высокой чистоты, поскольку количество кремнезема, глинозема и других примесей в исходном материале увеличится приблизительно вдвое в конечном продукте. В этом производстве требуется камень, имеющий высокую механическую прочность, так как дробленый материал, загружаемый в печь, должен быть прочным и лишенным мелких кусочков.

Процесс образования извести имеет обратимый характер, так как поступающая из печи *негашеная известь* обладает близким сродством с двуокисью углерода. Негашеная известь, кроме того, очень легко соединяется с водой с выделением тепла. В связи с этим негашеную известь при хранении и транспортировке необходимо тщательно изолировать от влаги. Около трети производимой извести выпускается в форме *гашеной извести* $\text{CaO}(\text{OH})_2$, в которой она устойчива.

Известь имеет важное значение в двух отраслях производства: строительстве и химической промышленности. В строительстве она используется в штукатурке и строительном растворе. В химической и обрабатывающей промышленности известь применяется как наиболее обычный и самый дешевый щелочной химикалий, имеющий множество видов использования. Обзор, посвященный применению извести и общей характеристике известковой промышленности, читатель может найти в работе Баулса (Bowles, 1952).

Другие виды использования в качестве химического сырья

Химическая природа карбонатов в известняках и доломитах как оснований и их относительно легкая способность к диссоциации представляют собой свойства, которые делают их во многих случаях важным химическим сырьем. Особую ценность представляют высококальциевые известняки. Такие известняки заменяют известь во многих видах использования — в качестве металлургического флюса, производстве карбоната натрия (NaHCO_3) и карбида кальция (CaC_2), а также в стекольной и бумажной отраслях промышленности. Глинистые известняки подвергают плавке и получившийся в результате шлак выдувают из печи струей пара, в связи с чем он превращается в тонкие нити силиката кальция. Эти нити накапливаются в форме «минеральной шерсти» («rock wool»), которая используется в качестве теплоизоляционного материала.

Самостоятельное использование доломита

Помимо того, что доломит используется во многих случаях наравне с известняком, он обладает некоторыми свойствами, на которых основаны специальные его виды использования. При обжиге доломита или доломитового известняка в домнах или специальных печах при температуре около 1500° из него удаляется даже та небольшая примесь двуокиси углерода, которая может оставаться в обычной извести; в результате образуется частично спекшийся продукт, получивший название *намертво обожженного доломита* (неверное употребление термина, так как этот материал представляет собой смесь извести и магнезии, $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$). Такой материал выдерживает высокие температуры и используется в качестве огнеупора для внутренней футеровки металлургических печей.

Огнеупорные свойства доломита проявляются и в другом получаемом из него продукте, *техническом карбонате*, или *основном магнезиальном карбонате*, состав которого несколько изменчив, но приблизительно отвечает формуле $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Это белый гранулированный материал, из которого в смеси с 15% асбестового волокна (стр. 458) получают продукт, носящий название *85%-ной магнезии*, которая используется для производства профилированных теплоизоляционных изделий.

Выборочное описание месторождений

После второй мировой войны добыча известняков и доломитов устойчиво возрастала. В 1957 г. суммарное их производство превысило 380 млн. коротких тонн¹. Известь выпускалась в 33, цемент — в 37, а щебень известняка и доломита — в 46 штатах. В связи с такими масштабами производства совершенно ясно, что разрабатываются многочисленные геологические формации. Практически все эксплуатирующиеся карбонатные отложения имеют морское происхождение, хотя в деталях они различаются по способам накопления и масштабам постседиментационных изменений. Они

¹ Оценить размер добычи известняков и доломитов трудно, так как эти данные скрываются за суммарными цифрами производства цемента, щебня и т. д. Ясно, что использование карбонатных пород во всех отраслях резко возрастает. Так, мировое производство цемента с 1260 млн. баррелей в 1953—1957 гг. увеличилось к 1962 г. почти вдвое, до 2095 млн. баррелей, а в США с 298 до 346 млн. баррелей. Интересно отметить устойчивое увеличение добычи штучного известняка в США, например с 855 в 1961 г. до 896 тыс. т в 1962 г. — *Прим. перев.*

также отличаются по возрасту, составу и структурным позициям. Ниже карбонатные породы рассматриваются отдельно как цементное сырье, в качестве высококальциевых известняков, штучного камня и как доломитовое сырье.

Известняки формации Джэксонберг

Большое промышленное значение в северо-восточных штатах имеют известняки формации Джэксонберг (средний ордовик), развитые в восточной Пенсильвании (Miller, 1933). Эти породы представляют собой глинистые слабомагнезиальные известняки, по составу почти идеальные в качестве цементного сырья. Они доступны для эксплуатации в больших количествах, имеют незначительную мощность вскрыши, расположены вблизи месторождений каменного угля, используемого в качестве топлива при их переработке, и находятся от крупных рынков сбыта в пределах экономически выгодных расстояний. С использования именно этих известняков, начавшегося в 1875 г., ведет свое существование промышленность по производству портланд-цемента. Джэксонбергские известняки обнажаются в пределах узкого пояса длиной около 50 миль, который с перерывами протягивается от реки Скулкилл в северо-западном направлении до пункта, расположенного в нескольких милях за рекой Делавэр в Нью-Джерси. Цементные заводы концентрируются в долине реки Лихай севернее Аллентауна и восточнее за Назаретом, в округах Лихай и Нортгэмптон. Джэксонбергские известняки входят в группу формаций, подстилающих Великие Равнины. Они подстилаются доломитами формации Бикментаун (Киттатиннинг), которые выходят на поверхность южнее. В районе развития добычи цементного сырья эти две формации почти согласны, хотя северо-восточнее, в пределах Нью-Джерси, между ними наблюдается резкое несогласие. Джэксонбергские известняки перекрываются формацией Мартинсберг, которая развита непосредственно севернее, в пределах известного пояса аспидных сланцев в районе Бангор — Пен-Аргайл и других районах (стр. 108).

Формация Джэксонберг представлена двумя хорошо различимыми фациями. Нижняя ее часть, получившая название *цементные известняки*, представлена серыми массивными кристаллическими известняками, в которых содержание карбоната кальция составляет от 80 до 95%. Верхняя часть формации, которая преимущественно разрабатывается, называется толщей *цементных пород*. Эта фация представлена темно-серыми до черных тонкозернистыми глинистыми извест-

няками со средним содержанием карбоната кальция 65—70%. Обе фации довольно постепенно переходят друг в друга.

Формация Джэксонберг, так же как перекрывающая формация Мартинсберг и подстилающая Бикментаун, претерпела интенсивную складчатость. Вследствие массивного характера бикментаунских доломитов и цементных известняков Джэксонберг складки в этих породах имеют крутое падение крыльев и достигают в поперечнике от нескольких футов до нескольких сот футов. В отличие от них толща цементных пород была настолько некомпетентной, что в ней возникли мельчайшая складчатость и тектонические разрывные нарушения, которые местами обусловили значительное увеличение мощности слоев и возникновение аспидного кливажа. В связи с такой нарушенностью цементные породы разламываются частично по поверхности напластования, а частично по плоскости кливажа и образуют неправильные зазубренные обломки. В этих породах часто встречаются кварцевые и кальцитовые жилы.

В участке пересечения джэксонбергских известняков рекой Лихай падение пород невелико и выходы продуктивного горизонта имеют ширину более 2 миль, однако в участках с более крутым падением ширина выходов редко достигает более полумили. Появление изолированных от продуктивной полосы участков развития формации Джэксонберг частично обусловлено складчатостью и последующей эрозией, а частично выпадением этой формации из разреза, что вызывало непосредственное налегание глинистых сланцев Мартинсберг на доломиты Бикментаун. Сложная структура района не позволяет точно определить мощность формации Джэксонберг; видимо, ее максимальное значение достигает 600 футов.

Колебания состава цементных пород иллюстрируются тремя анализами, приведенными в табл. 6.1. Состав этих пород меняется как от пласта к пласту, так и в пределах одного пласта, обнажающегося в одном карьере. В некоторых карьерах цементные породы содержат полезные компоненты в соотношениях, точно отвечающих требованиям для производства цемента, но в большинстве случаев разные уступы и борты карьеров содержат сырье различного состава, и для получения нужного соотношения компонентов приходится смешивать породы разного качества. Породы с чрезмерно низким содержанием карбоната кальция приходится облагораживать или, как говорят, «подслащивать». Добавляемый высококальциевый известняк ввозится из других районов, например известняк формации Анвилл (ордовик), который разрабатывается примерно в 60 милях к юго-западу

Таблица 6.1

Анализы известняка фации цементных пород
формации Джэксонберг

	Добытое сырье			Флотацион- ный концентрат
	1	2	3	4
CaCO ₃	69,00	74,05	63,27	84,06
MgCO ₃	5,70	4,09	5,33	4,23
Al ₂ O ₃	5,40	5,19	} 7,88	3,00
Fe ₂ O ₃		1,87		1,30
SiO ₂	19,82	12,66	21,72	6,72
	99,92	97,86	98,20	99,31

Источник. Анализы 1, 2 из работы W. M. Myers, *Cement materials, Industrial Minerals and Rocks*, 2nd. ed., New York, A. I. M. E., 1965; анализ 3 — Miller, 1933; анализ 4 — Boucher, 1953.

в направлении регионального простирания пород (Grau, 1952). Но одна из действующих здесь компаний установила, что если количество привозного известняка, вводимого в цементную шихту, превышает 10%, то экономически целесообразнее добывать увеличение карбоната кальция за счет местного цементного сырья посредством облагораживания его пенной флотацией и последующим введением этого концентрата в сырье, поступающее из карьера (Boucher, 1953). Анализ получаемого флотационного концентрата приведен в колонке 4 табл. 6.1. Однако в некоторых случаях поступающий из карьеров материал имеет настолько высокое содержание карбоната кальция, что его приходится корректировать введением глинистого материала.

Полевые наблюдения показывают, что формация Джэксонберг не имеет выдержанного характера, а отложилась местами на частично размытой и неровной поверхности доломитов Бикментаун. Джэксонбергские известняки были смяты в пологие складки и частично удалены эрозией, перед тем как регион был покрыт мартинсбергским морем. В этом морском бассейне отложились большие количества безызвестковых илов, плащеобразно перекрывавших эродированные поверхности формаций Джэксонберг и Бикментаун и даже толщу верхнего кембрия (Miller, 1937, стр. 1709). Неустойчивость земной коры нарастала к концу ордовика, когда этот район претерпел таконскую орогению. Интенсивные напряже-

ния сжатия проявлялись в районе также в период акадской и позднепалеозойской фаз складчатости (стр. 109).

Известняки формации Колумбус

Огайо занимает первое место среди штатов, производящих известь и известковую щебенку, кроме того, здесь выпускается много цемента. Промышленное значение в качестве источников высококальциевого известнякового сырья здесь имеют четыре формации. Из них формации Брассфилд (нижний силур) и Колумбус (средний девон) развиты в центральной и западной части Огайо, в формации Максвилл (миссисипий, ярус Мерамек) и Ванпорт (пенсильваний, серия Аллегани) распространены в восточной и юго-восточной частях штата. Наиболее интенсивно из всех формаций эксплуатируются известняки Колумбус.

Основные выходы известняков формации Колумбус располагаются в пределах пояса протяженностью около 150 миль и шириной 20 миль, протягивающегося из центральной части штата Огайо в северном направлении к озеру Эри. Региональное падение толщи в восточном направлении около 30 футов на милю. Известняки Колумбус приурочены к восточному крылу сводового поднятия Финдли. В шарнире этой антиклинали известняки удалены эрозией и сохранились лишь в одном небольшом участке, а на противоположном крыле складки, в северо-западной части штата Огайо, они не появляются. В связи с этим можно полагать, что сводовое поднятие Финдли существовало во время отложения формации Колумбус и представляло собой западную границу бассейна ее отложения. Точно такие же соотношения установлены в северной части штата Онтарио, где известняки Колумбус ограничены с востока северным продолжением сводового поднятия Финдли.

В центральной части штата Огайо максимальная мощность формации Колумбус на выходах несколько превышает 100 футов. Формация несогласно залегает на девонских доломитах группы Детройт-Ривер или более древних породах и перекрывается известняками формации Делавэр, средняя мощность которых составляет около 45 футов. Известняки формации Делавэр простираются поперек сводового поднятия Финдли, как это наблюдается в северо-западной части штата Огайо и в Мичигане, где они носят название формации Данди (стр. 256). Дэлаверские известняки в Огайо перекрываются девонскими глинистыми сланцами формаций Олентанги и Огайо.

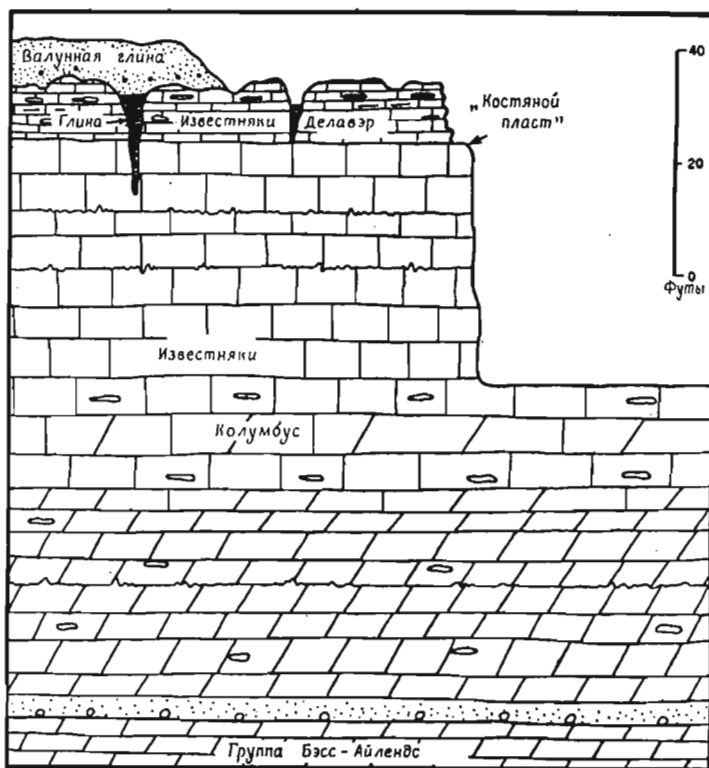
Примечательной особенностью литологического состава формации Колумбус является его однородность во всех без

исключения выходах. Породы формации имеют светло-серый оттенок, тонко- и среднезернистое сложение, довольно толсто-слоисты и содержат большое количество окаменелостей. Самые верхние несколько дюймов формации насыщены зубами и обломками костей девонских рыб, и этот «костяной пласт», несмотря на незначительную мощность, удается установить во всех главных выходах. Наибольшее содержание кальцита в известняках наблюдается в верхней части формации, а по направлению к ее основанию постепенно возрастает доломитность пород. В средней части формации имеется зона, в которой присутствуют пласты кремней мощностью в несколько футов, значительное количество кремнистого материала имеется и в нижней половине формации.

Наиболее интенсивно эксплуатируется верхняя часть формации мощностью от 10 до 50 футов. В этих верхних пластах содержание карбоната кальция обычно достигает 90% (сумма карбонатов более 95%), а в некоторых слоях высококальциевого известняка содержание карбоната кальция достигает 95% и более.

В одном из карьеров в центральной части штата Огайо, в котором ежегодно добывается более 5 млн. т дробленого камня, продуктивные известняки Колумбус мощностью около 100 футов перекрываются известняками Делавер мощностью в несколько футов и налегающими на них валунными глинами такой же мощности (фиг. 6.1). Валунные глины, не представляющие никакого практического интереса, тщательно удаляются с поверхности делавэрских известняков. Эта неровная поверхность с выполненными глинистым материалом карстовыми карманами; на ней наблюдаются борозды и штрихи скольжения ледникового происхождения. Тонкоплитчатые делавэрские известняки содержат повышенное количество примеси глинистого материала, а иногда и кремней; они дробятся для использования в качестве железнодорожного балласта и в других целях, в которых важную роль играют физические свойства сырья. В рассматриваемом карьере известняки Колумбус вынимаются лишь в пределах верхней части до глубины 42 фута. В этой части известняки не содержат кремнистого материала и представлены однородными пластами мощностью 1—6 футов. В них часто встречаются стилолитовые швы и в изобилии присутствуют окаменелости. Сырье относится к типу высококальциевого и используется главным образом в качестве флюса. После добычи сырье транспортируется железной дорогой на сталелитейные заводы в штаты Огайо, Пенсильвания и западную часть штата Виргиния. Кроме того, известняки применяются в качестве грубого фильтра сточных

вод, как наброска для дамб и для производства извести. Развитие эксплуатационных работ вниз по разрезу ограничивается из-за зоны кремней и повышенного содержания магнезии. Поскольку разрабатываются известняки только верхней



Фиг. 6.1. Разрез типичного карьера в известняках Колумбус в центральном Огайо. Верхние 42 фута формации представлены высококальциевыми известняками.

части формации Колумбус, эксплуатационные работы осуществляются в неглубоких и широких карьерах. Если эксплуатационные работы производятся вблизи городов, то жилые кварталы могут ограничить их развитие. В северной части штата Огайо на полуострове Марблхед и на острове Келлис площадь старинных карьеров составляет несколько сот акров.

Подземная добыча известняков Колумбус в больших масштабах производится химической компанией у Варбертона,

близ Акрона, в северо-восточной части штата Огайо. Вследствие регионального падения толщи известняка залегают на глубине около 2200 футов от земной поверхности. Здесь были пройдены две шахты, которые пересекли базальные горизонты пенсильванских отложений, осадки миссисипского возраста и верхнедевонскую толщу (Stauffer, 1944). После этого в штатах в верхних 50 футах формации Колумбус были развиты обширные эксплуатационные работы по камерно-столбовой системе. Производительность рудника составляет 300 т высококальциевого камня в час. На поверхности сырье поступает на завод для производства извести, которую соединяют с солью для получения кальцинированной и каустической соды, а также других щелочных продуктов.

Судя по составу и характеру фауны, отложения формации Колумбус представляют собой нормальные морские известняки, причем в нижней части формации они были несколько доломитизированы. Осадки формации накапливались в мелком море, протягивавшемся в Огайо из Аппалачского бассейна и достигавшего сводовых поднятий Цинциннати и Финдли. Формация Колумбус долгое время рассматривалась как развитый на западе аналог известняков формации Онондага, распространенной в штате Нью-Йорк, но работы, проведенные в Онтарио, показали, что Онондага залегают ниже отложений группы Детройт-Ривер, на которой залегают известняки Колумбус, и, таким образом, позволили прийти к выводу о значительно более молодом возрасте формации Колумбус. Стратиграфические взаимоотношения известняков Колумбус обобщены Стауффером (Stauffer, 1957).

Известняки формации Сейлем

Не менее 60% штучного известняка, производимого в США, получают при разработке формации Сейлем (миссисипий, ярус Мерамек), развитой в южной части центральной Индианы (Loughlin, 1929; Perry et al., 1954). Этот светлый камень используется широко по всей стране и привычен для глаза во внешнем облике торговых и промышленных сооружений, в том числе школьных и университетских зданий.

Название Сейлем этой формации было присвоено сотрудниками Геологических служб штатов Индиана и Иллинойс, однако в номенклатуре Геологической службы США они обозначаются как известняки Сперген. В торговой практике этот камень носит название индианского или бедфордского; последнее название он получил от города, расположенного в центре района его добычи,

Выходы сейлемских известняков располагаются по восточной, западной и южной границам Иллинойского бассейна, однако добыча известняка в качестве строительного камня производится лишь в пределах узкого пояса длиной в 40 миль, протягивающегося через округа Блумингтон и Бедфорд в Индиане. Региональное падение толщи западное в сторону от сводового поднятия Цинциннати с уклоном от 35 до 70 футов на милю. Хотя мощность сейлемских известняков и составляет только 20—90 футов, малые углы падения, а также расчлененность речной сетью обуславливают наличие многочисленных выходов в пределах весьма извилистой полосы шириной от 1 до 12 миль. Эта формация представляет собой часть широко распространенной толщи известняков, залегающей в средней части разреза отложений миссисипской системы, развитых в регионе. Продуктивные известняки залегают на известняках формации Харродсберг мощностью около 75 футов и перекрываются известняками Сент-Луис, мощность которых колеблется от 90 до 300 футов. Все эти формации слагают низменную равнину южной Индианы, характеризующуюся хорошо развитым карстовым рельефом.

Знаменитый сейлемский строительный камень представляет собой калькаренит, т. е. обломочный известняк, сложенный зернами песчаных размеров. Цемент породы чисто кальцитовый. Зерна представлены: 1) оолитами, в ядрах которых расположены мельчайшие обломки раковин; 2) фоссилизированными раковинами, в том числе целыми раковинами фораминифер и обломками мшанок, лилий, кораллов; 3) незначительным количеством карбонатного обломочного материала неизвестного происхождения. Мелкие окаменелости и обломки фауны обволочены плотным кальцитовым материалом, что сообщает породе псевдооолитовый облик. Это очень характерный тип породы, который можно в первом приближении назвать микроракушечником или даже присвоить ему специальное название *спергенит* (Pettijohn, 1957, стр. 405—407).

Бедфордский камень представлен необычайно массивными пластами мощностью 30 футов и более, в которых главные поверхности напластования выражены плохо и наиболее заметная текстурная особенность — косая слоистость. Поверхности раздела и глинистые прослойки в нем отсутствуют, в связи с чем косая слоистость не нарушает однородности породы. Местами по поверхностям напластования присутствуют стилолитовые швы («петушиные лапы»; *Crowfeet*). Они выполнены черным глинисто-битуминозным веществом с неправильно распределенной вкрапленностью пирита и обычно настолько малы, что не ослабляют и не портят камень. Из числа суще-

ственных особенностей камня, связанных с его осадочным происхождением, можно отметить лишь некоторые колебания в величине зернистости, что и следовало ожидать для аренитового осадка, отложившегося из текучих вод. При добыче довольно легко выделяются монолитные блоки 60 футов длиной, 10—12 футов высотой и 4 фута толщиной.

Ниже уровня грунтовых вод массивный камень имеет серую или голубовато-серую окраску, но в карьерах выше этого уровня окраска его бывает коричневатой и светло-серой. Общая пористость известняка колеблется от 8 до 20%, но водонасыщение составляет лишь четверть или треть этой величины, так как многие поры плотно закрыты и вода не проникает в них. Крепость, прочность и долговечность камня вполне приемлемы при использовании во всех обычных целях. Физические свойства бедфордского камня рассмотрены Лохлином (Loughlin, 1929, стр. 166—178). Ценное свойство камня — его легкая обрабатываемость. В карьерах он мягок, легко добывается, и из него нетрудно получить блоки желательной формы. После высыхания и вылеживания камень становится несколько тверже.

Не следует думать, что сейлемская формация известняков целиком состоит из массивного спергенита. Верхние и нижние части формации обычно представлены тонко- и среднезернистыми слоистыми известняками, весьма мягкими, мелоподобными и содержащими примесь глинистого и алевроитового материала; местами здесь присутствуют известковистые алевролиты. Некоторые прослои сильно доломитизированы и содержат повышенную примесь органического вещества, испуская в связи с этим зловонный запах при ударе. Отдельные тонкие зоны таких загрязненных известняков появляются и в продуктивной части формации в массивных известняках. Многие такие зоны имеют линзовидный характер, причем по мере увеличения мощности одной из них в другой может происходить уменьшение мощности. Такие обратно пропорциональные соотношения мощностей линз между красноватыми грубокристаллическими известняками и бурыми известковистыми и доломитистыми алевролитами описаны Перри и др. (Perry et al., 1954, стр. 56). Мощность первого из этих прослоев постепенно возрастает от 0 до 6,9 футов, тогда как мощность второго прослоя параллельно уменьшается от 6,5 футов до 0. Подобный тип линзовидности — характерная особенность формации в целом. Слоистые известняки, несмотря на примесь алевролитового материала и локальную доломитность, содержат типичную морскую фауну и отложились в нормальных мелководных условиях. Однако в массивном спергените в изо-

билии присутствуют крупные фораминиферы, а моллюски встречаются редко, и они представлены мелкими угнетенными формами. Значение этой карликовой «спергеновой фауны» неоднократно обсуждалось, но до сих пор не выяснено (Cloud, 1948, стр. 58—59). По мере накопления раковины перемещались в разных направлениях при волнении, переносились течениями и в конце концов отлагались. Во всех отношениях, за исключением состава, спергенит напоминает чистые хорошо отсортированные кварцевые песчаники. Представляется вероятным, что спергенитовые отложения сформировались в качестве баров и отмелей у береговой линии и переходят постепенно в направлении открытого моря (в направлении регионального падения?) в нормальные слоистые известняки. После захоронения под другими осадками известковый песок был сцементирован кристаллическим кальцитом, отложившимся за счет привнесенного вещества.

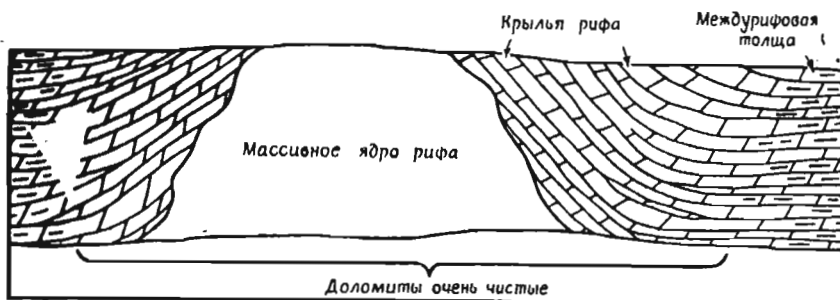
По данным Лохлина (Loughlin, 1929, стр. 127), еще в 1929 г. были пройдены многие эксплуатационные скважины, но материалов почти не сохранилось. Изучению геологии месторождения уделялось мало внимания до тех пор, пока в 50-х годах геологами Геологической службы Индианы не были проведены детальные полевые и камеральные исследования (Peggy et al., 1954; Smith, 1957). При этих исследованиях было установлено, что сейлемскую формацию можно подразделить на основании относительной распространенности тех или иных видов фауны на зоны. Определение условий отложения осадков в этих зонах способствует выяснению участков, благоприятных для получения штучного камня наилучшего качества, и оценке мощности продуктивной толщи. Геоморфологические исследования служат предпосылкой для оконтуривания участков низкокачественного, окрашенного в бурый цвет камня и повышенного развития карста.

Доломиты формации Расин

Из Ниагарской группы формаций (средний силур), которые обнажаются в северо-западной части штата Огайо, северной части штата Индиана и северо-восточной части штата Иллинойс, ежегодно добываются многие миллионы тонн доломитов. Близость этих пород к сталелитейным заводам Чикаго, Гэри, Детройта и Кливленда обеспечивает устойчивую потребность в очень чистом доломите, используемом в качестве огнеупорного и флюсового сырья. Большие количества доломита используются также в качестве сельскохозяйственной

извести и во многих видах применения, основанных на физических свойствах этого камня.

К числу наиболее широко эксплуатирующихся формаций группы Ниагара относятся доломиты Расин (Lowenstam et al., 1956; Willman, 1943), которые разрабатываются открытым способом в обширной области, включающей Чикаго, Джолиет



Фиг. 6.2. Схематический поперечный разрез типичного рифа в доломитах формации Расин в северном Иллинойсе. (Займствовано из работы Willman, 1943, III. Geol. Survey Rept. Inv., 90, 16.)

и Канкаки, Иллинойс. Эта формация мощностью 250—300 футов приурочена к верхней части Ниагарской серии. Она залегает на доломитах формации Уокешо, которые имеют мощность 30—60 футов, и перекрывается формацией Порт-Байрон мощностью около 60 футов, состоящей из очень чистых доломитов. Все эти формации обнажаются по реке Де-Плейн и другим водным артериям, а также в виде немногих изолированных низких холмов коренных пород в пределах площадей, в остальном прикрытых ледниковыми отложениями. Породы падают на восток с уклоном в несколько футов на милю.

Главнейшая особенность доломитовых отложений формации Расин в рассматриваемом районе — присутствие большого количества рифов (фиг. 6.2). Величина ядер этих рифов колеблется по ширине и высоте от нескольких футов до образований диаметром в четверть мили, мощностью до 150 футов. В большинстве случаев рифы приурочены к верхней части формации, и на многих из них располагаются крупнейшие карьеры. Детальные стратиграфические исследования показали, что в рифовых отложениях можно выделить много мелких фаций, однако для общих описательных целей эти фации можно объединить в три группы: ядро рифа, крылья рифа и междурифовое пространство.

В большинстве случаев ядра рифов сложены массивным и бесструктурным доломитом, хотя иногда локально присутствуют волнистые прерывистые поверхности слоистости. Породы, слагающие рифы, имеют средне- и грубозернистое сложение и серую, коричневатую или пятнистую окраску. Обычны каверны различных размеров, причем многие из них возникли за счет растворения раковин. Общая пористость может достигать 20%. В некоторых рифах в кавернах присутствует черный вязкий асфальт, представляющий собой, очевидно, остаточную фракцию после выделения из нефти летучих веществ. Для ядер рифов характерно присутствие обильной и разнообразной фауны, в том числе кораллов, лилий, брахиопод и трилобитов. В табл. 6.2, колонка 1, приведен анализ очень чистого доломита из ядра рифов.

Массивные породы ядра рифа могут в горизонтальном направлении постепенно переходить в доломитовые отложения крыльев рифа с хорошо выраженной слоистостью; в других случаях слоистые доломиты примыкают к массивным породам ядра. В большинстве случаев отложения крыльев рифа представлены доломитами высокой чистоты, близкими по составу к развитым в ядре, но отличаются от последних своей стратифицированностью и слагают пласты мощностью от 1 дюйма до 1 фута, падающие в сторону от ядра. Падение доломитов на крыльях рифа достигает 45° , но в среднем близко к 30° . С уменьшением угла падения по мере удаления от рифа доломитовые отложения крыльев сливаются с горизонтально залегающей междурифовой толщей; при этом изменение состава пород весьма незначительно. Однако во многих случаях в краевых частях рифа доломиты высокой чистоты сменяются загрязненными примесью глинистого или алевритового материала, в которых содержание растворимого вещества составляет лишь 60—80% (табл. 6.2, колонка 2). Для междурифовых отложений характерны плотное сложение и хорошо выраженная слоистость, а также присутствие кремнистых конкреций и прослоев. Остатки фауны в этой фации менее обильны, чем в ядре и на крыльях рифа.

Рифы формации Расин в северном Иллинойсе росли в мелководном шельфе, оторачивающем Висконсинское нагорье. Их ядра представляли собой устойчивый по отношению к действию волн пористый жесткий каркас, сложенный скелетами рифообразующих организмов. Отложения крыльев рифа состоят из обломочного материала, выбитого волнами из зоны ядра и отложившегося на крутом склоне рифа совместно с остатками обитавших здесь организмов. Междурифовые пласты формировались в более глубокой спокойной воде,

Таблица 6.2

Химический состав рифовых и междурифовых доломитов формации Расин (Торнтон, Иллинойс)¹

	Рифовый доломит из Северного карьера	Междурифовый доломит из Южного карьера
CaCO ₃	54,57	36,47
MgCO ₃	44,30	26,77
SiO ₂	0,06	26,39
Al ₂ O ₃	0,25	4,66
Fe ₂ O ₃ + FeO	0,09	1,12
	99,27	95,41
MgO	21,54	14,70
CaO	30,57	20,43
Na ₂ O	0,11	
K ₂ O	0,01	
CO ₂	47,12	30,01
	99,35	65,14

¹ Карьер Торнтон расположен в 5 милях южнее Чикаго и в 5 милях западнее границы штата Индиана. Анализы приведены из работы Лоуэнстэма и др. (Lowenstam et al., 1956, стр. 11).

периодически обогащавшейся илистым материалом. Для более детального ознакомления с историей развития ниагарских рифов читатель отсылается к статье Лоуэнстэма (Lowenstam, 1957) и более ранним работам, упомянутым этим автором. Причины столь полной доломитизации ниагарской толщи до сих пор не ясны.

Другие месторождения известняков

К числу наиболее ценных высококальциевых известняков восточной части США относятся известняки формации Нью-Маркет (формации Мошейм в более ранних работах). Это плотные серые толстослоистые породы общей мощностью от 40 до 250 футов, состав которых близок к теоретическому составу карбоната кальция. По возрасту они относятся к началу среднего ордовика (ярус Чези). Нью-маркетские известняки разрабатываются химическими и другими компаниями в северной части долины Шенандоа в Виргинии (Edmundson, 1945). Известняки и вмещающие их толщи собраны в доволь-

но резкие складки и разбиты сбросами; в карьерах для них характерно крутое падение.

Наиболее широко эксплуатирующиеся высококальциевые известняки в центральной Пенсильвании принадлежат несколько более молодой ордовикской толще — *известнякам Валентайн* (Kay, 1943; Swain, 1946). Известняки Валентайн представляют собой горизонт формации Кертин, относящейся к группе Блэк-Ривер. Местное название известняков — *пласт Белфонт*; они имеют серую окраску, по сложеню меняются от толстослоистых до тонкоплитчатых и по составу очень чистые. Общая мощность известняков 90 футов, причем в верхних 70 футах разреза в среднем содержится 97—98% карбоната кальция. Падение крутое, местами вертикальное. Выходы известняков Валентайн на дневную поверхность расположены в пределах узкой полосы северо-восточного направления в округах Сентр и Клинтон. Вокруг Белфонта валентайнские известняки добываются при помощи открытых и подземных работ в качестве химического сырья для производства флюсов и других продуктов.

Третий тип промышленно важных известняков среднего ордовика в пределах Аппалачского складчатого пояса — *ортотрамор Холстон*, развитый в районе Ноксвилл в восточном Теннесси (Gordon et al., 1924). По особенностям использования эти известняки совершенно отличаются от двух описанных выше. Они представляют собой толстослоистую кристаллическую породу, которую можно извлекать в виде крупных пластин и блоков. Они хорошо воспринимают полировку и известны в строительной промышленности под названием *теннессийского мрамора*. Общая мощность формации — около 400 футов, однако суммарная мощность пригодных для разработки пластов составляет лишь несколько более 75 футов. В связи с развитием складчатости, проявлением тектонических нарушений и эрозии холстонский ортотрамор обнажается на поверхности в виде длинных узких полос, местами расширяющихся в участках ундуляции главных складок. Падение пород от пологого до опрокинутого. Окраска камня изменяется в пределах гаммы, обладающей высокими декоративными качествами, — от светло-серого через розоватый, серый, розовый и красный до глубокого шоколадно-коричневого цвета. Участки, обладающие различными оттенками, обычно отделены выдержанными темно-серыми стилолитовыми швами. Порода состоит из раковин и обломков раковин, мшанок, кораллов, лилий, брахиопод и других организмов, которые можно видеть в шлифах и на полированных поверхностях. Иногда встречаются вытянутые скелеты головоногих длиной до 7 футов.

Косая слоистость свидетельствует об обломочном происхождении породы. Изменения в окраске от розового до красного цветов обусловлены периодически отлагавшимися очень незначительными количествами окисного железа. После отложения известняки были частично перекристаллизованы с образованием двойниковых зерен кальцита, которые включают и замещают обломки окаменелостей. Холстонский ортограмм частично используется для внешней облицовки зданий, но главным образом применяется для покрытия полов внутренних помещений, стеновых панелей, подоконников и др.

В районе, окружающем Роджерс-Сити и Алпину, в северо-восточной части южной половины полуострова Мичиган, высококальциевый известняк добывается в больших количествах, чем в любой другой районе страны с развитой добычей известняка. Основная масса камня извлекается здесь из двух среднедевонских формаций — Данди и перекрывающих эту формацию известняков Роджерс-Сити. Эти формации различаются лишь по ископаемой фауне, но литологически очень сходны. Формация Данди, представляющая собой стратиграфический эквивалент известняков Делавэр штата Огайо (стр. 245), в районе Роджерс-Сити имеет мощность 140 футов, а мощность известняков Роджерс-Сити составляет около 70 футов. Эти формации сложены толстослоистыми кристаллическими серыми и коричневатыми известняками с обильной фауной, в главной массе содержащими 97—98% карбоната кальция. В основании формации Роджерс-Сити присутствует прослой доломита мощностью 8 футов (Ehlers, Radabaugh, 1938). В районе существуют очень крупные запасы высококачественного камня, и поскольку месторождения расположены поблизости от побережья озера Гурон, имеется возможность транспортировки добытого сырья водой в крупные промышленные центры района Великих озер. В карьере Роджерс-Сити, одном из крупнейших в мире, ежечасная добыча составляет около 4000 т. Добыча, дробление, сортировка и погрузка камня на суда производятся с использованием высокопроизводительного оборудования. Из добытого сырья выпускается около 45 сортов полупродуктов, различающихся величиной частиц и химическим составом, которые направляются на сталелитейные, химические, известковые и цементные заводы. Водные перевозки осуществляются в период с апреля по декабрь. В остальные месяцы производятся вскрышные работы и подготовка новых участков к эксплуатации.

Месторождения описаны достаточно хорошо, в связи с чем можно указать экономические и геологические условия, при которых известняки и доломиты приобретают промышленную

ценность. Ссылки на соответствующие конкретные примеры можно было бы привести в огромном количестве. К числу таких хорошо описанных известняков, в частности, относятся: известняки формаций Окала (эоцен) и Тампа (миоцен) Флориды; известняки миссисипского возраста, разрабатываемые в качестве флюсового сырья в бирмингемском сталелитейном районе Алабамы (Abbott, 1938); известняки того же возраста, разрабатываемые в качестве цементного сырья и для получения дробленого камня в районе Сент-Луиса (Hinchey et al., 1947); меловые известняки внутренних частей Береговой равнины, эксплуатирующиеся для получения цементного сырья у Далласа и Форт-Уэрт; палеозойские меловые известняки региона Скалистых гор; палеозойские метаморфизованные известняки многих горизонтов Калифорнии, широко используемые в промышленности и строительстве на западном побережье США (Bowen, 1957; Anonimous, 1959).

Методы добычи и переработка

Для всех видов использования, кроме штучного камня, известняки и доломиты добываются обычными методами из карьеров типа траншей и уступов. После удаления вскрыши применяются бурение и взрывные работы. Горную массу грузят в грузовики или железнодорожные вагоны и отправляют на дробильную фабрику. По абсолютному весу и объему вынимаемой горной массы известняки и доломиты оставляют далеко позади все неметаллические полезные ископаемые, за исключением песка и щебня. В настоящее время проявляется тенденция к уменьшению количества и увеличению размеров карьеров по добыче карбонатных пород и к применению при их разработке более мощного оборудования, что понижает стоимость продукции и увеличивает производительность. Поскольку дробленый известняк представляет собой массовый товарный продукт с низкой стоимостью единицы веса, то небольшая прибыль, получаемая с тонны, в течение года слагает значительную сумму.

В последние годы заметно развилось применение подземных методов добычи. Эти методы применяются в тех случаях, когда камень высокого качества залегает с заметным падением, как это, например, имеет место близ Бессемера, Алабама (Abbott, 1938), или, залегая горизонтально, перекрыт мощной толщей не представляющих практического интереса пород, как это имеет место у Сент-Дженевивы, Миссури (Smith, 1938). Подземные работы обычно начинают с проходки штольни из карьера. В нескольких случаях, например у

Барбертона, Огайо, оказалась рентабельной проходка шахт (Morrison, 1943). С целью сокращения затрат на известняковых рудниках избегают применения пиломатериалов, и эксплуатационные работы ведутся преимущественно по камерно-столбовой системе. Размеры камер определяются возможностью работы стандартных механических лопат, для транспортировки используются электровозы и дизельные грузовики. На первый взгляд может показаться, что подземные методы добычи проигрывают благодаря большой стоимости по сравнению с открытыми разработками, однако дополнительная стоимость добычи компенсируется возможностью круглогодичной эксплуатации в любую погоду и получением более чистого и однородного сырья. Сведения о системах разработки и стоимости продукции на современном известняковом руднике можно найти в работе Эванса и Эйлертсена (Evans, Eilertsen, 1957).

Переработка известняков неизменно включает дробление и грохочение, тогда как дальнейшие операции зависят от назначения сырья (заполнитель бетона, флюс, цемент, известь). Так же как и в развитии добычи, при переработке известняка проявляется тенденция к сооружению меньшего количества заводов и печей большей производительности.

Добыча штучного камня в карьере у Бедфорда, Индиана (стр. 249), начинается с удаления почвенного слоя гидравлическим способом или посредством бульдозеров. В пустые отвалы удаляются все присутствующие в разрезе части известняков Сент-Луис и некондиционный камень верхней части формации Сейлем. Вскрышные работы производятся с применением маломощных взрывов или, если существует опасность разрушения залегающего ниже кондиционного камня, применяется распиловка на блоки. Несколько облегчают снятие пород вскрыши присутствующие в них «иловые швы» («mud seams»), трещины отдельности, расширенные циркуляцией нисходящих грунтовых вод и выполненные красными остаточными глинами. Эти трещины иногда проникают и в массивные продуктивные породы, залегающие ниже. Первичные блоки кондиционного камня получают посредством камнерезной машины (стр. 111). Размеры вырезаемых блоков — 4 фута ширины, 8—12 футов толщины и 50 или 60 футов длины. Такие блоки отделяются от подошвы расклиниванием и опрокидываются на плоскую сторону. Затем они делятся на более мелкие блоки (mill block) с использованием бурения и расклинивания, при котором применяют метод «клина и шипа», описанный в разделе, посвященном мрамору, на стр. 130. Полученные блоки поднимают деррик-краном на железнодорожные платформы и отправляют на фабрики. Поскольку большая

часть бедфордского камня предназначена для специальных изделий, на разделочных фабриках содержат квалифицированные чертежные и модельные отделы. При изготовлении фигурных изделий пользуются специально для данного случая выполненными чертежами с необходимыми точными размерами. Перед упаковкой для отправки тщательно производится конечная отделка. Полное описание методов добычи и разделки бедфордского камня с иллюстрациями приведено Баулсом (Bowles, 1939, стр. 45—65). Этот же автор описал приемы добычи и переработки «теннесийского мрамора», относящегося к формации Холстон (Bowles, 1939, стр. 163—264).

Поиски и разведка

Объем поисковых и разведочных работ меняется в зависимости от масштаба и характера предполагающихся эксплуатационных работ. Простого изучения проб, взятых с поверхности, оказывалось достаточно для определения возможности заложения многих небольших и средних по размеру карьеров для получения щебня (заполнителя бетона) и известкового сырья. Но если экономические условия создают предпосылки для сооружения цементного, флюсового или химического заводов, необходимы более всесторонние исследования. В настоящее время такие предприятия обычно крупные, требующие несколько миллионов долларов капитальных вложений, и поэтому должна быть уверенность, что сырья хватит на много лет. Для цементного производства необходимы слабомагнезиальные известняки и расположенные поблизости месторождения глин или глинистых сланцев, а также достаточно легкое снабжение завода топливом; при организации производства флюсов следует убедиться в наличии крупных запасов высококальциевых известняков или очень чистых доломитов; производство извести и основных химикалий должно быть обеспечено высококальциевыми известняками и возможностью получения другого сырья, например солей.

Приступая к поискам, геолог прежде всего должен изучить литературу и убедиться в наличии требуемого сырья в интересующем его районе. Затем составляется проект детального картирования, разведочных поверхностных и буровых работ, опробования и полузаводских испытаний. В процессе разведки определяются мощность и характер пород вскрыши, чистота и запасы известняков (или доломитов), геологическая структура месторождения, характер закарстованности и другие факторы, которые могут сказаться неблагоприятно при развитии добычи. Аналогичные разведочные работы следует

произвести на месторождениях глин и другого сырья, которые предполагается эксплуатировать. В конечном счете необходимо установить запасы, пригодные к добыче, и стоимость их выемки.

При больших масштабах добычи детальная разведка частично производится уже в процессе эксплуатации. При геологической съемке района месторождения необходима гораздо большая детальность, чем при составлении обычных геологических карт. Недостаточно только констатации присутствия в известняках некоторой примеси глинистого и кремнистого материала; рудничному геологу необходимо передать после разведки сведения о содержании глинистого и кремнистого вещества и характере его распределения в пространстве с точностью $\pm 0,5\%$. Обычно в процессе разведки составляются топографическая карта месторождения, карты изопахит вскрыши и продуктивного известняка в масштабе 200 футов: 1 дюйм с горизонталями через 5 футов. На карте должны быть отражены все складки с вертикальной амплитудой более 3 футов и все тектонические нарушения со смещением более 1 фута. Запасы известняков ежегодно пересчитываются, и на конец каждого отчетного года производится точная съемка границ карьера с целью контроля данных разведочных работ. Иными словами, при разведке месторождений известняка необходимы столь же тщательные геологические исследования, как давно проводящиеся на рудных месторождениях. Поискам и разведке известняков посвящено мало литературы, но эти геологические исследования приобретают все более важное значение, особенно в отношении выявления высококачественного карбонатного сырья¹.

¹ **Заключительные замечания.** Известняки и доломиты широко развиты на территории СССР. Основной промышленный тип месторождений — крупные выдержанные пласты, в меньшей мере — рифогенные отложения. Важнейшие промышленные месторождения известняков имеют кембрийский, силурийский, девонский, карбоновый и третичный возраст. Главнейшие месторождения доломитов имеют палеозойский возраст, однако эксплуатируются также протерозойские (Кольский п-ов, Горная Шория) и относительно молодые, юрские (Кавказ) и палеогеновые (Средняя Азия) месторождения. Главная масса карбонатных пород добывается в крупных механизированных карьерах с годовой производительностью до 4 млн. т. В отличие от США подземная добыча карбонатных пород в СССР производится лишь в незначительных масштабах на мелких рудниках (главным образом в Поволжье, Крыму). Литература: Методы изучения осадочных пород, т. 1 и 2, Госгеолтехиздат, 1957; Страхов Н. М., Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов, Тр. ГИН АН СССР, 1951; Хворова И. В., Атлас карбонатных пород среднего и верхнего карбона Русской платформы, изд-во АН СССР, 1958. — *Прим. перев.*

ЛИТЕРАТУРА

- Abbott C. E. (1938). A limestone mine in the Birmingham district, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 62—75.
- Ames J. A. (1949). High-calcium limestones in the area served by the Baltimore and Ohio Railroad, Baltimore, Baltimore and Ohio Railroad Co.
- Barnes V. E. (1952). High purity Marble Falls limestone, Burnet County, Texas, Texas Bur. Econ. Geology Rept.-Inv., 17.
- Bennett W. A. G. (1944). Dolomite resources of Washington, Wash. Div. Geology Rept. Inv., 13.
- Boucher L. J. (1953). Cement rock beneficiation at the Universal Atlas Cement Co., Northampton, Pa., Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 196, 289—293.
- Bowen C. H. (1954). Subsurface study of the Maxville limestone in the Muskingum Valley, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 154.
- Bowen O. E., Jr. (1957). Cement, Calif. Div. Mines Bull., 176, 113—120.
- Bowen O. E., Jr. (1957). Limestone, dolomite, and lime products, Calif. Div. Mines Bull., 176, 293—306.
- Bowles O. (1929). Metallurgical limestone: problems in production and utilization, U. S. Bur. Mines Bull., 299.
- Bowles O. (1939). The Stone Industries, 2nd. ed., New York, McGraw-Hill, 33—66, 377—472.
- Bowles O. (1952). The lime industry, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7651.
- Bowles O. (1956). Limestone and dolomite, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7738.
- Bowles O., Jensen N. C. (1947). Industrial uses of limestone and dolomite, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7402.
- Cloud P. E., Jr. (1948). Assemblages of dimnutive brachiopods and their paleoecological significance, Jour. Sed. Petrology, 18, 56—60.
- Colby S. F. (1941). Occurrences and uses of dolomite in the United States, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7192.
- Cooper B. N. (1945). Industrial limestones and dolomites in Virginia: Clinch Valley district, Va. Geol. Survey Bull., 66.
- Cooper B. N. (1945). Industrial limestones and dolomites in Virginia: New River-Roanoke district, Va. Geol. Survey Bull., 62.
- Davis R. E. (1957). Magnesium resources of the United States — a geologic summary and annotated bibliography to 1953, U. S. Geol. Survey Bull. 1019-E, 393—515.
- Deiss C. (1950). Dolomite deposit near Sloan, Nevada, U. S. Geol. Survey Bull., 973-C.
- Deiss C. (1955). Dolomite deposit near Marble, Stevens County, Washington, U. S. Geol. Survey Bull., 1027-C.
- Edmundson R. S. (1945). Industrial limestones and dolomites of Virginia: northern and central parts of the Shenandoah Valley, Va. Geol. Survey Bull., 65.
- Ehlers G. M., Radabaugh R. E. (1938). The Rogers City limestone, a new Middle Devonian formation in Michigan, Mich. Acad. Sci., Arts, and Letters, Papers, 23, 441—446.
- Evans T. B., Eilertsen N. A. (1957). Mining methods and costs at the Sunbright limestone mine, Foote Mineral Co., Sunbright, Va., U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7793.
- Friedman S. A. (1956). Petrology of the Maxville limestone from parts of Muskingum and Perry counties, Ohio, Ohio Jour. Sci., 55, 1—9.

- Gazdik G. C., Tagg K. M. (1957). Annotated bibliography of highcalcium limestone deposits in the United States including Alaska, to April 1956. U. S. Geol. Survey Bull., 1019-1.
- Gordon C. H., Dale T. N., Bowles O. (1924). Marble deposits of east Tennessee, Tenn. Div. Geology Bull., 28.
- Goudge M. F. (1957). Limestone, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 144—148.
- Graf D. L., Lamar J. E. (1955). Properties of calcium and magnesium carbonates and their bearing on some uses of carbonate rocks, Econ. Geology, 50th Anniversary Volume, 639—713.
- Gray C. (1952). The high calcium limestones of the Annville belt in Lebanon and Berks counties, Pennsylvania, Pa. Geol. Survey Prog. Rept., 140.
- Ham W. E. (1949). Geology and dolomite resources, Mill Creek-Ravia area, Johnston County, Oklahoma, Okla. Geol. Survey Circ., 26.
- Heyl G. R., Walker G. W. (1949). Geology of limestone near Gazelle, Siskiyou County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 45, 514—520.
- Heyl G. R., Wiese J. H. (1949). Geology of limestone near Sonora Tuolumne County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 45, 509—513.
- Hinchev N. S., Fischer R. B., Calhoun W. A. (1947). Limestones and dolomites in the St. Louis area, Mo. Geol. Survey Rept. Inv., 5.
- Hopkins R. H. (1942). The dolomitic limestones of Florida, Fla. Geol. Survey Rept. Inv., 3.
- Kay G. M. (1943). Chemical lime in central Pennsylvania, Econ. Geology, 38, 188—203.
- Kessler D. W., Sligh W. H. (1927). Physical properties of the principal commercial limestones used for building construction in the United States, Nat. Bur. Stds. Tech. Paper, 349.
- Kottowski F. E. (1958). High-purity dolomite deposits of south-central New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Circ., 47.
- Lamar J. E. (1943). Agricultural Limestone resources of Illinois, their character and occurrence and methods of examination, Ill. Geol. Survey Circ., 94.
- Lamar J. E. (1957). Chemical analyses of Illinois limestone and dolomites, Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 200.
- Lamar J. E., Willman H. B. (1938). A summary of the uses of limestone and dolomite, Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 49.
- Lamborn R. E. (1945). Recent information on the Maxville limestone, Ohio Geol. Survey, 4th ser., Inf. Circ., 3.
- Lamborn R. E. (1951). Limestones of eastern Ohio, Ohio Geol. Survey, 4th ser., Bull., 49.
- Logan C. A. (1947). Limestone in California, Calif. Jour. Mines and Geology, 43, 175—357.
- Loughlin G. F. (1929). Indiana oolitic limestone: relation of its natural features to its commercial grading, U. S. Geol. Survey Bull., 811-C.
- Lowenstam H. A. (1957). Niagaran reefs in the Great Lakes area, Geol. Soc. Amer. Memoir 67, 215—248.
- Lowenstam H. A., Willman H. B., Swann D. H. (1956). The Niagaran reef at Thornton, Illinois, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Field Conf. Guidebook, Chicago Mtg.
- Mather K. (1953). Crushed limestone aggregates for concrete, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 196, 1022—1028.

- McCue J. B., Lucke J. B., Woodward H. P. (1939). Limestones of West Virginia, W. Va. Geol. Survey Rept., 12.
- Miller B. L. (1925). Limestones of Pennsylvania, Pa. Topog and Geol. Survey Bull., M7.
- Miller B. L. (1933). The Lehigh portland-cement district, Pennsylvania, 16th Internat. Geol. Cong. Guidebook 8, 30—40.
- Miller B. L., Breewood C. H. (1938). Flotation processing of limestone, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 195—217.
- Miller R. L. (1937). Stratigraphy of the Jacksonburg limestone, Bull. Geol. Soc. Amer., 48, 1687—1718.
- Morrison G. A. (1943). Mining a deep limestone deposit in Ohio, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub. 1622; Min. Tech., 7.
- Patton J. B. (1951). Industrial limestone in Indiana, Scientific Monthly, 72, 259—265.
- Perry T. G., Smith N. M., Wayne W. J. (1954). Salem limestone and associated formations in south-central Indiana, Ind. Geol. Survey Field Conf. Guidebook, 7.
- Pettijohn F. J. (1957). Sedimentary Rocks, 2nd ed., New York, Harper, 381—427.
- Prokopovich N., Schwartz G. M. (1956). Minnesota limestone, suitable for portland cement, Minn. Geol. Survey Summary Rept., 8.
- Rittenhouse G. (1949). Petrology and paleogeography of Creenbrier formation, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 33, 1704—1730.
- Rodgers J. (1954). Terminology of limestone and related rocks: an interim report, Jour. Sed. Petrology, 24, 225—234.
- Runnels R. T. (1951). Some high-calcium limestones in Kansas, Kan. Geol. Survey Bull., 90, 77—104.
- Smith N. M. (1957). Selection of quarry sites in the dimension limestone belt of Indiana, Bull. Geol. Soc. Amer., 68, 1797.
- Smith R. A. (1916). Limestones of Michigan, Mich. Geol. and Biol. Survey Pub., 21, Geol. ser. 17, pt. II, 101—311.
- Smith R. W. (1938). Limestone mining at Ste. Genevieve, Missouri, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 76—98.
- Stauffer C. R. (1944). The geological section at the limestone mine, Barberton, Ohio, Amer. Jour. Sci., 242, 251—271.
- Stauffer C. R. (1950). The high magnesium dolomites and dolomitic limestones of Minnesota, Minn. Geol. Survey Summary Rept., 4.
- Stauffer C. R. (1957). The Columbus limestone, Jour. Geology, 65, 376—383.
- Stokley J. A. (1949). Industrial limestones of Kentucky, Ky. Geol. Survey Rept. Inv., 2.
- Stokley J. A., McFarlan A. C. (1952). Industrial limestones of Kentucky, № 2, Ky. Geol. Survey Rept. Inv., 4.
- Stokley J. A., Walker F. H. (1953). Industrial limestones of Kentucky, № 3, Ky. Geol. Survey Rept. Inv., 8.
- Stout W. (1941). Dolomites and limestones of western Ohio, Ohio Geol. Survey, 4th. ser., Bull., 42.
- Stout W. (1944). Dolomites, Ohio Jour. Sci., 44, 219—235.
- Swain F. M. (1946). Geology and economic aspects of the more important high-calcium limestone deposits in Pennsylvania, Pa. State Coll., Min. Ind. Exp. Sta. Bull., 43.
- Thield G. A., Stauffer C. R. (1947). The high calcium limestones of Minnesota, Minn. Geol. Survey Summary Rept., 1.
- Walker G. W. (1950). Sierra Blanca limestone in Santa Barbara County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 1-A.

- Walker G. W. (1950). The Calera limestone in San Mateo and Santa Clara counties, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 1-B.
- Wayland J. R., Ham W. E. (1955). General and economic geology of the Baum limestone, Ravia-Mannsville area, Oklahoma, Okla. Geol. Survey Circ., 33.
- Weitz J. H. (1942). High-grade dolomite deposits in the United States, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7226.
- Williamson D. P. (1958). Cement and concrete, Colo. School of Mines, Min. Ind. Bull., 1, № 3.
- William H. B. (1943). High-purity dolomite in Illinois. Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 90.
- Anonymous (1955). Cement, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 8, № 2, 1—10.
- Anonymous (1959). Limestone, dolomite, and lime products, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 12, № 2, 1—15.

ФОСФАТНЫЕ ПОРОДЫ

Введение

Промышленный интерес в качестве фосфатного сырья может представить любая горная порода, которая содержит один или несколько фосфатных минералов в количестве и форме, допускающих их промышленное использование для получения фосфатных соединений или элементарного фосфора. Приведенное определение имеет скорее прикладную, чем геологическую сущность. С изменением технических и экономических условий промышленное значение месторождений может измениться. Так, некоторые пегматиты Квебека ранее использовались в качестве фосфатного сырья, однако уже в течение многих лет они не разрабатываются и поэтому не могут классифицироваться сейчас подобным образом. Значение фосфатных материалов может изменяться и в результате усовершенствования технологии обогащения. В течение некоторого времени после открытия месторождений фосфатных руд в Теннесси низкокачественные залежи рассматривались как непромышленные, однако впоследствии прогресс технологии обогащения этих руд превратил их в промышленное сырье, и прежние отвалы пустых пород были переработаны.

Фосфатные породы подразделяются на два главных типа. К первому из них относятся кристаллические горные породы с промышленно интересными содержаниями минерала *apatita*. Обычный апатит представляет собой кальциевый фторфосфат, $(Ca, F)Ca_4(PO_4)_3$, в котором фтор может частично замещаться хлором или гидроксидом. Несмотря на то что апатит — обычный минерал и встречается во многих типах пород, он лишь в исключительных случаях образует крупные

скопления. В течение ряда лет до 1900 г. промышленное значение в качестве источника апатита имели отмеченные выше квебекские пегматиты. В настоящее время апатитсодержащие породы в крупных масштабах разрабатываются на северо-западе СССР, южнее Мурманска. Здесь в интрузивных породах содержится до 65—70% апатита, причем в остальном они состоят главным образом из нефелина. Выявлены очень крупные запасы этого сырья. Первичные фосфатные породы разрабатываются также на южном побережье Норвегии.

Около 90% мировой добычи фосфатного сырья, в том числе вся продукция США, приходится на осадочные фосфатные породы, *фосфориты*. Фосфориты встречаются в определенных формациях морского происхождения либо в виде горизонтов плотных темных тонкозернистых пород, переслаивающихся с аргиллитами и известняками, либо в качестве пластов светлоокрашенных гравелитов, содержащих конкреции, желваки и гальки фосфатного вещества, заключенные в песчаной фосфатной основной массе. Меньшее значение имеет третий тип фосфоритов, представленный остаточными скоплениями, возникшими за счет первых двух типов.

Главный минерал фосфоритов — карбонат-апатит. Однако в связи с переменным составом, обусловленным изоморфными замещениями и обычным скрытокристаллическим строением, осадочное фосфатное вещество называется *коллофаном*; значение этого термина в минералогическом смысле довольно неопределенно, как это имеет место, например, и в отношении названия лимонит. Помимо коллофана в фосфоритах обычно присутствуют и другие минералы обломочного или аутигенного происхождения. Петрография и минералогия фосфоритов рассмотрены в работах Мак-Конелла (McCoppell, 1950, 1958).

Фосфориты растворимы в соляной кислоте, но выделяют углекислоту слабо, без вскипания, благодаря чему это их свойство может остаться незамеченным. При значительном содержании фосфат определяется посредством получения бриллиантово-желтого осадка, образующегося при взаимодействии фосфоритов с молибдатом аммония.

Таким образом, ввиду небольшого промышленного значения первичного апатита термин *фосфатная порода* по существу представляет собой синоним термина *фосфорит*.

В США в 1957 г. было добыто всего около 14 млн. длинных тонн фосфоритов общей стоимостью около 92 млн. долл.¹

¹ Мировая добыча фосфоритов в 1962 г. (тыс. длинных тонн) — 46 040 (в 1953—1957 гг. в среднем 30 430), в том числе: США 19 382, Марокко 8033, Тунис 2064, в остальных странах добыча не превышала 1 млн. т. — *Прим. перев.*

Промышленные месторождения фосфоритов США располагаются в пределах трех регионов: на полуострове Флорида, в центральном Теннесси и в прилегающих друг к другу частях Айдахо, Монтаны, Юты и Вайоминга. Небольшие месторождения известны в Алабаме, Арканзасе, Северной и Южной Каролине, Джорджии, Кентукки, Оклахоме, Пенсильвании и Техасе, причем в некоторых из этих штатов периодически производилась добыча фосфоритов.

История развития и экономика фосфоритной промышленности США и методы разведки этого сырья кратко рассмотрены Джонсоном (Johnson, 1944), а их запасы по состоянию на 1940 г. — Мансфилдом (Mansfield, 1940). Работа, посвященная методам добычи, переработки и рынку фосфоритов, была опубликована в 1958 г. (Ruhlman, 1958). Нойес (Noyes, 1944) описал фосфатную промышленность Марокко, Алжира, Туниса, СССР и ряда других стран. Важное место в работе 19-го Геологического конгресса, состоявшегося в Алжире в 1952 г., занимал симпозиум, посвященный проблемам генезиса осадочных фосфоритных месторождений. Настоящий раздел был написан автором уже после того, как в трудах 19-го Геологического конгресса были опубликованы материалы симпозиума, посвященного фосфоритам (International Geol. Congress, Comptes Rendus, Fas. XI, 1953).

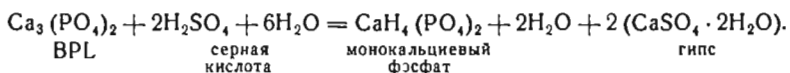
Переработка и применение

Фосфатные породы используются как химическое сырье в связи с присутствием в них фосфата; их физические свойства имеют некоторое значение лишь в той мере, в какой они влияют на процессы добычи и переработки. Содержание фосфатного вещества выражают двумя способами. Согласно первому из них определяют количество «костной фосфатной извести» (BPL) трикальциевого фосфата $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Содержание костной фосфатной извести в концентратах колеблется от 50 до 85%. В других случаях фосфатные породы характеризуются содержанием пятиоксида фосфора P_2O_5 . Отношение содержания BPL и P_2O_5 составляет около 2,18:1. Так, в породе с содержанием 60% BPL количество P_2O_5 составляет около 27,5%.

Все растения и животные нуждаются для поддержания своего существования в фосфоре. По мере развития сельского хозяйства полезные вещества почвенного слоя удаляются из земли, в результате чего культурные земли обедняются фосфатом. В конце XVIII в. земледельцы начали вносить в почву молотые кости (костную муку), которая восполняла потери

фосфата при возделывании почвы. По предложению Либига кости обрабатывались серной кислотой для переведения содержащихся в них фосфатов в более растворимое и усвояемое растениями вещество. В 1842 г. английский фермер Лоуэс запатентовал процесс обработки кислотой фосфатных стяжений из отложений фосфоритов. Он назвал получаемое таким образом вещество *суперфосфатом*, и этот термин до настоящего времени используется для обозначения продуктов, получающихся в результате обработки фосфатных пород кислотой.

Суперфосфат производят обработкой тонкомолотых фосфатных пород серной кислотой:



Правая половина приведенного уравнения отвечает составу суперфосфата. Монокальциевый фосфат — вещество, которое растворяется в воде, а следовательно, хорошо усваивается растениями. Гипс остается в суперфосфате и несколько разубоживает его. О размерах этого разубоживания можно судить по следующим цифрам. Из одной длинной тонны фосфатной породы с содержанием P_2O_5 33,9% можно получить почти 2 короткие тонны суперфосфата, однако содержание P_2O_5 в последнем будет лишь около 20%.

В начале XX в. было установлено, что разбавление гипсом можно преодолеть посредством производства продукта, получившего название *тройной суперфосфат*. При изготовлении последнего используется крепкая серная кислота в количествах, необходимых для превращения почти всего кальция перерабатываемой породы в сульфат кальция, и перевода P_2O_5 в ортофосфорную кислоту H_2PO_4 . Полученной фосфорной кислотой затем обрабатывают новую порцию фосфатной породы, большая часть BPL которой превращается в связи с этим в монокальциевый фосфат без образования гипса. Тройной суперфосфат содержит 45—48% усвояемой P_2O_5 . Поскольку тройной суперфосфат представляет собой более концентрированный продукт по сравнению с обычным суперфосфатом, он имеет более высокую стоимость, а следовательно, выдерживает транспортировку на более далекие расстояния. Тем не менее обычный суперфосфат используется значительно шире, так как его производство проще и дешевле.

Около 60% добываемых в США фосфатных пород используется в сельском хозяйстве. Низкосортное сырье может непосредственно размалываться и вводиться в почву в качестве кальциевого и фосфорного удобрения, однако подавляющая

масса добытого сырья поступает на переработку для получения суперфосфатов.

Большая часть остального добываемого сырья используется в производстве ортофосфорной кислоты и элементарного фосфора в электропечах. Часть полученной фосфорной кислоты затем применяется для получения тройного суперфосфата, однако в подавляющей массе этот продукт используется во многих целях в пищевой, химической и фармацевтической отраслях промышленности. Химикалии, полученные с использованием фосфорной кислоты, применяются в качестве агентов, ускоряющих брожение, и умягчителей воды, в моющих порошках, пластификаторах, инсектицидах, напитках и керамике, кроме того, в очистке нефти и фотографии, а также для многих других целей. Фосфор используется в сталелитейном деле, пиротехнике и производстве дымовых шашек, а также при производстве взрывчатых веществ. Бесчисленные применения фосфатов рассмотрены в работе Джекоба (Jacob, 1944).

Побочные продукты

К извлекаемым в настоящее время или потенциальным побочным продуктам фосфоритной промышленности относятся фтор, уран, ванадий и селен. Несмотря на то что в коллофанах содержание фтора обычно составляет 3—4%, этот элемент до настоящего времени не извлекается в сколько-нибудь заметном количестве из огромной массы перерабатываемых фосфатных пород¹: США в значительной мере исчерпали свой главный источник фтора — месторождения флюорита (стр. 399) — и импортируют это полезное ископаемое. Неизбежным, кажется, должен быть повышенный интерес к проблеме извлечения фтора из фосфатных пород. Горным бюро США опубликован (Hall, Vapping, 1958) отчет по экспериментальным работам, посвященным извлечению фтора из фосфоритов, и по использованию дефторизированных фосфатных пород.

Значительный потенциальный источник урана представляют собой месторождения фосфоритов с содержанием U_3O_8 0,01—0,03%. U_3O_8 входит в состав коллофана, и его содержание варьирует вместе с содержанием P_2O_5 . Кондиционные содержания урана установлены в месторождениях фосфоритов западных штатах США и во Флориде. Из флоридских фосфо-

¹ В СССР в значительных количествах получают фтористые соединения из газов, отходящих при переработке фосфоритов. — *Прим. перев.*

ритов уже получают небольшие количества урана в качестве побочного продукта производства удобрений и химикатов. Читателям, интересующимся этим типом уранового оруденения, можно рекомендовать познакомиться с общим обзором по этой проблеме (Davidson, Atkin, 1953) и аннотированной библиографией (Curtis, 1957).

Многие миллионы тонн фосфоритов западных штатов США, особенно Айдахо, содержат примесь ванадия. Этот металл присутствует здесь в форме V_2O_5 , содержание которого колеблется от нескольких десятых долей до более 1%. Промышленное извлечение ванадия из фосфоритов в качестве побочного продукта при производстве суперфосфата было начато на одном заводе в 1941 г. и к 1947 г. оно составило около 50 т в год (Williamson, 1958). В 1954 г. извлечение ванадия из фосфоритов было прекращено, поскольку количество этого металла, получаемого в качестве побочного при переработке урановых руд, вполне удовлетворяло существующие потребности.

В противоположность ванадию селен остается дефицитным в США элементом, и в качестве возможного его источника исследуются месторождения фосфоритов Запада США. Хотя на этих месторождениях местами присутствуют весьма богатые селеном породы (Davidson, Gulbrandsen, 1957), до 1955 г. не удалось установить промышленно интересных в отношении селена участков.

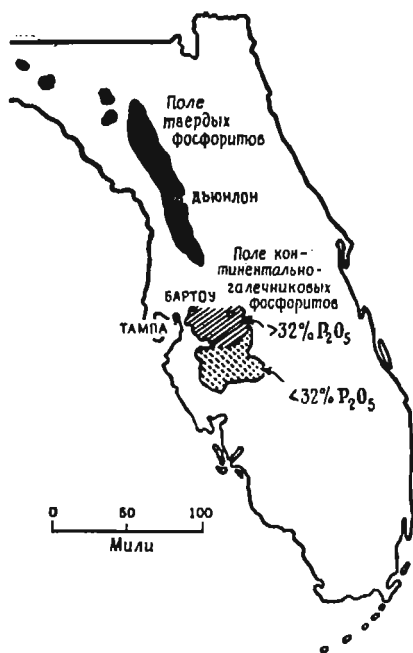
Месторождения штата Флорида

Среди фосфоритных месторождений Флориды выделяются четыре типа: континентально-галечниковые (land-pebble), твердые (hard rock), мягкие (soft rock) и аллювиально-галечниковые (river-pebble).

Континентально-галечниковые месторождения

Из месторождений континентально-галечниковых фосфоритов Флориды добывается около $\frac{2}{3}$ всей продукции фосфатных пород США и 95% продукции Флориды. Фосфоритоносные отложения этого типа развиты в пределах района неправильных очертаний протяженностью в меридиональном направлении около 70 миль и шириной около 40 миль, который расположен в западной половине центральной части полуострова Флорида (фиг. 6.3). В южной части района фосфатные породы содержат лишь 25—32% P_2O_5 и не разрабатываются в настоящее время, тогда как в северной части фосфорито-

носного бассейна количество P_2O_5 составляет 32—36%, и здесь несколько компаний ведут интенсивные эксплуатационные работы. Эксплуатационные работы проводятся главным образом в округах Хилсборо и Полк, примерно в 50 милях к востоку от Тампа.



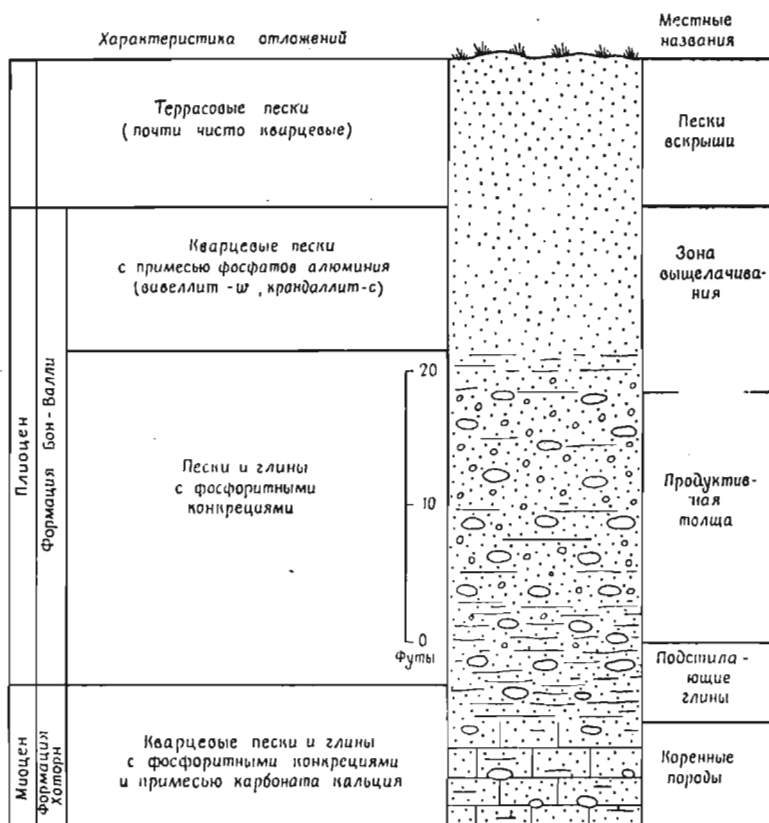
Фиг. 6.3. Распределение полей континентально-галечниковых и твердых фосфоритов на полуострове Флорида.

Средний горизонт состоит главным образом из фосфатных песков и глин, а верхний — представлен доломитами и доломитистыми известняками. В пределах эксплуатируемой на фосфориты площади развит только нижний горизонт формации, тогда как средний и верхний удалены эрозией.

Повсеместно в формации Хоторн присутствуют фосфатные стяжения, размеры которых колеблются от песчаных до более $1/2$ дюйма в поперечнике. Относительно мелкие зерна имеют янтарный, бурый или черный цвет, а некоторые из них обладают сильным глянцем; гальки тусклые рыжеватобурые, белые и черные. Содержание гальки весьма изменчиво как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях, и в целом

Фосфоритосодержащий горизонт представляет собой осадки прибрежной равнины и залегает почти горизонтально. Наиболее древние обнажающиеся здесь породы относятся к формации Хоторн (миоцен), к которой в северной Флориде и южной Джорджии приурочены залежи фуллеровых земель (стр. 225). Формация Хоторн в северной части фосфоритосодержащего бассейна выклинивается, а в южной части ее мощность, постепенно увеличиваясь, достигает нескольких сот футов. В участках наиболее полного развития формация состоит из трех горизонтов. Нижний горизонт сложен желтовато-серым фосфатным мергелем и твердым желтоватым известняком с хорошо сохранившимися отпечатками раковин.

формация Хоторн не несет промышленных концентраций фосфоритов, за исключением небольших участков, где в пределах нескольких верхних футов нижнего горизонта залегают



Ф и г. 6.4. Стратиграфический разрез толщи, вмещающей континентально галечниковые фосфориты Флориды. (По данным Cathcart et al., 1953.)

продукты его перемыва, обогащенные дополнительно привнесенным материалом.

На формации Хоторн с размывом залегают формация Бон-Валли (плиоцен), к которой приурочены промышленные скопления фосфоритов (фиг. 6.4). Нижняя и средняя части этой формации представлены плохо отсортированными глинами, алевритами, песками и гравием; суммарная мощность этого переслаивания составляет около 20 футов. Гравийный материал преобладает, и формацию иногда называют *гравий Бон-*

Валли. Поперечник наиболее крупных обломков превышает 1 фут. Весь гравий и значительная часть песчаного и глинистого материала представлена преимущественно фосфоритом, состав которого определен как карбонат-фторапатитовый (Cathcart et al., 1953, стр. 83). В остальном песчаный материал представлен преимущественно кварцем, а глинистый — главным образом монтмориллонитом. Выше фосфоритного гравия залегает менее мощный горизонт в среднем около 6 футов, состоящий из кварцевого песка и каолина с обильной примесью зерен вавеллита (водного фосфата алюминия) и крандаллита (водного фосфата кальция и алюминия). Формация Бон-Валли перекрывается террасовыми плейстоценовыми песками, на которые в свою очередь налегает мало-мощный слой песка, алеврита и почвы.

Породы формаций Хоторн и Бон-Валли различаются с трудом даже в стенках эксплуатационных выработок и совсем неотличимы по отдельным участкам керна буровых скважин. В связи с этим более удобным оказывается пользоваться в целях стратиграфической корреляции названиями, приведенными на фиг. 6.4 в правой колонке. Из приведенных там названий наиболее приняты в фосфоритоносном бассейне термины *вскрыша* (owerburden), *продуктивная толща* (материнская порода, matrix) и *подстилающие глины* (bed clay), при этом к продуктивной толще относится разрабатываемая часть разреза. К продуктивной толще относятся примерно нижние две трети формации Бон-Валли (пласты гравия) и местами также несколько верхних футов разреза формации Хоторн. Продуктивная толща в типичном случае представлена светлыми желтовато-серыми крошащимися в пальцах песками и гравием. Мелкие зерна обладают более светлой окраской, а относительно крупные гальки — серой до черной. В гравии обычно присутствуют зубы акул и обломки костей ламантинов (водное животное «морская корова»). В нижних нескольких футах продуктивной толщи могут появляться угловатые обломки пород горизонта подстилающих глин.

Эксплуатируются лишь отдельные участки бассейна. Пригодность участка для эксплуатации определяется следующими факторами (Cathcart et al., 1953, стр. 84): 1) запасами извлекаемого фосфата на акр, которые определяются как мощностью продуктивной толщи, так и содержанием фосфатных желваков в ней; 2) содержанием P_2O_5 в фосфоритных желваках; 3) мощностью перекрывающей толщи. Запасы извлекаемого фосфата на акр широко варьируют, но в среднем составляют 5 тыс. т. Содержание P_2O_5 в желваках фосфоритов колеблется от 30 до 36%. Содержание P_2O_5 меняется в об-

ратной зависимости от размеров зерен; это, вероятно, связано с тем, что более крупные стяжения фосфорита содержат больше карбоната кальция, чем мелкие. Таким образом, большую ценность представляют «мелкогалечниковые», а не «грубогалечниковые» пласты. Мощность перекрывающей толщи в среднем составляет 10—15 футов.

Происхождение континентально-галечниковых фосфоритов представляется Кэткарту (Cathcart, 1950, стр. 144—148) следующим. Фосфориты формации Хоторн возникли в результате прямого выпадения фосфатного вещества из морской воды, концентрирующегося при этом вокруг некоторых центров, подобных обломочкам известняка или раковин. После отступления хоторнского моря начался период эрозии. В позднемииоценовое время был краткий период наступания моря, из которого отложился тонкий прослой песчаника, перекрывший размытую формацию Хоторн по поверхности несогласия. Новое поднятие суши выше уровня моря привело к развитию в породах формации Хоторн процессов интенсивного выщелачивания карбоната кальция грунтовыми водами, в результате чего сформировались пески или песчаные глины с переменным количеством фосфатного вещества в виде желваков. При наступании моря периода Бон-Валли это остаточное фосфатное вещество совместно с выветрелыми и дезинтегрированными породами известковой постели было переработано, в связи с чем возникла дополнительная концентрация фосфата. Обломки невыщелоченных известняков были окатаны, округлены и замещены фосфатным веществом. Так сформировался фосфоритный гравий, представляющий в настоящее время промышленный интерес. В южной части фосфоритоносного бассейна, где формация Хоторн представлена преимущественно кластическими, а не известковыми осадками, отложения вышележащей формации Бон-Валли значительно беднее фосфатным веществом.

Петерсон (Peterson, 1955) полагает, что глинистый минерал, присутствующий в фосфоритах, представлен аттапульгитом, что свидетельствует о пресноводном происхождении этих отложений. Исходя из этого, Петерсон приходит к выводу, что галечниково-фосфоритные отложения сформировались частично, а возможно и полностью, в результате переработки фосфоритов формации Хоторн в обширном пресноводном озере.

Вслед за отложением осадков формации Бон-Валли произошло отступление моря (или исчезновение озера), и в верхних нескольких футах толщи проявилось интенсивное выщелачивание с образованием песков, состоящих из зерен фосфата алюминия.

Фосфор в море (или озеро) времени Бон-Валли мог поступать из выветривающихся известняков формации Хоторн неизвестной мощности или, может быть, привносился с севера потоками, размывавшими гуановые острова (стр. 275).

Эксплуатационные работы ведутся крупными карьерами. Удаление перекрывающей толщи и выемка продуктивных пород производится несколькими драглайнами, относящимися к числу крупнейших в мире. Один из них, «Биггер-Диггер» (не следует путать с его собратом «Супер-Скупер»), имеет стрелу длиной 215 футов, ковш емкостью 21,4 куб. ярдов и глубину выемки 130 футов¹. Породы вскрыши перемещаются в отвалы вне участка разработки. Продуктивные породы укладываются на прочном грунте и смываются гидромониторами во временный зумпф. Затем отсюда смесь воды, песка и гравия, называемая шламом, перекачивается по трубопроводу на промывочную фабрику. Здесь перед сушкой и отправкой на кислотоперерабатывающий завод фосфатное сырье классифицируется по размерам частиц и концентрируется с применением технически довольно совершенных процессов².

Методы добычи и обогащения фосфоритов рассмотрены в нескольких статьях (Becker, 1938; Fuller, Casler, 1944; Pamp- lip, 1938). Разведка посредством стандартного колонкового бурения описана Фи́ли (Feeley, 1949) и Раунди и Мэнсфилдом (Roundy, Mansfield, 1938). Повышенное содержание урана во флоридских фосфоритах (стр. 268) было установлено аэrorадиометрическими исследованиями (Moxham, 1954). Подсчет запасов и оценка месторождений фосфоритов производится с использованием следующих приемов: 1) построение карт изопакет перекрывающей и продуктивной толщ; 2) составление карт изолиний поверхности «основания», т. е. кровли известняков или подстилающих глин; 3) составление планов равных содержаний BPL (Wayland, 1951).

Твердые фосфориты.

Несмотря на то что фосфориты этого типа развиты в пределах пояса протяженностью около 115 миль (фиг. 6.3), они разрабатываются лишь около Льюнлона в округе Мэрион на

¹ В 1962 г. при разработке фосфоритов в Марокко начали использовать новейший ковшовый роторный экскаватор с длиной стрелы 66 футов производительностью 700 т в час. — *Прим. перев.*

² В последние годы продолжают исследования по улучшению технологии обогащения и переработки фосфоритов. В частности, в 1962 г. впервые были получены положительные результаты по применению флотации к обогащению фосфоритов Флориды и Теннесси. — *Прим. перев.*

нагорье Окала, приблизительно в середине полосы их распространения. Эти фосфориты приурочены к формации Алачуа, которая, по данным Геологической службы США, относится к плиоцену и сопоставляется с формацией Бон-Валли, распространенной южнее в пределах района месторождений галечниковых фосфоритов. Однако, согласно недавним исследованиям Вернона (Vernon, 1951, стр. 181—208), формация Алачуа имеет миоценовый возраст и частично эквивалентна, а частично моложе формации Хоторн галечникового фосфоритоносного бассейна. Осадки формации Алачуа имеют аллювиальное и озерное происхождение. Они представлены фосфатными глинами и песками, а в нижней части формации присутствуют участки гетерогенной смеси галек и валунов кремнелых древесных остатков, а также известняков, кремней, обломков костей позвоночных животных и фосфоритов. Фосфатные гальки и валуны называются твердыми фосфоритами. Отложения формации Алачуа покоятся на известняках эоценового и олигоценового возраста, в кровле которых имеются глубокие карстовые впадины. К этим депрессиям и приурочены главные скопления фосфатного обломочного материала. По размеру залежи колеблются от небольших карманов до тел площадью в несколько акров и мощностью до 100 футов. В некоторых более крупных месторождениях запасы фосфоритов составляют тысячи тонн, причем вес отдельных глыб фосфатной породы может достигать нескольких тонн. Во многих случаях качество фосфоритов высокое, и содержание BPL в них может достигать 82%.

Наиболее детально изучал происхождение этих отложений Селлардс (Sellards, 1913), который пришел к заключению об их образовании за счет растворения и переотложения фосфатного вещества из более древних осадков, наиболее вероятно из отложений формации Хоторн. Полагают, что эта последняя формация была развита в пределах всего нагорья Окала и под воздействием грунтовых вод из нее был выщелочен карбонат кальция, тогда как фосфат накапливался в виде неправильных остаточных покровов, впоследствии несколько перемытых и смешанных с нефосфатным материалом. Вернон (Vernon, 1951) привел доказательства того, что формация Хоторн не отлагалась в пределах нагорья Окала, и предположил, что в миоценовое время район нагорья был областью низменных островов, на которых возникали крупные птичьи базары. По мнению этого исследователя, фосфориты сформировались *in situ* под воздействием на нижележащие известняки фосфорной кислоты, выделяемой птицами, как это имеет место в настоящее время на гуановых островах Тихого

океана. Вернон считает, что область выходов формации Алачуа была источником фосфорной кислоты, за счет которой в значительной мере сформировались морские фосфатные отложения формации Хоторн.

Методы добычи и переработки твердых фосфоритов рассмотрены Киблером (Kibler, 1942). Значительная часть добываемого сырья этого типа экспортируется в Европу.

Прочие месторождения

Несколько компаний добывают *мягкие фосфориты* — фосфатные пески и глины формации Алачуа. Это сырье высушивается и поступает в продажу без какой-либо дальнейшей переработки для непосредственного внесения в почву. Масштабы добычи фосфоритов этого типа незначительны по сравнению с добычей континентально-галечниковых и твердых фосфоритов. *Аллювиально-галечниковые фосфориты* (river-ripple deposits) обнаружены на барах и в поймах современных рек. Фосфат присутствует в виде галек и желваков, возникших в результате размыва в плейстоценовое время коренных миоценовых и плиоценовых пород. Скопления аллювиально-галечниковых фосфоритов невелики, представлены грубозернистым материалом и имеют небольшое содержание P_2O_5 . В течение многих лет они не разрабатываются и представляют собой потенциальное сырье.

Месторождения Теннесси

Введение

Важные месторождения фосфоритов располагаются вдоль западной границы Центрального бассейна в штате Теннесси, который представляет эрозионную впадину, возникшую на месте сводового поднятия Нашвилл и окруженную неправильным эскарпом нагорья Хайленд-Рим. В центральной части бассейна обнажаются отложения среднего ордовика, а к периферии его последовательно выходят на поверхность все более молодые осадки. В западной части бассейна эта последовательность осадков завершается отложениями миссисипского возраста. Общее региональное падение пород составляет всего лишь 15 футов на милю, но существуют многочисленные локальные складки, а в ордовикских известняках проявилась трещиноватость отдельности.

В течение многих лет центр добычи фосфоритов находится в округе Мори, приблизительно в 40 милях юго-западнее

Нашвилла. Эксплуатационные работы ведутся также в трех соседних округах, а еще в четырех имеются крупные запасы фосфоритов. Фосфориты Теннесси детально описаны в работе Смита и Уайтлэча (Smith, Whitlatch, 1940).

Различают три типа фосфоритов — голубые, белые и бурые. Голубые фосфориты связаны с неизменной частью горизонта песчаников Хардин, входящего в состав глинисто-сланцевой формации Чаттануга (девон—миссисипий), которая обнажается в краевой части нагорья Хайленд-Рим. Мощность этих фосфоритов колеблется от первых дюймов до 3—4 футов, а содержание P_2O_5 в них достигает 32—34%. Разработка голубых фосфоритов ведется только открытым способом, и все запасы, требующие для их извлечения проходки подземных горных выработок, считаются резервными. После 1937 г. этот тип фосфоритов не разрабатывается в сколько-нибудь крупных масштабах.

Белые фосфориты встречаются в неправильных карманах и кавернах в силурских известняках. Они представляют собой вторичные образования, возникшие в результате переотложения и замещения кремней и известняка нисходящими инфильтрационными водами. Источник фосфатного вещества — голубые фосфориты, залегающие выше по разрезу. Как это и можно было предполагать, белые фосфориты не выдержаны в пространстве и имеют изменчивое качество. В отдельных образцах содержание P_2O_5 достигает 41%, но в более крупных залежах среднее содержание этого компонента не поднимается выше 28—30%. Суммарная добыча фосфоритов этого типа достигла лишь нескольких тысяч тонн.

Бурые фосфориты

Промышленно важные фосфориты Теннесси представляют собой остаточные отложения, возникшие в результате воздействия грунтовых вод на высокофосфатистые ордовикские известняки. Главнейшая материнская толща — известняки формации Бигби — Каннон. (Эта формация получила двойное название в связи с тем, что она представлена двумя фациями, каждая из которых ранее считалась самостоятельной стратиграфической единицей и имела свое название.) Мощность этих известняков около 60 футов. Они залегают на глинистых и фосфатистых известняках формации Хермитидж и перекрываются тонкоплитчатыми глинистыми известняками формации Катейз. Совместно эти три формации составляют группу Нашвилл среднеордовикского возраста.

В пределах большей части области развития бурых фосфоритов лишь фация Бигби обогащена фосфатным веществом настолько, что за счет нее возникают богатые остаточные месторождения фосфатных пород. Эта фация представлена средне- и грубозернистыми известняками, которые на свежем изломе имеют голубовато-серую окраску и отчетливо массивное сложение, однако на выветрелых поверхностях обнаруживают серую или бурую окраску, некоторую пластинчатость и косую слоистость. Неизмененное фосфатное вещество в них приурочено к тонким зернистым прослоям, которые окрашены в темно-голубые до бурого цвета и обычно несут отпечатки раковин или включения окаменелостей. Содержание P_2O_5 в отдельных слоях может быть очень высоким, но среднее его содержание в породе в целом составляет лишь 2—9%.

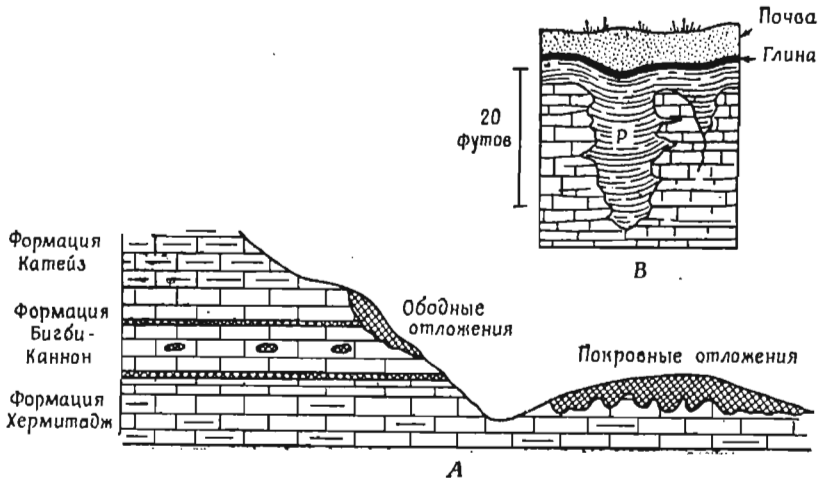
Судя по косой слоистости и обломочному характеру многих окаменелостей, морской бассейн, в котором отлагались известняки Бигби, был бурным. Представляется вероятным, что фосфатное вещество химически осаждалось в виде колофана и замещало известковые раковины брахиопод, гастропод и мшанок. Причины столь высокой концентрации фосфора в бигбийском море неизвестны.

Остаточные фосфориты накапливались в тех участках, где в результате эрозии плейстоценовыми реками были удалены породы формации Кэтейз и более молодые формации, а на ровных или слабо холмистых поверхностях обнажились известняки Бигби (фиг. 6.5). После этого грунтовые воды, насыщенные углекислотой и гуминовыми кислотами, просачивались через известняки в вертикальном и горизонтальном направлениях. Эти воды выщелачивали карбонат кальция, тогда как менее растворимый фосфат накапливался в виде остаточных покровов. Известняковая подошва таких покровов обычно очень неровная, и мощность остаточных фосфоритов колеблется от немногих дюймов до 50 футов. Наиболее мощные участки, «каттеры» («cutters»), приуроченные к расширенному карстом трещинам отдельности в известняках, разделены выступами пустых известняков («horses»).

На более крутых склонах бурые фосфориты располагаются полосами вдоль выходов материнской формации, образуя залежи в виде «шляпных лент» (hat-band) или «ободов» (rim). По очевидным причинам залежи этого типа представляют меньший практический интерес, чем покровные тела.

Внешне бурые фосфориты напоминают грубопористые бурые песчаники. Они встречаются как в виде рыхлых скопленных фосфатных зерен, смешанных с глинистым материалом, так и в форме связных комьев и пластинчатых образований;

первый тип фосфоритов получил название *мейтрикс* (matrix, дословно «цементирующая масса»), а второй — *плитчатые фосфориты* (plate rock). Плитчатые фосфориты более высококачественны, так как они состоят из фосфатных зерен, сцементированных вторично осажженным фосфатом. В течение



Фиг. 6.5. Бурые фосфориты Теннесси.

А — схематический разрез, иллюстрирующий условия залегания фосфоритов.

В — расширенные при карстовых явлениях трещины отдельности («каттерсы»), выполненные фосфоритами и приуроченные к нижней части покровных отложений. (Воспроизводится с изменениями по работе Smith, Whitlatch, 1940.)

многих лет после открытия бурых фосфоритов в 1896 г. добыча велась вручную и извлекались лишь плитчатые фосфориты. В настоящее время в больших масштабах эксплуатируются фосфориты типа мейтрикс, что обусловлено усовершенствованием технологии промывки, а также большей пригодностью, чем раньше, низкокачественных фосфоритов для извлечения элементарного фосфора. По данным Александра (Alexander, 1953, стр. 5), в некоторых районах эксплуатационные работы возобновлялись пять или шесть раз.

Эксплуатация повсеместно ведется открытым способом. Как вскрышные работы, так и добыча фосфоритов производятся драглайнами. Такая методика осуществима только в пределах участков с мощными отложениями бурых фосфоритов и ровной известняковой подошвой залежей. Однако в тех участках, где в фосфориты поднимаются выступы известняков, приходится прибегать к дополнительным приемам, в том

числе к добыче ручным способом. Методы добычи описаны в работах Гриссома (Grissom, 1944), а также Тайлера и Мосли (Tyler, Mosley, 1942). Промывка и обогащение фосфоритов рассмотрены как только что упомянутыми авторами, так и Дейвенпортом и Хейсменом (Davenport, Haseman, 1947).

Элементарный фосфор производится тремя компаниями, а фосфорные удобрения пятью. Главный фактор, обуславливающий развитие производства фосфора в этом районе, — обилие дешевой электроэнергии, вырабатываемой государственными гидроэлектростанциями.

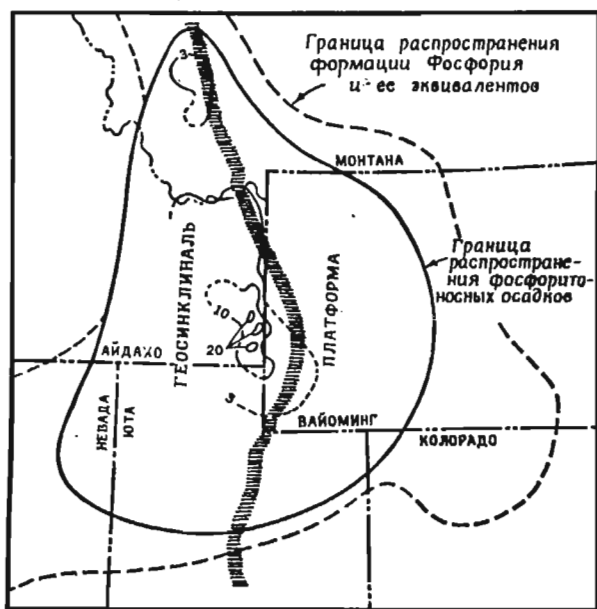
Успех разведки новых месторождений определяется правильной интерпретацией нескольких геологических факторов. Падение пород в районе невелико, но существование локальных складок часто приводит к обратному падению. Возможность концентрации фосфоритов определяется фаціальным составом известняков формации Бигби — Каннон, который меняется резко и весьма незакономерно. При изучении месторождений следует также учитывать, что расположение участков концентрации фосфоритов в значительной степени зависит от рельефа. Беруэлл (Birwell, 1950, стр. 131) предполагает, что на многих незакартированных детально участках района расположены неизвестные пока промышленные месторождения. Выявление перспективных площадей в значительной мере должно производиться при помощи колонкового бурения, техника которого применительно к рассматриваемому объекту кратко описана Барром и др. (Bagg et al., 1947).

Месторождения Запада США

Введение

Фосфориты широко развиты в юго-восточной части Айдахо и прилегающих частях Монтаны, Вайоминга, Юты и Невады (фиг. 6.6). Они слагают здесь часть формации Фосфория пермского возраста. Эти отложения существенно отличаются от фосфоритоносных осадков Флориды и Теннесси. Они слагают пласты, развитые на площади более 100 тыс. кв. миль, и представляют собой неотъемлемую часть осадочной толщи морского происхождения. Вся толща была интенсивно деформирована после отложения и имеет самые различные условия залегания от горизонтального до вертикального. В связи с этим фосфориты частично приходится разрабатывать подземным способом. Рельеф района гористый, и фосфоритоносные пласты выходят на дневную поверхность в виде узких извилистых полос. Этот фосфоритоносный бассейн значительно

удален от сельскохозяйственных районов центральных и восточных частей США, представляющих собой главный рынок сбыта удобрений, а также далеко отстоит от крупных индустриальных центров. Однако эти месторождения удобно



Фиг. 6.6. Фосфоритоносный бассейн Запада США. Тонкие пунктирные линии — изопахиты фосфоритов с содержанием P_2O_5 не менее 31%. Большая часть фосфоритных рудников расположена внутри контуров изопахиты 10 футов в юго-восточном Айдахо и прилегающих участках штата Юта, а также в пределах территории, ограниченной изопахитой 3 фута в западной Монтане. (По работе McKelvey et al., 1953, 19th Internat. Geol. Con. Comptes Rendus sec. XI, fasc. XI, 46, 53.)

расположены в смысле поставки удобрений штатам Великих равнин, Скалистых гор и тихоокеанского побережья.

В небольших масштабах добыча фосфоритов началась в юго-восточной части штата Айдахо в 1906 г., а в 1920 г. приступили к производству фосфора у Анаконды, Монтана. В середине 30-х годов началось использование фосфатных удобрений на полях сахарной свеклы в межгорных штатах. Во время второй мировой войны произошло заметное увеличение добычи фосфоритов, которая продолжала непрерывно расти и в послевоенное время. В 1947 г. годовая добыча впервые

превысила здесь 1 млн. длинных тонн. В 1957 г. было добыто около 2 млн. длинных тонн фосфоритов.

Вопросам геологии фосфоритоносного бассейна Запада США посвящены многочисленные работы, в особенности касающиеся описательной геологии, стратиграфии формации Фосфория и генезиса фосфоритов. Многие из этих работ выполнены сотрудниками Геологической службы США, особенно Мансфилдом с сотрудниками (до 1940 г.) и Мак-Келви с сотрудниками (в 40-х и 50-х годах). Опубликована библиография, включающая работы до сентября 1952 г. (Harris et al., 1954). Некоторые более поздние работы приведены в списке литературы в конце настоящего раздела¹.

Стратиграфия

В пермское время площадь современного фосфоритоносного поля была покрыта морем. Главная часть этого моря располагалась в Кордильерской геосинклинали в западной части района, однако его мелководная часть распространялась на большое расстояние к востоку в пределы платформы; эта часть морского бассейна известна под названием Вайомингского шельфа. На фиг. 6.6 можно видеть, что фосфоритоносное поле тяготеет к петлеобразному изгибу границы между геосинклиналью и платформой. Как и следовало ожидать для подобной обстановки, пермские отложения претерпевают значительные изменения по мощности и составу в пределах региона в широтном направлении. В южной части центрального Айдахо эти отложения имеют мощность более 1300 футов и состоят из переслаивающихся пластов кремнистых пород, углистых аргиллитов и фосфоритов. К востоку мощность этой толщи уменьшается до 300 футов, и она фациально замещается карбонатными породами в южной части платформы и песчаниками — в северной. Фациальные переходы носят постепенный характер и в разрезах наблюдаются многочисленные взаимные проникновения осадков, соответствующих разным фациям. Показанная на фиг. 6.6 область распространения фосфоритов в платформенной части представлена апофизой геосинклинальной фации, прогрессивно уменьшающейся в мощности в восточном направлении вплоть до полного исчезновения в восточной части центрального Вайоминга.

¹ Серия стратиграфических разрезов формации Фосфория с химическими анализами пород опубликована в следующих циркулярах Геологической службы США: 208—211, 260—262, 297, 301—307, 324—327, 375.

Исчерпывающее описание этих отложений и их региональных взаимоотношений опубликовано Мак-Келви и др. (McKelvey et al., 1956). Эти исследователи назвали кремнистые, углистые и фосфатные осадки геосинклинальной фации *формацией Фосфория*, карбонатные породы платформенной фации — *формацией Парк-Сити*, а платформенные песчаники этой толщи — *песчаниковой формацией Шедхорн*. Всего выделено 11 горизонтов. Все три формации залегают на осадках пенсильванского возраста и в пределах большей части района перекрываются глинистыми сланцами формации Динвуди триасового возраста.

Несмотря на региональные изменения фациального состава, достоверно установлена непрерывность распространения в горизонтальном направлении толщи формации Фосфория. Три горизонта формации, присутствующие в юго-восточном Айдахо, где формация была впервые описана, без труда прослеживаются в пределах обширной территории остальной части штата Айдахо и смежных частей штатов Вайоминг и Юта. В некоторых частях этого региона пласты мощностью всего лишь один-два фута прослеживаются на десятки миль.

Литология

По данным Мак-Келви и др. (McKelvey et al., 1956), формация Фосфория состоит из продуктов смешения материалов трех типов: 1) обломочного вещества, преимущественно пелитовых и алевроитовых частиц кварца, слюды и полевого шпата; 2) химически осажденного вещества, главным образом кремня, кальцита, доломита и карбонат-фторапатита (коллофана), и 3) углистого вещества, обуславливающего преобладающую темно-бурую и черную окраску пород формации. Поскольку породы формации представляют собой смеси всех трех перечисленных выше типов вещества и отлагались в однородной обстановке, их внешний облик сходен и они слабо отличаются друг от друга. Действительно, «в большинстве случаев полевые определения пород пересматривались и видоизменялись после проведения микроскопических исследований и химических анализов» (McKelvey et al., 1956, стр. 4). Иначе говоря, наиболее важное свойство всех этих пород — их состав; полевые определения имеют значение лишь до получения данных лабораторных исследований. Так, буровато-черная мягкая зернистая порода в зависимости от содержания P_2O_5 может оказаться фосфоритом или простым фосфатистым аргиллитом.

Пласты фосфоритов наибольшей мощности и наиболее высокого качества установлены в районе реки Бэр в юго-восточной

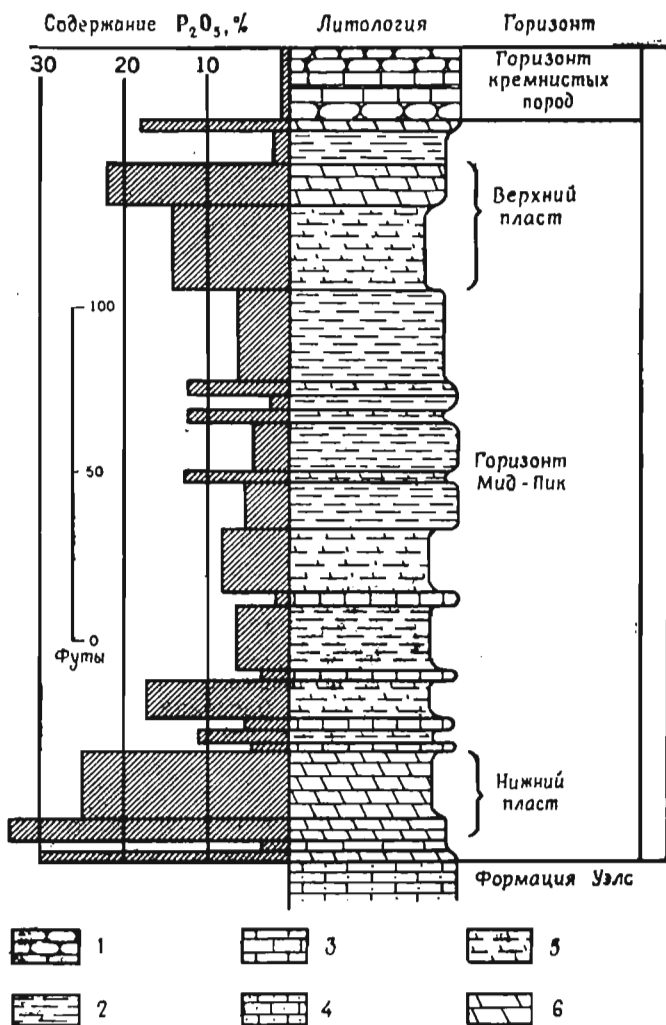
части штата Айдахо, вблизи городов Монтпиллер и Сода-Спрингс. Здесь формация Фосфория состоит из трех горизонтов. Нижний горизонт Мид-Пик мощностью 175—200 футов сложен фосфатистыми глинистыми сланцами; средний горизонт Рекс мощностью около 240 футов представлен кремнистыми отложениями; верхний, обычно плохо обнаженный, горизонт мощностью до 50 футов состоит из кремнистых глинистых сланцев. Промышленные пласты фосфоритов приурочены к горизонту Мид-Пик. Схематический разрез этого горизонта приведен на фиг. 6.7.

Горизонт Мид-Пик состоит из фосфатистых аргиллитов и фосфоритов, перемежающихся с тонкими прослоями известняков. Фосфатное вещество представлено коллофаном, главным образом в виде эллипсоидальных стяжений и желваков, наибольший диаметр которых 0,05—3 см (McKelvey et al., 1953, стр. 52). В большинстве случаев выделения фосфата бесструктурны, но у стяжений средних размеров обнаруживается концентрическая полосчатость. Многие более крупные желваки представляют собой сцементированные мелкие фосфатные стяжения. В некоторых немногочисленных слоях коллофан присутствует в виде фосфатизированных раковин брахиопод и чешуек рыб.

Фосфориты обычно хорошо сцементированы коллофаном, глинистым или углистым веществом, кремнеземом или карбонатами, причем может преобладать любой из этих видов цемента. Мощность отдельных слоев фосфоритов достигает 15 футов, однако в большинстве случаев их толщина не превышает дюйма и они переслаиваются с аргиллитами или карбонатными осадками. Косая слоистость в фосфоритах наблюдается редко, а знаки ряби отсутствуют.

Содержание P_2O_5 может достигать 38%, но, как это показано на фиг. 6.7, в пластах рентабельной мощности количество P_2O_5 не превышает 32%. На этой же фигуре можно видеть, что горизонт Мид-Пик симметричен в разрезе: верхняя и нижняя его половины представляют собой почти зеркальное отражение относительно середины. Таким образом, этот горизонт соответствует полному циклу осадконакопления. Нижний пласт фосфоритов — главный продуктивный пласт в юго-восточной части штата Айдахо, но верхний пласт также местами разрабатывается.

Налегающая на продуктивный горизонт толща Рекс сложена различными кремнистыми породами, изменяющимися от стекловатых и просвечивающих до тусклых и непрозрачных. В этой толще также присутствуют прослои аргиллитов и кремнистых карбонатных пород. Мощность пластов толщи



Фиг. 6.7. Схематический стратиграфический разрез горизонта Мид-Пик формации Фосфория в юго-восточном Айдахо. (По работе McKelvey et al., 1953.)

1 — пластовые кремнистые породы; 2 — алевролиты; 3 — известняки; 4 — песчаные известняки; 5 — фосфатные алевролиты; 6 — фосфориты.

колеблется от долей дюйма до двух футов и более; слоистость ровная, волнистая или линзовидная. Кроме того, в толще Рекс встречаются крупные линзы грубозернистых светло-серых известняков мощностью до 50 футов и протяженностью до мили. Известняки очень похожи на карбонатные породы формации Парк-Сити, в которые постепенно переходят в восточном направлении кремни Рекс.

Наиболее верхний горизонт формации Фосфория сложен тонкоплитчатыми черными кремнистыми аргиллитами, довольно слабо противостоящими эрозии и поэтому плохо обнаженными.

Генезис

Читатель, имеющий даже самое беглое представление о стратиграфии Северной Америки, должен знать из ранее опубликованных работ, что формация Фосфория представляет собой уникальное явление на этом континенте. Попытки объяснить ее происхождение предпринимались еще до 1890 г. и к 1952 г. этой проблеме уже было посвящено более 40 статей (Harris et al., 1954, стр. 70—72). В связи с исключительным своеобразием формации Фосфория для объяснения ее генезиса предполагались и необычные условия. Отложение фосфатного вещества связывали с пермским оледенением, с существованием глубокого застойного бассейна, с необычайной концентрацией фосфоровыделяющих организмов и с вулканизмом.

В 1953 г. Мак-Келви, Свэнсон и Шелдон (McKelvey, Swanson, Sheldon, 1953, стр. 54—62) изложили хорошо обоснованные взгляды на происхождение формации Фосфория и подчиненных ей фосфоритных отложений. Они широко использовали в своих построениях общую гипотезу происхождения фосфоритов, опубликованную за несколько лет перед этим Казаковым (Kazakov, 1937), значительно дополнив ее доказательствами, почерпнутыми из собственных наблюдений. Здесь можно рассмотреть лишь главнейшие их выводы.

Один из фактов, который необходимо объяснить при рассмотрении генезиса фосфоритов Запада США, — огромное количество фосфата, сконцентрировавшегося в формации Фосфория, в пять раз превышающее суммарное содержание P_2O_5 в современном океане. Мак-Келви и его соавторы пришли к выводу, что важнейшим фактором при формировании фосфоритов и других химически осажденных осадков была циркуляция океанических вод и что формация Фосфория в течение длительного периода была местом концентрации главной ча-

сти ресурсов пермского океана. Эти исследователи отметили отсутствие в осадках формации заметного количества кластического материала, который лишь несколько разубоживает фосфориты. Второй факт, нуждающийся в рассмотрении, — присутствие в фосфоритах фтора. Мансфилд (Mansfield, 1940) предположил, что фтор мог выделяться в процессе вулканической деятельности, проявлявшейся западнее фосфоритоносного бассейна, и по существу развил вулканическую гипотезу происхождения фосфоритов, признав фтор агентом, способствовавшим осаждению фосфата, а в послепермское время обеспечившим сохранность фосфоритов в нерастворимом состоянии. Однако в современной морской воде содержится значительно больше фтора, чем фосфата, и, таким образом, можно полагать, что для объяснения присутствия фтора в фосфоритах нет надобности привлекать какой-либо необычный источник. Третья специфическая особенность формации Фосфория — присутствие в ней небольших количеств малых металлов, например урана, ванадия и селена (стр. 268). По Мак-Келви и его соавторам, эта ассоциация элементов собственно аналогична наблюдающейся в современной морской воде, и, более того, морская вода — единственный источник, который мог бы обусловить концентрации таких элементов в осадках.

В связи с изложенными выше соображениями делается вывод, что фосфаты и ассоциирующие с ними вещества, вероятнее всего, выделились из нормальной морской воды, а не из каких-либо локальных и специфических источников.

Изучение палеогеографии позволяет считать, что бассейн, в котором отлагались осадки формации Фосфория, с запада, севера и востока был окружен низменной сушей, откуда поступало лишь незначительное количество обломочного материала. В южном и юго-восточном направлении этот бассейн был связан с открытым океаном. Наиболее глубокая часть бассейна располагалась в пределах южного Айдахо и западной Юты, отсюда во все стороны, за исключением южного направления, дно бассейна постепенно повышалось. Фосфаты отлагались в краевых шельфовых частях бассейна. Спокойная слоистость, отсутствие знаков ряби и почти полное отсутствие косой слоистости в фосфоритах свидетельствуют, что их отложение происходило ниже уровня действия волн. Основываясь частично на аналогии с условиями глубинности осаждения фосфоритов в современных морях, Мак-Келви и его соавторы полагают, что глубины накопления фосфоритов в фосфорийском море составляли от 200 до 1000 м.

Предполагается, что в фосфорийское море из океанического резервуара с юга и юго-запада проникали холодные обогащенные фосфатным веществом воды; по мере возрастания величины рН и температуры этих вод, а также с понижением парциального давления CO_2 из них химически осаждался фосфат. В зоне фотосинтеза обогащенные фосфатом воды вызывали бурное развитие взвешенной в воде растительности, в результате отмирания и разложения которой образовалось углистое вещество фосфоритоносных осадков. Труднее объяснить происхождение кремнистых осадков, однако и они могли накапливаться в виде остатков кремнеземистых взвешенных в воде микроорганизмов. Остаются невыясненными вопросы о значении мелких стяжений (pellet) фосфоритов и о причинах, контролировавших осаждение малых металлов.

Разработанная Мак-Келви и его сотрудниками гипотеза, кратко изложенная выше, убедительно объясняет многие особенности формации Фосфория и слагающих ее осадков. Однако возникают сами собой некоторые важные вопросы. Любое эпиконтинентальное море глубиной более 3000 футов представляет некоторый «специфический источник» осадков. Если при этом оказалось установленным, что фосфат и ассоциирующие с ним вещества отлагались в нормальной морской воде, то представляется весьма странным отсутствие других фосфоритоносных отложений, подобных формации Фосфория.

Структура

Западная часть региона, в пределах которого отлагалась формация Фосфория (фиг. 6.6), расположена в провинции Бассейнов и Хребтов. Это область прерывистых складчатых поясов, частично образующих горы, разделенные широкими сбросовыми долинами, которые выполнены четвертичными осадками или лавами. Складки, в большинстве своем крупные и открытые, секутся многочисленными надвигами.

Несколько восточнее в пределах района, располагающегося в области геосинклинали поблизости от зоны смены фаций, показанной на фиг. 6.6, развита сжатая складчатость и надвиговые нарушения. Давление было направлено с запада. Лишь к этому складчатому поясу приурочены промышленные месторождения фосфоритов. Складчатый пояс представляет собой вытянутую горную область длиной 200 миль и шириной около 50 миль. Складчатость сжатая, часто изоклиальная и опрокинутая. Широко развиты крупные надвиги и мелкие се-

кушие сбросы. «Редко удается обнаружить выход осадочных пород протяженностью более мили, не разбитый тектоническим нарушением, и обычно выходы формации Фосфория настолько тектонически нарушены и раздавлены, что совершенно непригодны для эксплуатации» (McKelvey, 1949, стр. 272). Следовательно, геологическая структура в районе имеет чрезвычайно важное значение для развития эксплуатационных работ.

Только что охарактеризованный складчатый пояс и располагающийся восточнее шельфовый регион входят в систему Скалистых гор, однако структура шельфовой области значительно проще. Складки представляют собой крупные открытые своды, образующие такие горные цепи, как Уинта в северо-западном Колорадо и Уинд-Ривер в западном Вайоминге. Горные цепи разделяются широкими долинами, выполненными мощными третичными осадками.

Методы добычи и применение

В связи со сложной геологической структурой при эксплуатационных работах применяются различные методы добычи. В участках пологого и параллельного склонам падения пород возможны открытые разработки, которыми в настоящее время извлекается большая часть продукции. Однако при пологом падении под мощную перекрывающую толщу или для извлечения фосфоритов из круто- и вертикально падающих горизонтов более важное значение приобретают подземные методы разработки. Выемка ведется как по камерно-столбовой системе, так и с магазинированием. Оценки перспективным запасам даются весьма различные. Так, по осторожным подсчетам, в юго-восточном Айдахо до глубины 500 футов имеется 230 млн. длинных тонн фосфоритов с содержанием P_2O_5 более 30%. Существует, однако, единодушное мнение, что основную массу фосфоритов в будущем придется добывать подземными методами.

Поскольку большая часть добытых фосфоритов содержит около 32% P_2O_5 , а минимальное допустимое при производстве удобрений кислотным способом содержание этого компонента составляет 30%, приходится предпринимать строгие меры предосторожности в процессе добычи, чтобы предотвратить разубоживание руды. Промывка или другие методы облагораживания добытого сырья обычно не нужны.

Хорошее общее описание методов добычи фосфоритов в юго-восточном Айдахо дается в работе Батнера (Butner, 1949), а несколько статей, посвященных отдельным рудникам

Айдахо и Монтаны, помещены в материалах симпозиума, опубликованных в 1949 г. (Norris et al., 1949). В работе Уайдмена (Wideman, 1958) описаны методы добычи, применяющиеся на месторождениях в северо-западной части Юты.

Суперфосфат и тройной суперфосфат производятся серно-кислотным методом, описанным на стр. 267). Сырье, добываемое на одном из рудников юго-восточного Айдахо, направляется железной дорогой в Анаконду, Монтана, где оно обрабатывается серной кислотой, получаемой в качестве побочного продукта в процессе плавки медно-сульфидных руд. В районе производится также и фосфорная кислота, которая частично направляется потребителям в цистернах и используется в качестве удобрения посредством введения в ирригационные воды. Один химический концерн вырабатывает элементарный фосфор в электропечи близ Покателло, Айдахо. На заводе у Конда, Айдахо, с 1941 по 1954 г. из фосфоритов получали ванадий.

Методы поисков и разведки

Значительная часть фосфоритов залегает на правительственных землях, и геологи Геологической службы США в течение многих лет занимались в рассматриваемом регионе картированием формации Фосфория, а также связанных с нею толщ. Характер этих работ был весьма различен — от мелко-масштабных рекогносцировочных исследований до детального картирования на 7,5-минутных планшетах. Особенное внимание было уделено вопросам стратиграфии и корреляции, а также геологической структуры. Однако даже рекогносцировочные исследования региона далеко не завершены. В 1953 г. в юго-западной Монтане было выявлено около 250 миль ранее неизвестных выходов формации Фосфория (Swanson et al., 1953, стр. 11). В 1955 г. геологами правительственной службы в северо-восточной Неваде и смежных районах Айдахо и Юты открыто около 75 миль ранее не описывавшихся выходов пород фосфорийского возраста (Chepey et al., 1956). Мощност и содержание P_2O_5 в фосфоритах, приуроченных к этим выходам, пока еще недостаточно известны.

Тем не менее картирование в регионе уже настолько продвинулось, что лицу или фирме, заинтересованной в добыче фосфоритов, не представит труда выбрать подходящее месторождение из числа известных. Детальная разведка месторождений относится к компетенции отдельных компаний. При этом в связи со сложностью структуры обычно необходимо проводить очень детальное картирование в масштабе всего

лишь 100—200 футов в дюйме. Для определения мощности, глубины распространения, условий залегания и содержания P_2O_5 фосфоритов обычно следует применять колонковое бурение¹.

ЛИТЕРАТУРА

Общие вопросы

- Barr J. A. et al. (1947). Symposium on prospecting for phosphates, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 185—194.
- Blackwelder E. (1916). The geologic role of phosphorus, Amer. Jour. Sci., 4th. ser., 42, 285—298.
- Curtis D. (1957). Selected annotated bibliography of the geology of the uranium-bearing phosphorites in the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 1959-B.
- Davidson C. F., Atkin D. (1953). On the occurrence of uranium in phosphate rock, 19th Internat. Geol. Cong., Comptes-Rendus, Sec. XI, fasc. XI, 13—31.
- Dietz R. S., Emery K. O., Shepard F. P. (1942). Phosphorite deposits on the sea floor off southern California, Bull. Geol. Soc. Amer., 53, 815—847.
- Emery K. O., Dietz R. S. (1950). Submarine phosphorite deposits off California and Mexico, Calif. Jour. Mines and Geology, 46, 7—15. International Geological Congress, 19th Session, Sec. XI (1952). Origine des gisements de phosphates de chaux, Comptes Rendus, Fascicule XI (1953).
- Jacob K. D. (1944). Uses of phosphates, Min. and Met., 25, 488—491.
- Jacob K. D. et al. (1933). The composition and distribution of phosphate rock with special reference to the United States, U. S. Dept. of Agriculture Tech. Bull., 364.
- Jacob K. D., Reynolds D. S., Marshall H. L. (1938). Phosphate fertilizers by calcination process—volatilization of fluorine from phosphate rock at high temperatures, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 315—328.
- Johnson B. L. (1944). Economic factors in the U. S. phosphate industry, Min. and Met., 25, 455—465.
- Mansfield G. R. (1937). Role of physical chemistry in stratigraphic problems, Econ. Geology, 32, 535—549.
- Mansfield G. R. (1940). Phosphate deposits of the United State, Econ. Geology, 35, 405—429.

¹ **Заключительные замечания.** СССР занимает второе место после США по добыче фосфатного сырья. Наша страна — единственное государство, в крупных масштабах разрабатывающее фосфатное сырье эндогенного генезиса (нефелиново-апатитовые руды Кольского п-ова). Однако у нас эксплуатируются и месторождения фосфоритов, относящиеся к разным типам наиболее полной и современной их классификации, разработанной Б. М. Гинмельфарбом (Тр. Гос. ин-та горно-хим. сырья, вып. 2, 1955). К числу платформенных месторождений, залегающих среди песчано-глинистых пород и в общем близких к фосфоритам Теннесси и Флориды, относятся фосфориты Русской платформы. Однако наиболее крупный фосфоритоносный бассейн СССР — Каратау в Казахстане — сформировался в геосинклинальных условиях и близок к Фосфорийскому бассейну Скалистых гор. — *Прим. перев.*

- Mansfield G. R. (1940). The role of fluorine in phosphate deposition, Amer. Jour. Sci., 238, 863—879.
- McConnell D. (1950). The petrography of rock phosphates, Jour. Geology, 58, 16—23.
- McConnell D. (1958). The apatitelike mineral of sediments, Econ. Geology, 53, 110—111.
- McKelvey V. E. (1955). Search for uranium in the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 1030-A, 16—17, 37.
- Noyes F. C. (1944). Phosphate rock industry of foreign countries, Min. and Met., 25, 495—506.
- Ruhlman E. R. (1958). Phosphate rock, Part 1: Mining, beneficiation, and marketing, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7814.
- Williamson D. R. (1958). Vanadium, Colo. School of Mines, Min. Ind. Bull., 1, № 4, 10—11.

Месторождения Флориды

- Becker C. N. (1938). Drying and processing of pebble phosphate in the Florida field, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 282—294.
- Cathcart J. B. (1950). Notes on the land-pebble phosphate deposits of Florida, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 132—151.
- Cathcart J. B. et al. (1953). The geology of the Florida land-pebble phosphate deposits, 19th Internat. Geol. Cong., Comptes Rendus, sec. XI, fasc. XI, 77—91.
- Feeley J. C., Jr. (1949). Prospect drilling for phosphates in Florida, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7500.
- Fuller R. B., Casler E. T. (1944). Mining pebble phosphate rock in Florida, Min. and Met., 25, 466—468.
- Kibler D. B., Jr. (1942). Mining and preparation of Florida hard-rock phosphate, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 268—276.
- Mansfield G. R. (1942). Phosphate resources of Florida, U. S. Geol. Survey Bull., 934.
- Moxham R. M. (1954). Airborne radioactivity surveys for phosphate in Florida, U. S. Geol. Survey Circ., 230.
- Pamplin J. W. (1938). Ore-dressing practice with Florida pebble phosphates, Southern Phosphate Corporation, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 295—314.
- Peterson R. G. (1955). Origin of the land-pebble phosphate deposits of Florida determined from their clay-mineral content, Bull. Geol. Soc. Amer., 66, 1696.
- Pirkle E. C. (1957). Economic consideration of pebble phosphate deposits of Alachua County, Florida, Econ. Geology, 52, 354—378.
- Roundy P. V., Mansfield G. R., (1938). Government prospecting for phosphate in Florida, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 246—262.
- Sellards E. H. (1913). Origin of the hard rock phosphates of Florida, Fla. Geol. Survey, 5th Ann. Rept., 23—80.
- Sellards E. H. (1915). The pebble phosphates of Florida, Fla. Geol. Survey, 7th Ann. Rept., 25—116.
- Swainson S. J. (1944). Washing and concentrating Florida pebble phosphate, Min. and Met., 25, 469—474.
- Vernon R. O. (1951). Geology of Citrus and Levy counties, Florida, Fla. Geol. Survey Bull., 33, 195—203.
- Wayland T. E. (1951). Use of isopachous and related maps in the Florida phosphate district, Min. Eng., 3, 975—979.

Месторождения Теннесси

- Alexander F. M. (1953). Field trip to central Tennessee phosphate district, Southeastern Sec. Geol. Soc. Amer., Guidebook, Nashville Mtg., 3—8.
- Burwell H. B. (1950). Brown phosphate rock in Tennessee, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 128—131.
- Davenport J. E., Haseman J. F. (1947). Laboratoryscale flotation of brown rock phosphate, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 388—397.
- Grissom R. J. (1944). Mining and washing phosphate rock in Tennessee, Min. and Met., 25, 477—480.
- Miller A. M. (1944). Phosphate activities of the Tennessee Valley Authority, Min. and Met., 25, 492—494.
- Smith R. W., Whitlatch G. I. (1940). The phosphate resources of Tennessee, Tenn. Div. Geology Bull., 48.
- Tyler P. M., Mosley H. R. (1942). Recent developments in the Tennessee phosphate industry, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 83—104.

Месторождения Запада США

- Butner D. W. (1949). Phosphate rock mining in southeastern Idaho, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7529.
- Cheney T. M., Gere W. C., Wallace J. H. (1956). Permlan phosphate deposits in northeast Nevada and adjacent parts of Idaho and Utah, Bull. Geol. Soc. Amer., 67, 1763—1764.
- Clabaugh P. (1946). Map of Permlan phosphate deposits of Montana, Wyoming, Idaho, and Utah, U. S. Geol. Survey Map, 3—198.
- Cressman E. R. (1955). Physical stratigraphy of the Phosphoria formation in part of southwestern Montana, U. S. Geol. Survey Bull., 1027-A.
- Davidson D. F., Gulbrandsen R. A. (1957). Selenium in the Phosphoria formation in Idaho, Wyoming, Utah, and Montana, Bull. Geol. Soc. Amer., 68, 1714.
- Hall M. B., Banning L. H. (1958). Removing and recovering fluorine from western phosphate rock and utilizing the defluorinated rock, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 5381.
- Harris R. A., Davidson D. F., Arnold B. P. (1954). Bibliography of the geology of the western phosphate field, U. S. Geol. Survey Bull., 1018.
- Mansfield G. R. (1918). Origin of the western phosphates of the United States, Amer. Jour. Sci., 4th. ser., 46, 591—598.
- Mansfield G. R. (1927). Geography, geology, and mineral resources of part of southeastern Idaho, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 152.
- Mansfield G. R. (1931). Some problems of the Rocky Mountain phosphate field, Econ. Geology, 26, 353—374.
- Mansfield G. R. (1933). The western phosphate field, Ore Deposits on the Western States (Lindgren Volume), New York, Amer. Inst. Min. Met. Eng., 491—496.
- McKelvey V. E. (1949). Geological studies the western phosphate field, Min. Eng., 1, pt. 2, 270—279.
- McKelvey V. E. et al. (1953). Stratigraphic sections of the Phosphoria formation in Idaho, 1947—1948, Part 1, U. S. Geol. Survey Circ., 208.

- McKelvey V. E. et al. (1956). Summary description of Phosphoria, Park City, and Sheldhorn formations in western phosphate field, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 40, 2826—2863.
- McKelvey V. E., Swanson R. W., Sheldon R. P. (1953). The Permian phosphorite deposits of western United States, 19th Internat. Geol. Cong., Comptes Rendus, sec. XI, fasc. XI, 45—64.
- Norris E. M. et al. (1949). Symposium on western phosphate mining, Min. Eng., 1, pt. 2, 269—295.
- Sheldon R. P. (1957). Physical stratigraphy of the Phosphoria formation in northwestern Wyoming, U. S. Geol. Survey Bull., 1042-E.
- Swanson R. W., McKelvey V. E., Sheldon R. P. (1953). Progress report on investigations of western phosphate deposits, U. S. Geol. Survey Circ., 297.
- Wideman F. L. (1958). Mining inclined beds of phosphate rock, San Francisco Chemical Co. mines, Rich County, Utah, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7849.

ГИПС

Введение

Гипс — водный сульфат кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Это название используется как для обозначения минерала, так и слагаемой им породы. Минеральные разновидности гипса — прозрачный с четкой спайностью селенит, волокнистый с хорошим блеском шелковистый шпат¹ и чисто белый или слабоокрашенный прозрачный массивный и тонкокристаллический алебастр. Селенит и шелковистый шпат, встречающиеся довольно часто и широко распространенные, тем не менее не имеют промышленного значения. Сравнительно редко встречающийся алебастр уже в течение многих столетий используется для изготовления подставок ламп, ваз и тому подобных резных изделий.

Гипс как современный товарный продукт — это плотная массивная тонкокристаллическая горная порода. Если он не содержит примесей, гипс имеет белый цвет, но может быть серым, голубовато-серым, розовым или желтым в зависимости от присутствия тех или иных примесей — органического или глинистого вещества, окислов железа. Почти во всех случаях промышленные скопления гипса представляют собой осадочные пласты мощностью от 3—4 до 100 футов и более.

Гипс входит в группу пород, получивших собирательное название *эвапориты*, что связано с их происхождением: они

¹ В СССР селенитом называют волокнистые агрегаты гипса, особенно известные на Урале, тогда как для крупнокристаллической формы гипса у нас нет специального названия, если не считать так называемого репетского гипса, гигантокристаллического и замечательного присутствием множества песчаных включений. — Прим. переа.

выпали в осадок в результате частичного или полного выпаривания (эвапорации) морских рассолов. К эвапоритам, помимо гипса, относятся ангидрит, каменная соль, первичный доломит и калийные и магниевые соли. Полевые взаимоотношения свидетельствуют, что гипс представляет собой вторичный продукт, возникший при гидратации ангидрита в зоне выветривания (см. стр. 305). Эти породы обычно встречаются в ассоциации с другими эвапоритами и связанными с ними известняками, глинистыми сланцами и красноцветными породами. Эвапориты широко распространены, и в Северной Америке они встречаются во всех геологических системах от ордовика до третичной (Krumbein, 1951). Большая часть месторождений гипса, имеющих промышленное значение, приурочена к отложениям силурийского, миссисипского, пермского и третичного возраста.

Ангидрит CaSO_4 встречается совместно с гипсом, как в тесных сростаниях зерен, так и переслаиваясь с ним, а также представляет собой эквивалент гипса, распространенный на некоторой глубине от земной поверхности. Ангидрит внешне похож на гипс, но несколько тверже и тяжелее последнего. В настоящее время ангидрит находит незначительное практическое применение и считается загрязняющей примесью гипсовых месторождений.

Гипсит — слабосвязная землистая смесь гипса и глинистого или алевролитового материала. Он представляет собой поверхностное образование, корки выцветов в районах с незначительным количеством осадков и интенсивным испарением. Иногда гипсит имеет некоторое промышленное значение.

Широко известные белые пески Нью-Мексико — это дюны, состоящие из гипсовых гранул. Они весьма декоративны и представляют научный интерес, но практически не используются.

Свойства и применение

В сыром виде используется лишь незначительная часть добываемого гипса. Молотый гипс вводится в количестве от 9 до 12 фунтов на баррель в портланд-цемент для корректировки времени схватывания последнего. Порошковатый гипс, а иногда гипсит и ангидрит вводятся в почву в качестве улучшителей и удобрений («земная штукатурка», «land plaster»). Особое значение имеет этот вид удобрений для арахиса, люцерны, гороха и фасоли. Помимо того что с этими удобрениями в почву вносится необходимая растениям сера, они способствуют усвоению растениями из почвы калия, а также

реагируют с вредным карбонатом натрия («черной щелочью», осаждающейся из некоторых ирригационных вод) с образованием безвредных карбоната кальция и сульфата натрия. Небольшие количества сырого гипса в тонкомолотом виде используются в качестве носителей инсектицидов, наполнителя и питательной среды для растущих дрожжей.

Главный вид использования гипса основывается на его уникальном свойстве. При нагревании до относительно небольших температур, порядка 175° , гипс теряет три четверти химически связанной воды. После охлаждения полученный таким способом полугидрат (*обоженный гипс* или *парижская штукатурка*) можно смешивать с водой, после чего он поддается формованию, штампованию и литью; через некоторое время гипс вновь превращается в плотный камнеподобный агрегат иглообразных кристаллов. Начало использования гипса в качестве штукатурки относится к древнейшим временам. Египтяне применяли гипсовую штукатурку в стенах склепов, и она использовалась во всех более поздних цивилизациях.

В настоящее время более 95% добываемого гипса обжигается и почти весь он используется в штукатурках, шпалеровке и стеновых плитах. Таким образом, состояние гипсовой промышленности тесно связано с развитием строительной индустрии.

Гипсовая штукатурка смешивается с тонким заполнителем, например песком или вспученным перлитом, и такие смеси используются для покрытия стеновых плит бетонных блоков или других строительных конструкций. При использовании гипсовой штукатурки в нее для прочности вводятся волокнистые материалы, обычно волосы животных, и добавляется замедлитель схватывания, увеличивающий время твердости до двух часов и более¹. (Известковая штукатурка, упомянутая на стр. 240, применяется преимущественно для тонких отделочных покрытий на гипсовоштукатурном основании. Белая гипсовая штукатурка наивысшего качества используется в специальных целях — керамике, отливках, зубоврачебном деле и скульптуре.)

¹ Замедлители представляют собой диспергирующие и дефлокулирующие (предотвращающие агломерацию) агенты, которые механически мешают кристаллизации штукатурки. Наиболее обычный замедлитель — клей, изготовляемый из копыт или низкосортной шерсти животных. Ускорители, с другой стороны, — это коагулянты или агенты схватывания, способствующие кристаллизации. К числу последних относятся сульфат калия, квасцы и обычная соль. Применение замедлителей и ускорителей было важным фактором роста промышленного использования гипсовой штукатурки.

В период послевоенного строительного бума сильно возросла потребность в гипсовых изделиях, особенно стеновых и обшивочных плитах, гипсовой плитке. Производство гипсовых изделий высокомеханизировано и специализировано. Плиты обычно оклеиваются с обеих сторон плотной бумагой, причем игловидные кристаллы гипса несколько проникают в слой бумаги и между ними возникает весьма прочное сцепление. Чтобы ускорить твердение, в штукатурку добавляют специальные катализаторы. Изготовленные заводским способом гипсовые изделия быстро и легко монтируются и обладают хорошей огнестойкостью.

В США существуют крупные легкодоступные ресурсы ангидрита. Эта порода может служить источником серных соединений и в качестве сырья для производства штукатурки и цемента (Edwards, 1951; Goudge, 1951). Расширение использования ангидрита в этих целях сдерживается в США обилием и легкой доступностью самородной серы и гипса, однако на нескольких европейских заводах в качестве сырья используется именно ангидрит. Экспериментальные исследования по переработке ангидрита в промышленно ценные продукты были проведены Геологической службой Оклахомы (Burwell, 1955)¹.

Производство

Добыча гипса в США в 1957 г. превысила 9 млн. коротких тонн общей стоимостью около 30 млн. долл.² Примерно 60% произведенного гипса как по тоннажу, так и по стоимости было получено в пяти штатах: Калифорнии, Айове, Мичигане, Нью-Йорке и Техасе. Остальная часть гипса была добыта более чем в 12 других штатах. В 1957 г. действовал 61 рудник. В гипсовой промышленности преобладают крупные

¹ Следует отметить, помимо упомянутых Бейтсом видов применения гипса, также использование его в комплексном производстве портланд-цемента и серной кислоты (иногда также сульфата аммония и удобрений; Германия, Англия, Франция, СССР), а также в качестве наполнителя писчих бумаг. В последние годы разработаны многочисленные новые жаростойкие, атмосфероустойчивые и обладающие иными ценными свойствами строительные материалы, основанные на композиции гипсовой штукатурки с перлитом, вермикулитом, древесным волокном и др. В 1962 г. в США проведены исследования по технологии производства серной кислоты из гипса, тонкого его помола и использования в переработке фосфоритов. — *Прим. перев.*

² Мировая добыча гипса в 1962 г. (млн. т) — 49,96 (в 1953—1957 гг. в среднем около 34), в том числе: США 9,9; Канада 5,2; Великобритания 4,4; Франция 4,7; более 1 млн. т также Италия, Испания, Индия, ФРГ. — *Прим. перев.*

компании, которые сами занимаются всеми операциями — добычей, транспортировкой сырья, его переработкой и продажей конечных продуктов.

Около 32% гипса, потребляемого в США, импортируется. Большие его количества ввозятся из Новой Шотландии в Новую Англию и через порты атлантического побережья. В меньших количествах гипс импортируется с острова Сан-Маркос на заводы тихоокеанского побережья в Калифорнийском заливе. Завод в Новом Орлеане ввозит гипс с карибского острова Ямайки.

Парадоксальным выглядит факт, что гипс импортируется не в связи с высокой, а низкой ценой единицы товарной продукции. В США имеются большие собственные ресурсы гипса, но значительная их часть располагается во внутренних частях страны, вдали от прибрежных рынков потребления. Для последних экономически целесообразнее ввозить гипс из-за границы водным транспортом, нежели железнодорожным внутри страны.

Выборочное описание месторождений

Гипс не содержит окаменелостей, и, несмотря на незначительные различия в строении и составе, гипсы из разных месторождений очень сходны. С гипсом ассоциирует довольно ограниченное количество пород — различные эвапориты, карбонатные породы и глинистые сланцы. Гипс распространен достаточно широко, в связи с чем используются лишь те месторождения, где он залегает горизонтально и почти горизонтально и выходит на поверхность или находится на незначительной глубине. Добыча производится валом стандартными способами. Таким образом, месторождения гипса почти идентичны, а их геологическое строение и технология разработки относительно просты. В связи с этим можно ограничиться лишь кратким описанием некоторых промышленных месторождений.

Новая Шотландия

На острове Новая Шотландия пласты гипса мощностью от 20 до 200 футов установлены в формации Виндзор миссисипского возраста. Нормально перекрывающие гипсоносную толщу угленосные песчаники в значительной мере удалены эрозией, в связи с чем на площади около 625 кв. миль гипс выходит на дневную поверхность или перекрыт только глинистыми или ледниковыми отложениями. Рельеф района низ-

менный и холмистый, хотя местами как гипс, так и ангидрит обнажаются в отвесных обрывах на берегах моря и озер. В основном падение гипсоносной толщи пологое, но местами существует локальная мелкая складчатость и небольшие тектонические нарушения. Структура прослеживается по изгибам слоистости темных известняков, переслаивающихся с гипсом и ангидритом.

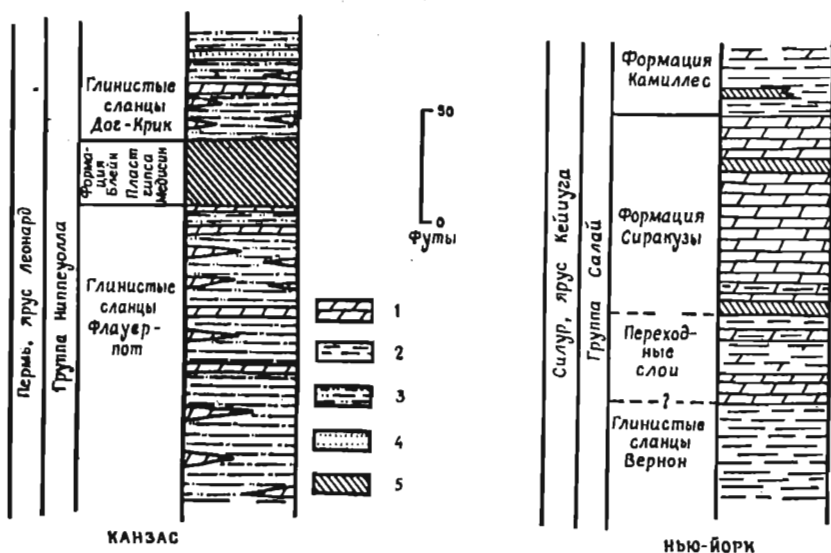
Там, где перекрывающие породы отсутствуют, гипс имеет белый цвет и тонкозернистое сложение. Изредка в гипсах присутствуют линзы ангидрита и он пронизан многочисленными глубокими карстовыми полостями, в большинстве случаев выполненными глинистым материалом. В связи с загрязнением карстовым глинистым материалом добытый гипс должен пройти промывку или мокрое грохочение. Гипс, перекрытый мощными наносами, преимущественно окрашен в серый цвет и характеризуется значительной примесью крупнокристаллического селенита. В нем присутствуют линзы мягкой темной известковистой глины, которые приходится избегать или удалять при разработке. Гипс залегают на ангидрите, а также переходит в него по простирацию, иногда резко (стр. 304). Эксплуатационные работы ведутся крупными карьерами с применением современного высокопроизводительного оборудования. После промывки и грохочения гипс перевозится на автомашинах к штабелям на побережье, из которых он ленточным транспортером грузится на корабли. В зимние месяцы эксплуатационные работы сокращаются или приостанавливаются. Хьюм (Hume, 1954, стр. 275) указывает, что подземные работы, позволяющие вести добычу во все сезоны года, приемлемы в условиях Новой Шотландии только для крупных месторождений, перекрытых мощными наносами.

Месторождения штата Нью-Йорк

Толща группы Салайна (верхний силур) протягивается через центральную часть штата Нью-Йорк в виде широтного пояса длиной более 200 миль и падает на юг с уклоном 20—50 футов на милю. Гипс был обнаружен в этой толще в 1792 г. и в течение более столетия разрабатывался открытым способом на выходах. В течение многих лет гипсодобывающая промышленность концентрируется в западной части штата Нью-Йорк, между Рочестером и Буффало, и эксплуатационные работы ведутся подземным способом по камерно-столбовой системе.

Как показано на фиг. 6.8, гипс встречается в виде двух пластов мощностью около 5 футов каждый, приуроченных

к формации Сиракузы. С гипсом ассоциируют доломиты и желтовато-серые глинистые сланцы. Гипс в верхнем пласте, который называется «главным пластом» и по большей части разрабатывается, белый и очень чистый. Глубина эксплуатационных работ не более 150 футов; перекрывающие породы представлены более молодыми осадками группы Салайна и



Фиг. 6.8. Разрезы типичных гипсоносных отложений. (Разрез Канзасской гипсоносной толщи воспроизведен с изменениями из работы Kulstad et al., 1956.)

1 — доломиты; 2 — красные и серые глинистые сланцы; 3 — красные глинистые сланцы, алеволиты и песчаники; 4 — бурые и серые песчаники; 5 — гипс.

ледниковыми отложениями. Недостаточная обнаженность и ограниченное количество подземных выработок привели Ньюленда (Newland, 1929, стр. 51, фиг. 4,5) к заключению, что гипсоносная толща имеет прерывистый характер и представляет собой серию линз, частично располагающихся кулисообразно. При более поздних исследованиях как в результате наблюдений на поверхности, так и в подземных выработках было установлено, что оба пласта гипса формации Сиракузы весьма устойчивы и прослеживаются из окрестностей Ютики до полуострова Онтарио. Вниз по падению в южном направлении эти пласты гипса переходят в ангидрит, когда мощность перекрывающей толщи достигает 200—300 футов; еще далее по падению при мощности налегающих пород в не-

сколько сот футов ангидрит в свою очередь сменяется хорошо известной каменной солью формации Сиракузы (стр. 314). Количество эвапоритов в горизонтах, которые подстилают и перекрывают формацию Сиракузы (обнажены они весьма слабо), по наблюдениям в подземных выработках также увеличивается к югу. Все эти наблюдения позволяют предполагать, что наблюдающееся в настоящее время простираение пояса гипсоносных пород группы Салайна приблизительно параллельно береговой линии эвапоритового бассейна позднесилурийского времени.

Округ Барбер, Канзас

В регионе Великих равнин, особенно в Канзасе, Оклахоме и Техасе, крупные количества гипса добываются из отложений пермской системы. Типичные для этой группы месторождения располагаются в округе Барбер, Канзас, непосредственно севернее границы Оклахомы, где в течение многих лет гипс добывается из отложений формации Блейн (ярус Леонард). В наиболее полном разрезе формация Блейн состоит из четырех горизонтов, в каждом из которых преобладает гипс. Такие разрезы можно наблюдать в пределах возвышенности Гипсум-Хиллс в Канзасе и Оклахоме. В округе Барбер, однако, присутствует только нижний гипсоносный горизонт этой формации — Медисин-Лодж (фиг. 6.8). Он представлен пластом серого и белого гипса мощностью 30 футов, в средней части которого присутствуют реликтовые линзы ангидрита со средним поперечником 12 футов и мощностью около 1 фута. Пласт гипса подстилается и перекрывается мягкими красными гипсодержащими глинистыми сланцами и алевролитами, в которых присутствуют тонкие пласты доломита и доломитистого песчаника. Структура района очень проста, региональное падение пород составляет около 11 футов на милю в юго-западном направлении. Первоначально гипс добывался открытым способом, однако по мере развития эксплуатационных работ возрастающая мощность вскрыши заставила в 1930 г. перейти на подземные способы разработки. Возле Сан-Сити располагается гипсовый рудник, применяющий камерно-столбовую систему разработки. Этот рудник поставляет сырье для расположенного в 20 милях завода в Медисин-Лодж, где производятся гипсовые штукатурка и стеновые блоки. Условия залегания и методы добычи гипса в округе Барбер, а также в других частях Канзаса описаны Калстедом, Фёрчилдом и Мак-Грегором (Kuilstad, Fairchild, McGregor, 1956).

Горы Фиш-Крик, Калифорния

В Калифорнии гипс встречается в умеренно метаморфизованных дотретичных известняках, в третичной толще и отложениях некоторых мелководных пустынных озер. Наиболее крупные эксплуатационные работы ведутся открытым способом в отложениях формации Сплит-Маунтин (миоцен) у северного окончания гор Фиш-Крик в округе Импириал, приблизительно в 70 милях восточнее Сан-Диего. Это месторождение состоит почти из 100-футовой толщи весьма чистого массивного гипса, залегающего в верхней части формации Сплит-Маунтин. Гипс подстилается континентальными серыми конгломератовидными песчаниками, а в полном разрезе перекрывается морскими глинистыми сланцами и слабо консолидированными песчаниками миоценовой формации Импириал. Оба контакта согласные и постепенные. Гипс на месторождении представляет собой эрозионный останец, сохранившийся в мелкой синклинали, имеющей длину 3 мили и ширину 1 милю. Общее падение гипсоносной толщи — 30° по направлению к оси синклинали, однако имеются резкие локальные пликативные нарушения. Перекрывающая формация Импириал на месторождении удалена эрозией, и гипс залегает без перекрывающих пород. Он слагает гладкие округлые холмы, прикрытые гипситовой шляпой. Добыча ведется в крупном уступном карьере, откуда сырье направляется по частной узкоколейной дороге на обжиговый завод у Пластер-Сити, расположенный примерно в 25 милях южнее. Полное описание месторождения гор Фиш-Крик с приложением геологической карты дано Вер-Планком (Ver Planck, 1952, стр. 29—35).

Другие месторождения

Гипс долгое время добывается на полуострове Порт-Клинтон в северном Огайо из отложений формаций группы Басс-Айлендс (верхний силур). Гипсоносные отложения силурийского возраста развиты и в Мичигане, однако в этом штате более важные месторождения приурочены к формации Мичиган миссисипского возраста (ярус Осейдж и Мерамек). Гипс добывается близ Гранд-Рапидс в западной половине центральной части этого штата и близ Алабастера на озере Гурон на противоположной стороне от Мичиганского бассейна. В юго-западной Индиане мощные пласты гипса присутствуют в нижней части известняков Сент-Луис (миссисипий, ярус Мерамек) (McGregor, 1954). Эти месторождения до послевоенного вре-

мени были неизвестны, и эксплуатация их началась лишь в 1955 г. Изолированный гипсоносный район расположен в центральной Айове, где в течение многих лет эксплуатируется гипсовый горизонт Форт-Додж предположительно пермского возраста.

Многочисленные месторождения гипса преимущественно палеозойского и триасового возраста известны в регионе Скалистых гор, причем некоторые из них крупные и хорошего качества. Однако эксплуатируются лишь немногие месторождения в связи со значительным удалением их от рынков потребления.

Генезис

В 1877 г. шведский геолог Оксениус (Ochsenius, 1877) в результате исследований стасфуртских месторождений солей пермского возраста в Германии сформулировал концепцию происхождения ассоциации ангидрит — каменная и калийная соли. Он утверждал, что эти соли образовались в результате интенсивного испарения нормальной морской воды в мелководной прибрежной лагуне, отделенной от открытого моря баром. Периодическое поступление воды через бар приводило к выпадению новых порций солей, а постепенное опускание лагуны обусловило накопление мощной толщи солей. Все время при этом господствовал аридный климат, и притоки пресной воды были незначительны.

В 80-х годах после появления концепции Оксениуса были изучены многие другие месторождения солей, помимо Стасфуртского, и проблема их происхождения рассматривалась с геологических, физико-химических и океанографических точек зрения. В результате всех этих исследований появилась обширная литература, к которой, помимо трех крупных научных трудов (Fulda, 1938, Grabau, 1920; Lotze, 1957), относится множество более кратких работ. Современное состояние проблемы хорошо освещено в четырех недавно опубликованных статьях. В статье Скрётона (Scruton, 1953) рассмотрены типы циркуляции вод в полузамкнутых современных заливах, а Моррисом и Дикки (Morgis, Dickey, 1957) описано соленакопление на противоположных концах эстуария на перуанском побережье. Слосс (Sloss, 1953) на основании изучения условий, существовавших в течение четырех периодов палеозоя в отдельных бассейнах Северной Америки, дал общие выводы по происхождению эвапоритов. Бриггс (Briggs, 1958) определил теоретическое распределение эвапоритовых минералов в идеальном бассейне и на основе фациального анализа

формации Салайна реконструировал палеогеографическую обстановку в бассейнах Мичигана и Огайо — Нью-Йорка. Исходя из упомянутых работ и взглядов других современных исследователей, можно уверенно утверждать, что основные условия, необходимые для соленакопления, все-таки сводятся к положениям Оксениуса: залив, имеющий ограниченную связь с морем; интенсивное испарение; восполнение испарившейся влаги нормальной морской водой; и, наконец, постепенное опускание дна бассейна.

Естественно, эти положения несколько видоизменены и усовершенствованы. Ясно, например, что наиболее важный тип бассейна, в котором происходит осаждение эвапоритов, — преимущественно не прибрежные лагуны, а крупные бассейны, почти не сообщающиеся с открытым морем. Преградой циркуляции воды могли служить не только бар, как это предполагал Оксениус, но и мелководье с дном из коренных пород, или гряда рифов, или извилистый пролив. Восполнение бассейновых вод могло быть периодическим или непрерывным через преграждающий барьер или пролив. Циркуляция, вероятно, осуществлялась не только односторонним поступлением нормальной морской воды в солеродный бассейн; наряду с течением слабо соленой воды в верхних слоях существовало и обратное течение сильно соленой воды из бассейна в открытое море в нижних слоях. Это последнее положение было высказано Кингом (King, 1947) на основании изучения верхнепермских эвапоритов Делавэрского бассейна в западном Техасе и Нью-Мексико, а затем подтверждено Скрэтоном (Scruton, 1953) на примере современных эстуариев.

Значительная часть эвапоритов, отложившихся в слабо сообщающихся с открытым морем заливах и реликтовых морях прошлого, представлена сульфатом кальция. В каком состоянии был отложен этот материал — в виде гипса или ангидрита? Экспериментальные исследования (Douglas, Goodman, 1957; McDonald, 1953; Posnjak, 1940) показали, что в пределах вероятных температур и солености воды могли выпадать в осадок оба минерала. Однако геологи, изучавшие промышленные месторождения, приводят громадное количество доказательств, что первоначально выпадал в осадок ангидрит, который затем в зоне выветривания гидратировался и переходил в гипс. Гипс присутствует лишь до глубины 100—300 футов от поверхности, а по простиранию распространяется лишь до тех мест, где мощность перекрывающих пород имеет приблизительно ту же величину; глубже или дальше по простиранию присутствует только ангидрит. Среди многих

работ, в которых описываются подобные соотношения, можно упомянуть статью Ньюленда (Newland, 1929), посвященную месторождениям штата Нью-Йорк, статью Мьюира (Muir, 1934) о формации Блейн Оклахомы, отчет Вер-Планка (Ver Planck, 1952) о калифорнийских месторождениях. Приведены бесчисленные примеры перехода ангидрита в гипс вдоль трещин и зон разломов, а также присутствия корродированных реликтов ангидрита в гипсе. Вторичное происхождение гипса было показано Роджерсом (Rogers, 1915) на основании микроскопического изучения многочисленных образцов ангидрита и гипса из многих месторождений.

Практическое значение этого вывода очевидно: месторождения гипса имеют приповерхностный характер, и при развитии эксплуатационных работ нельзя рассчитывать, что их можно продолжать до любой глубины или при любой мощности перекрывающей толщи. При подсчете запасов и проектировании дальнейших эксплуатационных работ необходимо проводить систематическое бурение для точного определения границы перехода гипса в ангидрит.

В большинстве месторождений эта граница (резкая или постепенная) располагается примерно на одинаковой глубине, а в плане она совпадает с изолинией определенных мощностей перекрывающей толщи. Короче говоря, распространение гипса связано с современным рельефом. Предполагается, что изменение ангидрита в гипс осуществлялось в голоцене или плейстоцене и, вероятно, происходит в настоящее время. Ньюленд (Newland, 1929, стр. 69) пришел к выводу, что гипс месторождений штата Нью-Йорк — послеледниковое образование и возник примерно в течение последних 25 тыс. лет.

В крупных месторождениях Новой Шотландии взаимоотношения гипса и ангидрита не столь ясны и дают повод для противоречивых толкований. С целью «установления целесообразных систем разработки» Бейли (Bailey, 1931) констатировал, что гипс образуется за счет ангидрита не только под воздействием нисходящих поверхностных вод, но также, вероятно, более интенсивно в результате их продвижения в горизонтальном направлении. С точки зрения Бейли, крутые поверхности тектонических блоков, обращенные в сторону от моря, представляют собой «фронт гидратации» и позади этих поверхностей грунтовые воды создают как бы резервуары, поддерживающие процесс гидратации. Наблюдающееся местами переслаивание гипса и ангидрита объясняется селективной боковой гидратацией. С другой стороны, Гудмен (Good-

man, 1954) утверждал, что контакт гипса с ангидритом контролируется не современной дневной поверхностью, а направлением плоскости напластования. Согласно представлениям этого исследователя, первоначально осаждался ангидрит, а вскоре после этого (в миссисипское время) он гидратировался и переходил в гипс. Предполагается, что температура в бассейне понижалась, вероятно в связи с удалением лагунных вод; реликтовые воды, проникшие в ангидрит, представляли собой важный агент их изменения. При условии что в гипс подобным способом переходили только верхние части серии ангидритовых пластов, должно было возникнуть переслаивание гипса и ангидрита. При эрозии удалялась значительная часть такого раннего гипса, однако эти потери восполнялись непрерывным изменением ангидрита в гипс под воздействием метеорных вод. Иными словами, Гудмен считает процесс гипсообразования поверхностным, но полагает также, что в значительной мере гипс возникал вскоре после отложения осадка. Он считает, что установлению точного соответствия между геологической структурой и распространением гипса мешает сжатая складчатость, которую претерпела гипсоносная толща. Если такие соотношения все-таки существуют, детальные структурные карты должны отчасти помогать выявлению запасов и направлений дальнейших разведок гипса.

Комментируя статью Бейли, опытный предприниматель из Новой Шотландии заметил, что взаимоотношения гипса и ангидрита значительно сложнее, чем указано Бейли, и, в частности, указал: «В один из дней весь забой карьера сложен гипсом, а на следующий день после первого же взрыва он может целиком состоять из ангидрита» (Bailey, 1931, стр. 186). Пока не ясно, насколько удовлетворительнее объясняет эти соотношения более поздняя концепция Гудмена. Очевидно, для выяснения генезиса месторождений Новой Шотландии нужны еще значительные исследования.

Методы добычи и переработка

В тех случаях, когда перекрывающие породы имеют незначительную мощность или отсутствуют, гипс добывается общепринятыми методами в крупных уступных карьерах. После вскрытия производятся бурение, взрывные работы и погрузка на железнодорожные платформы или в грузовики. На тех месторождениях, где вскрыша имеет большую мощность или сложена крепкими породами, или на тех, где про-

дуктивные пласты залегают круто, приходится применять подземные способы добычи. Вскрытие месторождений производится штольнями, штольнями из карьеров, а также наклонными и вертикальными шахтами. Камерно-столбовая система разработки может применяться в две стадии. На первой стадии вынимается от 60 до 75% гипса. Затем, если нет необходимости в сохранении земной поверхности, могут быть выработаны целики и обрушена кровля выработанного пространства. На второй стадии общее извлечение гипса достигает 90%. Для добычи гипса не требуется какого-либо специального оборудования; оно аналогично оборудованию, применяющемуся при разработке известняков, каменной соли и других полезных ископаемых с низкой стоимостью единицы продукции.

Сырой гипс дробится и подвергается грохочению, после чего он может быть без дальнейшей переработки направлен потребителям в качестве замедлителя схватывания портландцемента или в качестве удобрения. Однако в большинстве случаев гипс обжигают. Процесс обжига заключается в нагревании при строго контролируемой температуре около 175° в течение 1—2 час. Процесс обжига проводится в несколько приемов с использованием специальных реторт или непрерывно во вращающихся печах, похожих на цементные или известковые. Обожженный гипс тонко мелется, а затем смешивается с замедлителями, ускорителями или другими необходимыми добавками. Обычно он направляется непосредственно на предприятия, выпускающие гипсовые плиты и другие гипсовые изделия¹.

¹ **Заключительные замечания.** СССР располагает крупными ресурсами гипса и занимает второе место после США по его добыче. Месторождения гипса известны у нас в соленосных отложениях самого различного возраста — от кембрийского до третичного, наибольшее значение имеют пермские гипсы (особенно в Донбассе). Крупные месторождения разведаны у нас почти во всех экономических районах, меньше всего ресурсов гипса в Сибири и на Дальнем Востоке. Эксплуатируются многие десятки месторождений, причем на наиболее крупных рудниках ежегодная добыча превышает 1 млн. т. В отличие от представлений Бейтса, видимо, некоторые месторождения, целиком сложенные гипсом без реликтов ангидрита, относятся не к вторичным, а сингенетическим образованиям (гипсы Парижского бассейна). Наряду с апоангидритовым гипсом известен также тип метасоматических гипсовых месторождений, возникших в результате замещения известняков (в частности, в Хакассии, Иране, Британской Колумбии). Так же как и в США, в аридных районах СССР распространены гипситы, получившие многочисленные местные названия — гажга, ганджа, ганч и т. д. (Грузия, Армения, Азербайджан, Средняя Азия и др.) и иногда эксплуатирующиеся для местных нужд. Литература: Будников П. П., Гипс, его исследование и применение, Стройиздат, 1943. — *Прим. пер.*

ЛИТЕРАТУРА

- Balley H. B. (1931). Hydration factors in gypsum deposits of the Maritime Provinces, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 1931, 177—186.
- Barnes V. E. (1943). Gypsum in the Edwards limestone of central Texas, Univ. Texas Pub., 4301, 35—46.
- Bowles O., Farnsworth M. (1925). Physical chemistry of the calcium sulphates, and gypsum reserves, Econ. Geology, 20, 738—745.
- Branson E. B. (1915). Origin of thick gypsum and salt deposits, Bull. Geol. Soc. Amer., 26, 331—342.
- Briggs L. I. (1958). Evaporite facies, Jour. Sed. Petrology, 28, 46—56.
- Bundy W. M. (1956). Petrology of gypsum-anhydrite deposits in southwestern Indiana, Jour. Sed. Petrology, 26, 240—252.
- Burwell A. L. (1955). An investigation of industrial possibilities of Oklahoma gypsum and anhydrite, Okla. Geol. Survey Min. Rept., 29.
- Douglas G. V., Goodman N. R. (1957). The deposition of gypsum and anhydrite, Econ. Geology, 52, 831—837.
- Dunn C. P. (1948). Quarrying Texas gypsum, Explosives Eng., 26, № 6, 176—178.
- Edwards R. S. (1951). Processed anhydrite in the cement, paint and rubber industries, Nova Scotia Dept. Mines, Conf. on Industrial Minerals, 37—50.
- Fulda E. (1938). Stein und Kallsalz, Die Lagerstätten der Nutzbaren Mineralien und Gesteine, 3, part 2, Stuttgart, Enke, Review by R. D. Reed, 1938, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 22, 1284—1286.
- Gale H. S. (1951). Geology of the saline deposits, Bristol Dry Lake, San Bernardino County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 13.
- Goodman N. R. (1954). The geology of Nova Scotian gypsum, Can. Min. and Met. Bull., 47, № 502, 75—80.
- Goodman N. R. (1957). Gypsum in Nova Scotia and its associated minerals, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 110—114.
- Gouge M. F. (1951). Gypsum and anhydrite as industrial raw materials, Nova Scotia Dept. Mines, Conf. on Industrial Minerals, 26—36.
- Grabau A. W. (1920). Geology of the Non-Metallic Mineral Deposits, I, Principles of Salt Deposition, New York, McGraw-Hill.
- Grimsley G. P. (1905). Origin of gypsum, with special reference to origin of the Michigan deposits, Kan. Acad. Sci. Trans., 1904, 19, 110—117.
- Holmes G. H., Jr., (1950). Mining, milling, and manufacturing methods at the Blue Diamond Corp's gypsum property, Clark County, Nevada, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7555.
- Hoppin R. A. (1954). Geology of the Palen Mountains gypsum deposit, Riverside County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 36.
- Hume C. B. (1954). Mining of Nova Scotia gypsum, Can. Min. and Met. Bull., 47, № 504, 263—275.
- Jones V. (1935). Origin of the gypsum deposits near Sandusky, Ohio, Econ. Geology, 30, 493—501.
- King R. H. (1947). Sedimentation in Permian Castile sea, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 31, 470—477.
- Krumbein W. C. (1951). Occurrence and lithologic associations of evaporites in the United States, Jour. Sed. Petrology, 21, 62—81.

- Kulstad R. O., Fairchild P., McGregor D. (1956). Gypsum in Kansas, Kan. Geol. Survey Bull., 113.
- Lintner E. J. (1944). Gypsum in Ohio, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Circ., 45, 10—30.
- Lotze F. (1957). Steinsalz und Kalisalze, 2nd. ed., Berlin, Borntraeger.
- MacDonald G. J. F. (1953). Anhydrite-gypsum equilibrium relations, Amer. Jour. Sci., 251, 884—898.
- Mathews A. A. (1936). The gypsum industry of Grand Rapids, Michigan, Min. and Met., 17, № 357, 427—430.
- McDivitt J. F. (1952). A report on gypsum deposits in Washington County, Idaho, Idaho Bur. Mines and Geology, Pamphlet 93.
- McGregor D. J. (1954). Gypsum and anhydrite deposits in southwestern Indiana, Ind. Geol. Survey Rept. Prog., 8.
- Morris R. C., Dickey P. A. (1957). Modern evaporite deposition in Peru, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 41, 2467—2474.
- Muir J. L. (1934). Anhydrite-gypsum problem of Blaine formation, Oklahoma, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 18, 1297—1312.
- Newland D. H. (1921). Geology of gypsum and anhydrite, Econ. Geology, 16, 393—404.
- Newland D. H. (1922). Relation of gypsum supplies to mining, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 66, 89—98.
- Newland D. H. (1929). The gypsum resources and gypsum industry of New York, N. Y. State Museum Bull., 283.
- Ochsenius C. (1877). Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze, Halle.
- Ochsenius C. (1888). On the formation of rock-salt beds and mother-liquor salts, Acad. Nat. Sci. Phila. Proc., 1888, 181—187.
- Pettijohn F. J. (1957). Sedimentary Rocks, 2nd. ed., New York, Harper, 478—486.
- Posnjak E. (1938). The system $\text{CaSO}_4\text{—H}_2\text{O}$, Amer. Jour. Sci., 5th. ser., 35, 247—272.
- Posnjak E. (1940). Deposition of calcium sulphate from sea water, Amer. Jour. Sci., 238, 559—568.
- Rogers A. F. (1915). Notes on the occurrence of anhydrite in the United States, Columbia Univ., School of Mines Quart., 36, 123—142.
- Scott G. L., Jr., Ham W. E. (1957). Geology and gypsum resources of the Carter area, Oklahoma, Okla. Geol. Survey Circ., 42.
- Scruton P. C. (1953). Deposition of evaporites, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 37, 2498—2512.
- Sloss L. L. (1953). The significance of evaporites, Jour. Sed. Petrology, 23, 143—161.
- Stenzel H. B. (1943). Gypsum resources and mining on the Hockley dome, Harris County, Texas, Univ. Texas Pub., 4301, 207—226.
- Stone R. W. et al., (1920). Gypsum deposits of the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 697.
- Ver Planck W. E. (1952). Gypsum in California, Calif. Div. Mines Bull., 163.
- Ver Planck W. E. (1957). Gypsum, Calif. Div. Mines Bull., 176, 231—240.
- Wilder F. A. (1921). Some conclusions in regard to the origin of gypsum, Bull. Geol. Soc. Amer., 32, 385—394.
- Wilder F. A. (1923). Gypsum, its occurrence, origin, technology and uses, Iowa Geol. Survey, 28, 47—537.
- Anonymous (1953). Anhydrite, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 6, № 1, 1—2.

СОЛЬ

Введение

В связи с тем что соль имеет существенное значение для самой жизни человека, ее знали и использовали издавна. От соляных копей Северной Индии и до берегов Мертвого моря древние земли были пересечены путями, проложенными соляными караванами. Упоминания о соли в изобилии встречаются в древней литературе, в том числе в Библии, и многие выражения об этом веществе вошли в нашу повседневную речь. Воины Цезаря получали часть своей платы солью (соляриум). Соль имела религиозное значение, отставалась в войнах и была традиционным объектом обложения налогом.

Столь раннее знакомство человека с солью объясняется тем, что она совершенно необходимый компонент рациона, приправа к пище и вещество, сохраняющее впрок продукты питания, а также предохраняющее тело человека от вредного влияния жара пустынь. Хотя все эти непосредственные потребности человека сохранились в том же самом виде, как и в древнейшие времена, тем не менее на непосредственные жизненные нужды человека идет лишь 3% общего количества добываемой соли. В настоящее время соль превратилась в основное сырье химической промышленности, и миллионы тонн этого полезного ископаемого ежегодно используются в производстве таких продуктов, с которыми мы ежедневно сталкиваемся в своей жизни.

Чистая соль представляет собой хлористый натрий NaCl . В природе она встречается в твердой форме в виде минерала галита, в чистом состоянии бесцветного или белого, но иногда серого либо с бледно-голубым, розовым или желтым оттенком. Галит слагает до 95—99% каменной соли. Главная примесь в каменной соли — ангидрит CaSO_4 ; незначительные примеси в ней часто представлены хлористыми кальцием и магнием, а также сульфатами натрия и магния.

Промышленные пласты каменной соли имеют мощность от первых футов до нескольких сот футов. Поскольку каменная соль относится к эвапоритам, то с ней обычно ассоциируют ангидрит, первичный доломит, глинистые сланцы и изредка калийные соли. Промышленные месторождения связаны, кроме того, с так называемыми соляными куполами. Соль легкорастворима в поверхностных водах, и поэтому выходы ее на дневную поверхность встречаются лишь в районах с наиболее сухим климатом, а промышленные месторождения почти всегда залегают на глубине. Соль добывается в твер-

дой форме или с получением *искусственных рассолов* (рапы). Для получения рассолов в соляной толще бурятся скважины, в которые накачивается вода, растворяющая соль и насыщающаяся ею, а затем выкачивается обратно на поверхность. Эти рассолы выпариваются до получения твердой соли или непосредственно используются в химических производствах.

Хлористый натрий также встречается в виде естественных рассолов различных типов. К естественным рассолам относятся следующие образования (в порядке уменьшения практического значения):

- Морская вода
- Поровые рассолы горных пород
- Соляные озера
- Рассолы, насыщающие кристаллические отложения высушенных соляных озер
- Соляные источники

В промышленных масштабах соль получают выпариванием морской воды, например, в районе залива Сан-Франциско (Buchan, 1937; Ver Plapck, 1951, 1958), а также из вод Большого Соленого озера, Юта. Поскольку проблема извлечения соли в этих случаях относится скорее к сфере химических, а не геологических вопросов, то в дальнейшем целесообразно рассматривать их подробнее. Из рассолов, присутствующих на глубине в коренных породах и называемых обычно *природными рассолами*, получают хлористый натрий и некоторые другие ценные соли. Рассолы озера Сёрлс и других сухих соляных озер пустыни Мохаве в Калифорнии широко используются прежде всего в качестве источника калийных солей. Соляные источники имеют незначительное практическое значение.

Несмотря на разнообразие рассолов и неистощимость одной из их разновидностей — морской воды, свыше 90% промышленной добычи соли в США приходится на месторождения каменной соли. Аннотированная библиография по соляным месторождениям США опубликована в 1957 г. (Lang, 1957).

Применение

Соль входит в «большую четверку» минерального сырья, наиболее существенного для химической промышленности; эта группа полезных ископаемых, кроме соли, включает каменный уголь, известняк и серу. По данным исследований,

опубликованных в 1939 г. (Keller, Quirke, 1939), соль служит основой для получения 75 важных промышленных химических соединений, а рассолы необходимы для получения 24 различных химикалий. Промышленное использование соли описано Лукером (Looker, 1941); этот вопрос рассматривается также в книгах, посвященных химической промышленности.

В большинстве случаев добываемая и потребляемая химическими производствами соль используется не как таковая, а разлагается на составляющие ее активные и обладающие многогранными свойствами элементы — натрий и хлор. Наиболее крупное относительно простое использование соли основано на ее реакции с известью с получением соды (карбоната натрия Na_2CO_3). Сода представляет собой важный химикалий во многих отраслях промышленности, в том числе в стекловарении и производстве каустической соды для бумажной промышленности. Вторым важным видом использования соли является производство хлора, хлоратов, соляной кислоты и связанных с ними соединений. Каждое из этих веществ очень широко используется в промышленных целях.

Кроме того, соль применяется в производстве мыла и красок, выделке тканей и кож, в препаратах обеспыливания и для регулирования температуры замораживания, в очищении воды и металлургии. В пищевой промышленности соль используется в рефрижераторном деле, консервировании мяса и рыбы, производстве молочных продуктов, а также в качестве обыкновенной столовой соли. Производством металлургического натрия из соли в США занимаются три фирмы¹.

Производство

В США 83% добычи соли производится в пяти штатах. Ниже эти штаты перечисляются в порядке уменьшения объемов добычи в 1957 г. и с указанием типов месторождения:

¹ В 1962 г. в США разработаны новые способы получения особо чистого (менее 5 частей на миллион примесей) хлористого натрия и другие вопросы технологии переработки соли. Совершенствовались методы добычи пластовой соли в рудниках Луизианы, способы гидравлической добычи с использованием серий сообщающихся в соляном пласте скважин, методы извлечения соли из морской воды и др. Интересны данные о ядерном взрыве мощностью 3 кт в пласте каменной соли близ Карлсбада на глубине 1200 футов от поверхности. Возникшая в результате взрыва камера диаметром 110 футов была наполовину заполнена раздробленной солью, причем диаметр частиц преимущественно составлял 2—3 меш. Пласты соли были вдавлены во вмещающие породы, чего не наблюдалось при подземном взрыве в туфах. — *Прим. перев.*

Мичиган (пластовая соль, природные рассолы)
Техас (соляные купола)
Нью-Йорк (пластовая соль)
Луизиана (соляные купола)
Огайо (пластовая соль, природные рассолы).

Кроме того, добыча соли ведется в семи других штатах, из которых наибольшее значение имеет Калифорния (выпаривание морской воды) и Канзас (пластовая соль). Суммарная добыча соли в США в 1957 г. составила 23,8 млн. коротких тонн общей стоимостью 147 млн. долл.¹ Соль производится 89 предприятиями, из которых восемь выпускают ее в количестве более 1 млн. коротких тонн каждое. Все крупные заводы и многие мелкие предприятия контролируются объединенными химическими компаниями, которые ведут как добычу соли, так и производство из нее других видов сырья различных химических продуктов.

Пластовая соль

Мощность пластов каменной соли колеблется от первых дюймов до нескольких сот футов. Соль обычно переслаивается с ангидритом и доломитом или содержит их рассеянную примесь, в аналогичных взаимоотношениях находится она с глинистым материалом. Количество примесей, однако, обычно не превышает 2—3%. По простиранию в направлении к границам соленосных бассейнов пласты солей выклиниваются, будучи уничтоженными при растворении или замещенными другими фациями — ангидритами, карбонатными породами или тонкокластическими осадками. Протяженность соляных пластов иногда бывает огромной. Так, в пределах пермского бассейна на юго-западе США отложения солей развиты на площади 100 тыс. кв. миль. Предполагают также, что пермские отложения соли Лауанн, которые залегают на глубине и представляют собой источник соляных куполов побережья Мексиканского залива, развиты в прибрежных районах Техаса, Луизианы, Миссисипи и Алабамы в пределах территории 180 тыс. кв. миль. Площадь распространения силурийской каменной соли в штатах Нью-Йорк и Мичиган составляет не менее 65 тыс. кв. миль.

¹ Мировое производство соли в 1962 г. (млн. т) — 100,5 (в 1953—1957 гг. в среднем 71,6), в том числе: США 29; Китай 13; Великобритания 6,7; ФРГ 5,5; Индия 4,2; Франция 4,2; более 1 млн. т также ГДР, Польша, Румыния, Испания, Аргентина. — *Прим. перев.*

Таким образом, имеются огромные запасы соли; места разработки соленосных толщ прежде всего определяются близостью к рынкам потребления и глубиной залегания продуктивных горизонтов. Пермская соль юго-запада США используется в незначительных масштабах (существует лишь единственный крупный рудник в Канзасе близ северо-восточной границы соленосного бассейна). Пластовые отложения солей Лауанн не имеют практического интереса, так как залегают они слишком глубоко. С другой стороны, значительная часть соляных отложений силурийского возраста на северо-востоке США залегают близ поверхности и неподалеку от крупных рынков потребления. В связи с этими обстоятельствами пластовая соль здесь имеет важное промышленное значение.

Месторождения штата Нью-Йорк

Каменная соль в штате Нью-Йорк выявлена в пределах пояса, протягивающегося из округа Онондага в западном направлении в пределы округов Вайоминг и Дженеси до пункта, расположенного примерно в 30 милях восточнее Буффало. Соль приурочена к отложениям формации Сиракузы, входящей в группу Салайна (верхний силур); эти отложения — фациальные стратиграфические эквиваленты продуктивных гипсоносных осадков (стр. 299), но развитые в нескольких милях южнее (вниз по падению) от гипсоносного пояса. Глубина залегания соли колеблется от 500 до 2000 футов. Мощные пласты каменной соли развиты в южной половине центральной части штата Нью-Йорк и протягиваются на юг, в Пенсильванию. Однако в этом направлении быстро увеличивается глубина их залегания в связи с региональным падением толщи около 40 футов на милю и повышением рельефа на юг.

Достоверно установлено, что два выдержанных пласта гипса, прослеживающихся в штате Нью-Йорк (стр. 300), переходят вниз по падению в ангидрит, а затем в каменную соль. В направлении падения мощность этих пластов и вмещающей доломитово-глинистой толщи возрастает, и в разрезе появляются новые пласты эвапоритов. Мощность разреза соленосной толщи в буровой скважине близ Итаки составляет 470 футов; в нем присутствуют семь пластов каменной соли суммарной мощностью 248 футов (Phalen, 1919, стр. 22). Примерно в 25 милях юго-западнее, в округе Скайлер, южнее Уоткинс-Глен, находится центр бассейна Салайна, где общая мощность пластов соли превышает 900 футов (Fettke, 1955). Разрезы буровых скважин, пройденных для получения рас-

слов на расстоянии в несколько сот футов одна от другой, заметно отличаются по характеру распределения соли и строению вмещающей толщи. По данным Крейдлера (Kreidler, 1957, стр. 6), в целом мощность отдельных соляных пластов изменяется от 15 дюймов до 548 футов.

Сырая каменная соль имеет серовато-белую окраску и содержит 96—98% хлористого натрия. Главнейшие примеси представлены тонкими прослоечками глинистых сланцев, доломитистых известняков и ангидрита, в которых могут присутствовать небольшие количества калийных солей и углестого вещества. Вверх и вниз по разрезу пласты соли переходят в «ангидритсодержащие магниезально-известковые илы с неправильными включениями и жилами галита» (Alling, 1928, стр. 24). Для таких пород трудно найти подходящее название; возможно, они правильно названы некоторыми авторами *соляными сланцами* (salt shale). Магнезиальные известняки имеют характер «гидравлической извести» и до 1900 г. на выходах разрабатывались в качестве сырья для натурального цемента (стр. 242).

Каменная соль разрабатывается методом получения искусственных рассолов, а также и в рудниках. Одно из первых крупных полей соляных скважин расположено близ Талли примерно в 15 милях южнее Сиракуз. Длительное время функционируют два рудника: один у озера Кейиуга севернее Итаки, а другой у Ретсофа в округе Ливингстон, близ западной границы соленосного пояса. На последнем, представляющем собой крупнейший соляной рудник в западном полушарии, разрабатывается пласт соли мощностью 18 футов на глубине 1063 фута. При этом вынимаются лишь средние 9—10 футов общей мощности пласта, так как верхние и нижние части загрязнены глинистыми сланцами.

Месторождения штата Мичиган

Почти на всей территории Мичигана, южнее одноименного полуострова, развиты отложения каменной соли формации Салайна (верхний силур), сопоставляющиеся с соленосной толщей штата Нью-Йорк. Соляные отложения общей мощностью не менее 1800 футов пересечены разведочными нефтяными скважинами в центральной части Мичиганского бассейна; кровля формации Салайна находится здесь на глубине около 8000 футов от поверхности. В краевых частях бассейна мощность соленосных отложений уменьшается, но они поднимаются к земной поверхности и залегают на глубине, доступной для экономически целесообразной разработки. Более 70%

добычи соли в пределах штата производится в районе округа Уэйн-Детройт, в юго-восточном углу бассейна. Здесь каменная соль залегает на глубине 1000—1500 футов.

Частично соль извлекается в виде искусственных рассолов, но главная ее масса добывается в руднике под городом Детройт, на глубине 1140 футов. Продуктивная толща сложена здесь светло-серой прозрачной солью, обычно перемежающейся с ангидритово-доломитовыми прослоями, которые отстоят друг от друга на несколько дюймов и включают примесь углистого вещества и рассеянные зерна пирита. Многие из этих прослоев несут знаки ряби (Dellwig, 1955, стр. 99).

Разрабатывается самый верхний пласт каменной соли формации Салайна, которая в районе Детройта имеет мощность от 300 до 400 футов. Характерны резкие изменения литологического состава толщи по простиранию, подобные установленным в разрезах группы Салайна в штате Нью-Йорк; эти фациальные изменения резче всего выражаются в выклинивании каменной соли в нескольких милях к югу от рудника в округе Уэйн, а также в отсутствии соленосных осадков в следующем на север округе.

Стратиграфия формации Салайна в Мичиганском бассейне обобщена Лэндсом (Landes, 1945), а происхождение соли подробно рассмотрено Делвигом (Dellwig, 1955).

Другие месторождения

В северо-восточном Огайо с 1889 г. отложения формации Салайна разрабатываются методом получения искусственных рассолов. В основном добыча производится двумя химическими концернами у Пейнсвилла северо-восточнее Кливленда и у Барбертона около Акрона. На фабрику в Пейнсвилле поступают рассолы из двух или трех пластов каменной соли суммарной мощностью около 150 футов, залегающих на глубине 2 тыс. футов. У Барбертона разрабатываются отложения, коррелирующиеся с развитыми у Пейнсвилла, но залегающие на глубине 2750 футов ниже земной поверхности [Барбертонский концерн разрабатывает также известняки формации Колумбус (стр. 245) в качестве химического сырья]. В 1958 г. близ Пейнсвилла проходила шахта для подземной добычи соли, а другой рудник планировался в районе Кливленда. Распространение и мощности солей формации Салайна в Огайо описаны Пеппером (Pepper, 1947).

Несколько компаний добывают каменную соль в Канзасе. Здесь отложения соли суммарной мощностью 250—400 футов связаны с формацией Веллингтон группы Самнер (пермь, ярус

Леонард). Пласты солей резко выклиниваются в северном и восточном направлениях, что, вероятно, связано с процессами выщелачивания, но далеко протягиваются на юго-запад в пределы Оклахомы и Техаса. Эти соляные осадки представляют собой часть мощной пермской соленосной толщи юго-запада США, однако канзасские пласты древнее большей части отложений пермского соленосного бассейна, который выполнен серией Очоа (самые верхи перми). Частично соль добывается в Канзасе при помощи скважин, но в основном извлекается на рудниках. На руднике у Канополиса, округ Элсуэрт, эксплуатируется пласт соли мощностью 8—10 футов, залегающий на глубине 600 футов. В этом пласте соли встречаются тонкие прослойки алеврита и имеется незначительная примесь ангидрита.

Генезис

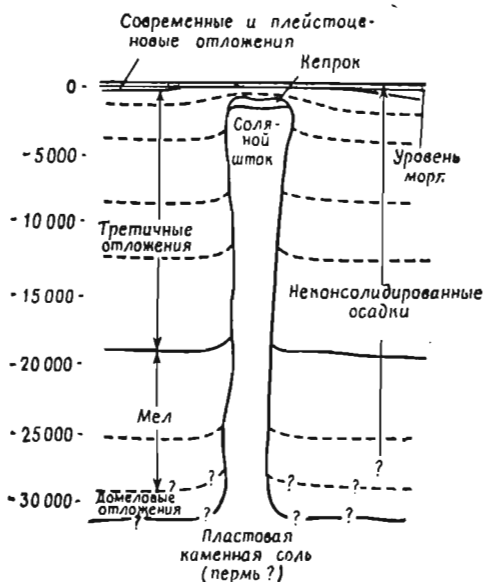
Крупные отложения пластовой каменной соли, так же как гипсово-ангидритовые осадки, сформировались в полуизолированных постепенно опускающихся бассейнах в аридных условиях, при которых испарение доминировало над атмосферными осадками и притоками воды из рек. Это положение представляется твердо установленным. Но, помимо такого самого общего вывода, существует масса невыясненных вопросов. Почему, например, в некоторых эвапоритовых отложениях, в частности в формации Кастайл (верхняя пермь) Делавэрского бассейна в западном Техасе, гипсово-ангидритовые осадки преобладают над солью, тогда как в других случаях, в частности в формации Салайна Мичиганского бассейна, наоборот, соль резко доминирует над гипсом? Был ли состав силурийской и пермской морской воды таким же, как в современных морях, и какую ценность имеют последние для сравнительных наблюдений по солеосаждению? Как понимать покров соли мощностью 1 тыс. футов, развитый на территории с площадью крупного штата?

Решение этих и других связанных с ними вопросов имеет огромное значение для развития наших знаний о геологической истории в целом. Пока эти вопросы не имеют серьезного прикладного значения, так как запасы соли, пригодные для эксплуатации, настолько велики, что нет необходимости в знании деталей происхождения соли, чтобы ориентировать поиски и разведки. Совершенно иное положение имеет место в отношении гипса, происхождение которого представляет непосредственный прикладной интерес (стр. 305). В связи с этим в настоящей книге нецелесообразно продолжать обсуждение

данной проблемы. Читатель, интересующийся сложными и увлекательными проблемами происхождения соли, отсылается к статьям Крумбейна (Krumbein, 1951), Скрёттона (Scrupton, 1953) и Слосса (Sloss, 1953), а особенно к превосходному исследованию генезиса каменной соли формации Салайна в штате Мичиган Делвигом (Dellwig, 1955).

Соляные купола

Около 30% добычи соли в США связано с эксплуатацией соляных куполов на побережье Мексиканского залива, главным образом в пределах Луизианы и Техаса. Соляные купола



Фиг. 6.9. Гипотетический разрез через соляной купол. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы.

представляют собой огромные колонкообразные и столбчатые тела соли, внедрившиеся снизу в почти горизонтально залегающую осадочную толщу (фиг. 6.9). Известно более 225 соляных куполов. Площадь их поперечного сечения колеблется от 100 акров до нескольких квадратных миль и в среднем составляет несколько меньше 1 кв. мили. Вертикальная протяженность от вершины до основания колеблется от 15 тыс.

футов до 35 тыс. футов и более (предположительно). На острове Эйвери, Луизиана, вершина купола находится в 12 футах выше уровня моря, но известны и различные глубже расположенные вершины, например, на 13 958 футов ниже уровня моря у купола, близ Лафитта в юго-западной части Нового Орлеана (Taylor, 1955, стр. 539). Примерно в 150 куполах, получивших название мелких, соль залегает на глубине менее 3 тыс. футов от поверхности.

На вершине большинства куполов, непосредственно на каменной соли, залегает так называемый *кепрок*, состоящий из ангидрита, перекрытого гипсом и загрязненными известняками. Мощность кепрока колеблется от первых футов до 1 тыс. футов и более.

С соляными куполами в целом связаны три полезных ископаемых. Во-первых, со многими из них ассоциируют скопления нефти или газа, накапливающиеся в порах песчаников на крыльях куполов, кавернах известняков кепрока или в куполообразно приподнятой налегающей толще. При интенсивном глубоком бурении на нефть были получены многие данные, помогающие представить историю формирования соляных куполов; геологи-нефтяники внесли крупный вклад в развитие знаний об этом своеобразном геологическом явлении. Во-вторых, основные месторождения серы в США приурочены к загрязненным известнякам кепрока; этот вопрос детальнее рассматривается на стр. 588—593. И, наконец, сама по себе каменная соль представляет собой минеральное сырье большой ценности. (Принципиальная возможность добычи четвертого полезного ископаемого — гипса — за счет разработки кепрока пока представляется экономически нецелесообразной.)

Полагают, что соляные штоки поднялись из мощного широко развитого горизонта каменной соли Лауани, который в настоящее время залегает на глубине 35—40 тыс. футов ниже уровня прибрежной равнины. Этот горизонт предположительно относят к перми. По поводу происхождения этой соли Хабаути и Хардин (Halbouty, Hardin, 1956) предложили простую концепцию. 1. В течение части позднепермского времени Делавэрский бассейн западной части штата Техас и юго-восточной части штата Нью-Мексико был непосредственно связан с Лауаннским бассейном. 2. Рассолы перемещались в восточном направлении из первого бассейна во второй. 3. В процессе этого движения сульфат кальция выпадал в Делавэрском бассейне в виде отложений ангидрита формации Кастайл, а в Лауаннском бассейне из тех же рассолов выпадала соль, сформировавшая одноименный горизонт.

После того как соль была погребена под илами и песками, она во многих местах начала выдавливатьсся вверх в пере-крывающую толщу. Причины локализации главных соляных штоков неизвестны; это могли быть изначальные неправильности в кровле пласта соли и наличие на глубине складок или разрывных нарушений, создавших ослабленные зоны или участки в вышележащей толще. Движение соли происходило посредством пластического течения в твердом состоянии подобно тому, как перемещается ледник или мрамор в складках течения (стр. 120). Наиболее убедительные обоснования подобной концепции получены при изучении признаков течения, наблюдающихся в нескольких соляных рудниках, особенно у Гранд-Салайна, Техас, и на острове Джефферсон, Луизиана (Balk, 1949, 1953). Восходящее движение соли в штоке, по-видимому, носило пульсационный характер, и периоды внедрения чередовались с периодами покоя. Движущей силой для такого внедрения, вероятно, была статистическая нагрузка вышележащих осадков. Удельный вес каменной соли 2,19, тогда как в одном случае во вмещающей толще на вертикальном интервале 1750 футов все породы имели большие удельные веса, достигающие на большой глубине 2,8 (Halbouty, Hardin, 1956, стр. 743). Таким образом, в качестве причины движения соли выступает и ее относительная легкость (всплываемость).

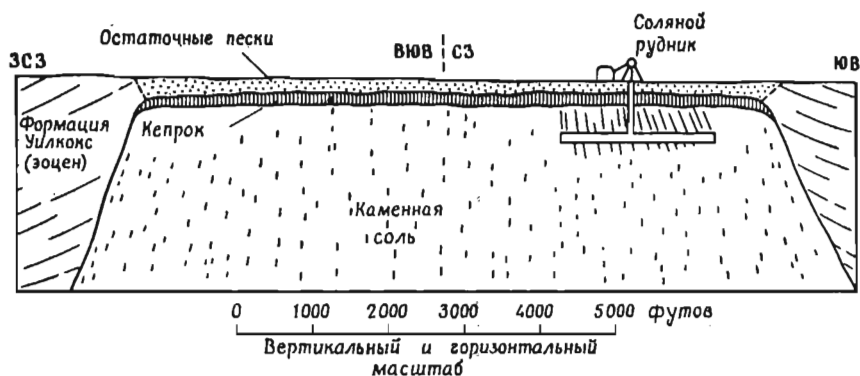
Каменная соль состоит из серого и голубоватого агрегата кристаллов галита со средним диаметром $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ дюйма. Незаменимо присутствуют более темные полосы шириной от долей дюйма до нескольких дюймов, вероятно отражающие поверхность напластования. Они круто наклонены или смяты в мелкие складки. Главный минерал этих темных полос ангидрит, фактически составляющий 99% нерастворимого в воде остатка соли. В незначительных количествах присутствуют и многие другие минералы, в том числе доломит, кальцит, кварц и пирит. Становление соляных куполов посредством пластического течения в твердом состоянии подтверждается присутствием в соли обломков песчаника, глинистого сланца, ангидрита и доломита.

В Луизиане, Техасе и Миссисипи соль извлекается посредством получения искусственных рассолов. В Луизиане действуют соляные рудники на трех куполах Пяти островов, расположенных близ побережья в южной половине центральной части штата, а также подле Уинфилда в северной половине центральной части штата. В Техасе действуют три рудника: у Гранд-Салайна, приблизительно в 60 милях восточнее Далласа и около Хокли, в 32 милях к северо-западу от Хьюстона,

На фиг. 6.10 приведен поперечный разрез разрабатываемого соляного купола.

Природные рассолы

Развитие соляной промышленности в США началось с использования соляных источников, затем были освоены при помощи буровых скважин природные рассолы и, наконец, стали получать искусственные рассолы и вести рудничную



Фиг. 6.10. Поперечный разрез через соляной купол Гранд-Салайн, Техас, в пределах которого действуют крупные рудники. (По работе Balk, 1949, 1795.)

добычу соли. Соляные источники утратили свое практическое значение много лет назад. Если бы природные рассолы использовались только для получения хлористого натрия, то они давным-давно не выдержали бы конкуренций с другими источниками соли. Однако присутствие в этих рассолах многих других солей в некоторых случаях придает им серьезное промышленное значение. В настоящее время на основе использования природных рассолов значительное развитие получила химическая промышленность в двух регионах: в бассейне реки Огайо (в юго-восточной части одноименного штата и в западной части Западной Виргинии), а также в центральной части Мичигана.

Бассейн реки Огайо

В южном Огайо и смежных частях Западной Виргинии присутствие рассолов установлено в восьми или десяти формациях, залегающих на глубине. Четыре наиболее важные рассолосодержащие формации приведены в табл. 6.3.

Рассолы в этом районе несут до 10% растворенных солей, а в некоторых содержание последних превышает 20%, тогда как в морской воде оно составляет только 3,5%. Содержания солей в разных рассолах различны. В общем как будто концентрация рассолов возрастает с увеличением возраста и глубины захоронения содержащих их пород.

Центр рассолдобывающего района располагается у Чарлстона, Западная Виргиния, в долине реки Канова. Здесь на

Таблица 6.3

Главные рассолсодержащие формации бассейна реки Огайо

Система	Серия	Формация	Название, применяемое в промышленности
Пенсильванская	Потсвилл	Массилон-Коннокуэссинг	«Соляные пески»
Миссисипская	Киндерхук	Блэк-Ханд	«Большой индеец»
Девонская	Нижняя	Орискани	«Первая вода Биг-Лайм»
Силурийская	Ниагарская	Ньюберг	«Вторая вода Биг-Лайм»

крупном заводе вырабатываются химикалии с использованием рассолов, получаемых из горизонта песков «Большой индеец», подсеченного на глубине около 1800 футов. На других расположенных поблизости заводах используют смеси рассолов горизонтов «Большой индеец» и «Соляные пески», или в переработку идут рассолы только последнего горизонта, распространенного на глубине от 600 до 1000 футов. Эти же рассолы перерабатываются у Померой, Огайо, на одноименной реке, где соль добывается в течение более 100 лет. Рассолы горизонтов «Первая вода» и «Вторая вода» имеют более высокие концентрации солей по сравнению с рассолами уже упомянутых горизонтов, а также обладают большей скоростью истечения. Расширению использования рассолов нижних горизонтов препятствует их глубокое залегание, однако они рассматриваются как важный потенциальный источник химического сырья во всем районе.

Главные извлекаемые из рассолов вещества — это хлористые натрий, кальций и магний, а кроме того, бром, иод и их соединения. В развитии химической промышленности долины Огайо важную роль играет обилие местного каменного угля.

Описание рассолсодержащих формаций и анализы рассолов Западной Виргинии приведены в работах Прайса и др.

(Price et al., 1937) и Хоскинса (Hoskins, 1947); аналогичные сведения для территории Огайо можно найти в работе Стаута и др. (Stout et al., 1932).

Месторождения штата Мичиган

В этом штате природные рассолы получают в двух районах. В центральном Мичигане, в пределах округов Мидленд и Гратриот, рассолы присутствуют в трех зонах: 1) песчаниках формации Наполион или Верхний Маршалл (миссисипий, ярус Осейдж); 2) известняк формации Данди (средний девон) и 3) песчаниках формации Силвания (нижний девон). Наибольшее значение имеют песчаники формации Наполион, мощность которых колеблется от 75 до 90 футов, а глубина залегания от 700 до 1200 футов. Из рассолов, связанных с этой формацией, получают поваренную соль, хлористые кальций и магний, а также бром. Эти рассолы служат сырьем для предприятий химической промышленности с центром в городе Мидленд.

Второй район добычи природных рассолов расположен в округах Мейсон и Манисти, расположенных на берегу озера Мичиган у западной границы штата. Здесь источником рассолов служат среднедевонские песчаники, относимые Мичиганской геологической службой к горизонту Филер формации Детройт-Ривер, а в стратиграфической схеме, предложенной Лэндсом (Landes, 1951, стр. 9), к одноименной зоне формации Амхерстберг. Этот горизонт мощностью 60—100 футов залегает на глубине 2500 футов. Используя рассолы этого горизонта, химические заводы в Ладдингтоне и Манисти получают поваренную соль, соединения магния, бром и другие химикалии.

Генезис

Признаются два возможных способа образования природных рассолов. Во-первых, они могут возникать за счет метеорных и поверхностных вод, приобретающих повышенные содержания солей при своей миграции через толщи горных пород. Во-вторых, рассолы могут представлять собой реликтовые воды, т. е. остатки морской воды, которая была захоронена в осадочной толще и более или менее изменилась в результате миграции, смены температуры и давления, смешивания с метеорными водами, а также под влиянием других факторов. Более широко принята вторая концепция.

Извлечение

Рудничная добыча

Добыча каменной соли осуществляется методами, не отличающимися сколько-нибудь существенно от применяющихся при эксплуатации каменного угля, гипса и других полезных ископаемых с малой стоимостью единицы продукции и относительно легких для разработки полезных ископаемых. Обычно применяется камерно-столбовая система разработки, более или менее видоизменяемая на тех или иных конкретных месторождениях. Соль разбуривается, взрывается, нагружается в грузовики или железнодорожные вагонетки, перевозится к шахте и поднимается на поверхность. Иногда необходимо производить частичное дробление соли под землей. Извлекается от 65 до 80% пласта соли, остальная часть оставляется в качестве целиков. Добыча на соляных рудниках высокомеханизированна.

Каменная соль очень устойчива при разработке, и на рудниках вырабатываются очень крупные камеры. Никсон (Nixon, 1950) отмечал, что размеры эксплуатационных выработок без применения каких-либо искусственных мер для их укрепления на канзасских рудниках достигали 50 футов ширины, 8—12 футов высоты и более 1 тыс. футов длины. Камеры в массивных соляных штоках при сходных горизонтальных размерах могут быть значительно выше — до 75 футов и более. Притоки воды в залежах каменной соли незначительны или отсутствуют вовсе, точно так же в выработки не поступает и газа, даже если поблизости от месторождения присутствует нефтегазоносная толща.

Практика горных работ и применяющееся при этом оборудование рассматриваются в нескольких статьях: Ла-Винь (LaVigne, 1938) — рудник Ретсоф в Нью-Йорке; Рид и Джекоби (Read, Jacoby, 1957) — Детройтский рудник; Никсон (Nixon, 1950) и Вейч (Veitch, 1943) — канзасские рудники; Вейгель (Weigel, 1938) — соляные купола Луизианы и Техаса.

Искусственные рассолы

В тех случаях, когда каменная соль залегает на значительной глубине, препятствующей ее добыче, или содержит загрязняющие примеси, которые удаляются при перекристаллизации, ее можно извлекать в виде искусственных рассолов через буровые скважины. С поверхности до залежи соли бурятся колонковые скважины диаметром 8—10 дюймов.

Скважины оборудуются внешними обсадными трубами для предотвращения утечки рассолов и внутренними трубами. По внутренним трубам накачивается пресная вода (имеющая обычную температуру), которая растворяет соль в забое скважины и возвращается на поверхность в виде рассола по полости между внутренними и обсадными трубами. Циркуляция воды поддерживается непрерывным приложением давления и введением сжатого воздуха для облегчения подъема колонны рассола. Камеры растворения, образуемые около забоя скважин, могут соединиться под землей, и тогда одна из скважин станет нагнетающей, а другая будет служить каналом для извлечения рассола. Рассолы на 97% насыщены хлористым натрием; из каждого галлона поднятого рассола получают около 3 фунтов соли. Методы извлечения каменной соли посредством искусственных рассолов описаны Трэмпом (Trump, 1947)¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Alling H. L. (1928). The geology and origin of the Silurian salt of New York state, N. Y. State Museum Bull., 275.
Ames J. A. (1950). Northern Appalachian salt, Min. Eng., 187, 557—559.
Anderson S. B., Hansen D. A. (1957). Halite deposits in North Dakota, N. D. Geol. Survey Rept. Inv., 28.
Balk R. (1949). Structure of Grand Saline salt dome, Van Zandt County, Texas, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 33, 1791—1829.
Balk R. (1953). Salt structure of Jefferson Island salt dome, Iberial and Vermilion parishes, Louisiana, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 37, 2455—2474.
Bengston R. J. et al. (1950). Mineral resources of southeastern Ohio, Ohio Geol. Survey, 79—87.

¹ **Заключительные замечания.** Соленосные осадки отсутствуют лишь в кембрийских породах, и в той или иной мере в различных местах земного шара имеются в отложениях всех систем — от кембрия до современных. На территории СССР каменная соль встречается в самых различных районах в осадках всех систем, кроме триасовой. Известны как гигантские бассейны пластовой соли (кембрийский в Восточной Сибири, девонские в Донбассе и Белоруссии, пермские в Западном Приуралье и Прикаспии, юрские в Средней Азии, третичные в Закарпатье, в Закавказье и др. местах), так и огромные соляные купола (Урало-Эмбенский район). СССР занимает первое место в мире по богатству соляными озерами, расположенными в пределах так называемого соляного пояса, протягивающегося от низовьев Дуная до Забайкалья в южной части страны. Добыча соли в СССР производится как на подземных рудниках, так и посредством рассольных скважин. Главная проблема соляной промышленности СССР — отсутствие месторождений соли на Дальнем Востоке, в связи с чем возникают нерациональные дальние перевозки. Советскими геологами детально изучены условия формирования соленосных отложений, и по этому вопросу существует обстоятельная литература. (Иванов А. А., Левицкий Ф. Ю., Тр. ВСЕГЕИ, т. 35, 1960, и др.). — *Прим. перев.*

- Buchen I. C. (1937). Evaporating salt from the world's largest mineral deposit, *Min. and Met.*, 18, № 367, 335—338.
- Cook C. W. (1914). The brine and salt deposits of Michigan, their origin, distribution, and exploration, *Mich. Geol. Survey Pub.*, 15, Geol. ser., 12.
- Cross A. T., Schemel M. P. (1956). Geology and economic resources of the Ohio River valley in West Virginia, *W. Va. Geol. Survey*, 22, 38—42.
- Dellwig L. F. (1955). Origin of the Salina salt of Michigan, *Jour. Sed. Petrology*, 25, 83—110.
- Dellwig L. F. (1958). Flowage in rock salt at Lyons, Kansas, *Kan. Geol. Survey Bull.*, 130, pt. 4.
- Deussen A., Lane L. L. (1925). Hockley salt dome, Harris County, Texas, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 9, 1031—1060.
- Fettke C. R. (1955). Preliminary report, occurrence of rock salt in Pennsylvania, *Pa. Geol. Survey Prog. Rept.*, 145.
- Fulda E. (1938). Stein und Kalisalz, *Die Lagerstätten der Nutzbaren Mineralien und Gesteine* (Beischlag, Krusch, and Vogt, eds.), 3, part 2, Stuttgart, Enke, Review by R. D. Reed, 1938, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 22, 1284—1286.
- Gamb G. C., White G. W. (1946). Ohio's mineral resources, Part III, Salt reserves, *Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Circ.*, 49.
- Greter R. E. (1949). Brine production and utilization from the Salt Sands of the Pottsville series, *Bull. Appalachian Geol. Soc.*, 1, 320—324.
- Halbouty M. T., Hardin G. C., Jr. (1956). Genesis of the salt domes of Gulf Coastal Plain, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 40, 737—746.
- Hoskins H. A. (1947). Analyses of West Virginia brines, *W. Va. Geol. Survey Rept. Inv.*, 1.
- Keller R. M., Quirke T. T. (1939). Mineral resources of the chemical industries, *Econ. Geology*, 34, 287—296.
- Kreidler W. L. (1957). Occurrence of Silurian salt in New York state, *N. Y. State Museum Bull.*, 361.
- Krumbein W. C. (1951). Occurrence and lithologic associations of evaporites in the United States, *Jour. Sed. Petrology*, 21, 63—81.
- Landes K. K. (1945). The Salina and Bass Island rocks in the Michigan Basin, *U. S. Geol. Survey, Oil and Gas Inv., Prelim. Map.*, 40.
- Landes K. K. (1951). Detroit River group in the Michigan Basin, *U. S. Geol. Survey Circ.*, 133.
- Landes K. K. (1951). Origin of thick-bedded salt deposits, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 62, 1457.
- Lang W. B. (1957). Annotated bibliography and index map of salt deposits in the United States, *U. S. Geol. Survey Bull.*, 1019-J.
- LaVigne E. F. (1938). Mining and preparation of rock salt at the Retsof mine, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 129, 381—403.
- Looker C. D. (1941). Salt as a chemical raw material, *Chem. Inds.*, 49, 594—601, 790—799.
- Lotze F. (1957). *Steinsalz und Kalisalze*, 2 nd. ed., Berlin, Borntraeger.
- Martens J. H. C. (1943). Rock salt deposits of West Virginia, *W. Va. Geol. Survey Bull.*, 7.
- Melhorn W. N. (1958). Stratigraphic analysis of Silurian rocks in Michigan Basin, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 42, 816—838.
- Micks R. (1948). Brine deposits of Michigan, *Compass*, 25, № 3, 121—132.
- Nixon E. K. (1950). Salt in Kansas, *Mining Congress Jour.*, 36, № 8, 65—69.

- Pepper J. F. (1947). Areal extent and thickness of the salt deposits of Ohio, Ohio Jour. Sci., 47, 225—239; Ohio Geol. Survey Rept. Inv., 3.
- Phalen W. C. (1919). Salt resources of the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 669.
- Price P. H., Nolting J. P. (1949). Salt resources of West Virginia, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 184, 259—263.
- Price P. H. et al. (1937). Salt brines of West Virginia, W. Va. Geol. Survey, 8.
- Rall C. G., Wright J. (1953). Analyses of formation brines in Kansas, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4974.
- Read L. E., Jacoby C. H. (1957). Exploring and mining for salt, Min. Eng., 9, 538—541.
- Sandford B. V. (1957). Salt deposits at Ojibway, Ontario, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 208—215.
- Scruton P. C. (1953). Deposition of evaporites, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 37, 2498—2512.
- Sloss L. L. (1953). The significance of evaporites, Jour. Sed. Petrology, 23, 143—161.
- Stose G. W. (1913). Geology of the salt and gypsum deposits of southwestern Virginia, U. S. Geol. Survey Bull., 530, 232—255.
- Stout W., Lamborn R. E., Schaaf D. (1932). Brines of Ohio, Ohio Geol. Survey, 4th ser., Bull. 37.
- Taylor R. E. (1937). Water insoluble residues in rock salt of Louisiana salt plugs, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 21, 1268—1310.
- Taylor R. E. (1955). Field trip to South Louisiana salt domes, Geol. Soc. Amer. Guidebook, Guides to southeastern geology, 538—548.
- Trump E. N. (1947). Mining soluble salines by wells, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 223—229.
- Veitch W. M. (1943). Mining salt beneath the Kansas prairies, Explosives Eng., 21, 180—182, 198.
- Ver Planck W. E. (1951). Salines in the (San Francisco) Bay area, Calif. Div. Mines Bull., 154, 219—222.
- Ver Planck W. E. (1958). Salt in California, Calif. Div. Mines Bull., 175.
- Weigel W. M. (1938). The salt industry of Louisiana and Texas, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 405—422.
- Wharton J. B., Jr., (1953). Jefferson Island salt dome, Iberia and Vermilion parishes, Louisiana, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 37, 433—443.
- Anonymous (1949). Salt in the area served by the Baltimore and Ohio Railroad, Baltimore, Baltimore and Ohio Railroad Co.

Часть III

ПРОМЫШЛЕННЫЕ
МИНЕРАЛЫ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ МАГМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА

Главнейшие виды минерального сырья, имеющие магматический генезис, представлены нефелиновыми сиенитами, полевыми шпатами, слюдами, литиевыми минералами и бериллом. С геологической точки зрения нефелиновый сиенит представляет собой породу, однако, согласно классификации полезных ископаемых, принятой в настоящей книге, он попадает в группу минерального сырья. Четыре остальных вида минерального сырья представлены минералами, которые образуют промышленные скопления в определенных разновидностях магматических пород, известных как пегматиты.

Нефелиновые сиениты встречаются довольно редко. В какой бы обстановке эти породы ни возникали, они всегда лишены кварца и состоят из нефелина и калий-натриевых алюмосиликатов. Поэтому они недосыщены кремнеземом и содержат очень много щелочей. В состав некоторых нефелиновых сиенитов входит много летучих элементов и редкоземельных металлов, на основании чего считается, что они образовались на последних стадиях фракционной кристаллизации магмы, иначе говоря, они относятся к низкотемпературным образованиям в эволюционной серии магматических пород¹. В этом отношении нефелиновые сиениты сходны с пегматитами. Таким образом, рассмотрение нефелиновых сиенитов и минералов пегматитов в одной и той же главе оправдано с генетических позиций.

Однако вопрос о том, каким образом нефелиновые сиениты приобретают свои специфические черты, остается сложным и довольно дискуссионным. Существуют предположения, что процесс образования нефелиновых сиенитов заключается во фракционной кристаллизации базальтовой магмы или в десиликации гранитной магмы, или, наконец, считают, что возникновение нефелиново-сиенитовой магмы, как таковой,

¹ Turner F. J., Verhoogen J. (1951). *Igneous and Metamorphic Petrology*, New York, McGraw-Hill, 339—342. (Имеется русский перевод: Тернер и Ферхуген, Петрология изверженных и метаморфических пород, ИЛ, 1961). — *Прим. перев.*

происходит на глубине. Еще одна гипотеза образования была предложена для нефелиновых сиенитов юго-восточной части провинции Онтарио (Канада), где расположено единственное месторождение, которое будет рассмотрено ниже. Согласно этой гипотезе, нефелиновые сиениты района вообще являются не изверженными породами, а продуктами селективного замещения ранее существующих пород гидротермальными растворами. Генезис этих нефелиновых сиенитов еще не выяснен до конца, однако некоторые полевые данные, возможно, указывают на то, что они не являются изверженными породами.

Пегматиты, представляющие собой породы уникального и сложного генезиса, описываются в специальном разделе, который предшествует разделам, посвященным описанию отдельных видов минерального сырья, добываемого из пегматитов.

НЕФЕЛИНОВЫЕ СИЕНИТЫ

Введение

Сиениты представляют собой сравнительно редкую группу полнокристаллических изверженных пород, которые в основном состоят из полевых шпатов, обычно альбита и микроклина. В некоторых сиенитах содержится нефелин — минерал, имеющий следующий состав: $K_2O \cdot 3Na_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$. Нефелин обычно встречается в виде небольших зерен, образующих кристаллические сростки с полевыми шпатами.

Он обладает стекловидным обликом и жирным блеском (несколько подобным блеску кварца) и с трудом распознается без помощи специальных петрографических методов. В нефелине содержится меньше кремнезема, чем в полевых шпатах, и наличие нефелина в породе в действительности указывает на дефицит кремнезема в материнской магме. В нефелиновых породах отсутствует кварц (свободный кремнезем). Обычные второстепенные и акцессорные минералы представлены мусковитом, биотитом, корундом, роговой обманкой, натровым пироксеном и магнетитом.

В южной части провинции Онтарио расположено крупное и сложное поле щелочных изверженных пород, которые привлекали внимание петрологов. Здесь нефелиновые сиениты встречаются во многих местах. К одному из этих массивов, носящему название Блу-Маунтин, приурочено единственное в западном полушарии эксплуатирующееся месторождение нефелиновых сиенитов. С 1937 по 1942 г. нефелиновые сиениты разрабатывались в небольшом количестве в районе Банкрофт,

находящемся примерно в 45 милях север-северо-восточнее Блу-Маунтин. В нескольких районах США известны непромышленные проявления нефелиновых сиенитов. Например, Магнет-Ков в штате Арканзас (Smothers, Williams, Reynolds, 1952), Бимервилл в штате Нью-Джерси (Wilkerson, 1946) и горы Бэрпо в штате Монтана (Pescora, 1942).

Свойства и применение

Свойства нефелина, определяющие его практическое применение, аналогичны свойствам полевого шпата, и оба эти минерала используются для одних и тех же целей. Поэтому нефелиновый сиенит, представляя собой смесь этих двух минералов, используется как таковой целиком. Он применяется в качестве ингредиента в производстве стекла, особенно контейнерного стекла; в производстве фарфора и керамических глазурей и эмалей.

Применение нефелинового сиенита в этих отраслях промышленности обусловлено двумя его свойствами, по которым он имеет большую ценность, чем полевой шпат, а именно: большим содержанием глинозема и связанных щелочей (калия и натрия). Глинозем, входя в состав стекла, увеличивает его устойчивость к физическим и термическим воздействиям. Присутствие большого количества щелочей понижает температуру плавления, что придает нефелиновому сиениту качества превосходного флюса. Применение нефелинового сиенита в керамике снижает затраты горючего и увеличивает срок службы огнеупорного припаса, используемого для обжига керамических изделий.

В табл. 7.1 приведены анализы нефелинового сиенита месторождения Блу-Маунтин, а в табл. 7.2 (стр. 350) — анализы полевых шпатов из промышленных залежей. Практическую ценность имеют только нефелиновые сиениты с очень низким содержанием железа, что собственно ограничивает возможности использования нефелиновых сиенитов на большинстве месторождений. Даже нефелиновые сиениты месторождения Блу-Маунтин, в которых в среднем содержится мало Fe_2O_3 , необходимо подвергать значительному обогащению. Главные железосодержащие минералы в нефелиновых сиенитах — магнетит и биотит — удаляются путем магнитной сепарации.

В промышленности нефелиновые сиениты начали применяться с 1935—1937 гг. и оставались в ведении одной компании до 1956 г. В конце 1956 г. на месторождении Блу-Маунтин начала работы вторая компания. Только к середине 1950-х годов стоимость ежегодной продукции нефелинового сиенита

Таблица 7.1

Химические анализы типичного белого нефелинового сиенита из карьера Кабин-Ридж месторождения Блу-Маунтин, провинция Онтарио

Оксиды	Исходная порода, %	Обогащенное сырье, %
SiO ₂	59,18	60,60
Fe ₂ O ₃	2,15	0,047
Al ₂ O ₃	23,06	23,41
Na ₂ O	10,48	10,49
K ₂ O	3,94	4,00
CaO	0,76	0,67
MgO	0,17	Следы
TiO ₂	0,064	0,004
ZrO ₂	0,05	0,04
P ₂ O ₅	0,021	Следы
Потери при прокаливании	0,40	0,68
	100,275	99,941

Источник. Из работы Дерри и Фиппса (Derry, Fipps, 1957, стр. 191).

превысила 1 млн. долл. Большие исследовательские работы по изучению свойств и применению нефелинового сиенита были проведены в университете штата Огайо Кёнигом (Koenig, 1939a, 1939b, 1942). Этот же исследователь составил две аннотированные библиографии по нефелиновым сиенитам (Koenig, 1947, 1958).

Месторождение Блу-Маунтин, провинция Онтарио (Канада)

Это месторождение расположено в южной части провинции Онтарио, примерно на полпути между городами Торонто и Оттава. Оно находится в церковном приходе Метъен в округе Питерборо, в 18 милях северо-восточнее Литчфилда. Гора Блу-Маунтин располагается в пределах группы сглаженных ледниками гряд, которые возвышаются на 200—350 футов над окружающей болотистой низменностью. Главное тело нефелиновых сиенитов имеет северо-восточное простирание; длина его около 3 миль при ширине 0,5 мили: от этого массива отходит узкая апофиза, простирающаяся на 2,25 мили к юго-западу.

На юго-западной оконечности этой апофизы расположен первый крупный карьер. В 1956 г. был заложен карьер в северо-восточной части месторождения Блу-Маунтин.

Массив нефелиновых сиенитов имеет неправильную форму. Он слагает гору Блу-Маунтин и заключен в метаосадочные породы гренвиллской серии, представленные главным образом гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморами и амфиболитами. Северо-восточное простирание тела сиенитов согласуется с простиранием пережатых складок и направлением интенсивной листоватости вмещающих пород. Породы гренвиллской серии и сами нефелиновые сиениты секутся розовыми сиенитами. В нефелиновых сиенитах встречается несколько «биотитовых линз», которые, по-видимому, представляют собой измененные силлы основных пород. Все описываемые породы имеют докембрийский возраст.

Нефелиновые сиениты от средне- до мелкозернистых, светлоокрашенные, состоят из нефелина (около 23%), альбита (59%) и микроклина (16%). Остальная часть породы (2%) представлена главным образом магнетитом и биотитом. Полевой шпат и слюда образуют кристаллы с несовершенными гранями, а нефелин выполняет промежутки между этими двумя минералами. Повсюду нефелиновые сиениты характеризуются листоватой или полосчатой текстурой. Такая текстура обусловлена главным образом неоднородностью минерального состава этих сиенитов. Например, биотит и другие темноцветные минералы обычно скапливаются в определенных зонах. Кроме того, содержание нефелина различно в отдельных зонах (Derry, Phipps, 1957, стр. 191). Результаты замеров листоватости нефелиновых сиенитов в поле явно указывают на то, что они собраны в несколько сжатых складок, осевые плоскости которых круто падают на юго-восток.

Ранее было сказано, что нефелиновые сиениты представляют собой интрузивные породы, и действительно, к этому выводу пришли некоторые геологи относительно данного месторождения. Кейт (Keith, 1939) считал, что нефелиновые сиениты месторождения Блу-Маунтин представляют собой интрузивный шток. Он предположил, что магма во время внедрения была щелочной и имела почти тот же состав, какой имеют породы на месторождении в настоящее время. Хьюитт (Hewitt, 1957) поддержал эту гипотезу. Однако, по его мнению, интрузивное тело было смято в складки во время или после его внедрения, а кроме того, во время внедрения имело место частичное замещение (нефелинизация) вмещающих гнейсов, приведшее в результате в некоторых местах к постепенным контактам между этими породами. Согласно предста-

влениям других исследователей, нефелиновые сиениты не являются изверженными породами, а образовались в результате селективного замещения некоторых пород гренвиллской серии посредством нефелинизирующих растворов. В самом деле, Гаммер и Берр (Gummer, Burr, 1946), а также Мойд (Moyn, 1949) защищали точку зрения о неинтрузивном происхождении всех щелочных пород юго-восточной части провинции Онтарио, включая и породы месторождения Блу-Маунтин. Дерри и Фиппс (Derry, 1951; Derry, Phipps, 1957) пришли к тому же выводу только в отношении месторождения Блу-Маунтин. Согласно Мойду (Moyn, 1949), образование нефелиновых сиенитов путем замещения других пород происходило при участии растворов, богатых кремнеземом, которые поступали из обычной гранитной магмы при ее охлаждении и кристаллизации. Проходя известковистые породы гренвиллской серии, эти растворы теряли кремнезем и насыщались углекислым газом, глиноземом и щелочами. Непрерывное воздействие этих растворов на темноцветные гнейсы гренвиллской серии приводило к превращению кальциевого полевого шпата в щелочной полевой шпат и нефелин.

Эти противоположные гипотезы происхождения сиенитов были развиты в статьях Хьюитта (Hewitt, 1957), а также Дерри и Фиппса (Derry, Phipps, 1957). Некоторые расхождения во взглядах на происхождение сиенитов вытекают из противоречивых полевых данных. Например, Дерри и Фиппс считают, что контакты между сиенитами и вмещающими гнейсами обычно постепенные, тогда как Хьюитт указывает на резкие, а местами секущие контакты у северо-восточной оконечности тела нефелиновых сиенитов. Дерри и Фиппс не обнаружили никаких интрузивных взаимоотношений между сиенитами и окружающими породами, хотя Хьюитт указывает на то, что апофиза, отходящая от главного тела нефелиновых сиенитов и имеющая длину несколько сот футов, внедряется в метаосадочные породы и сечет их. Имеются и другие противоречия в приводимых авторами полевых данных, а кроме того, существуют разногласия в вопросе, является ли сланцеватость сиенитов реликтом слоистости первичных пород или нет. По-видимому, все эти спорные моменты в конце концов будут разрешены. Хотя в настоящей книге нефелиновые сиениты рассматриваются как изверженные породы, мы должны помнить, что, возможно, они имеют неинтрузивное происхождение.

При поисках участка, пригодного для заложения нового карьера, вначале производят разведочное картирование, чтобы выделить залежи качественного полезного ископаемого,

удобные для разработки (Derry, Phipps, 1957, стр. 194). После того как выделена определенная залежь, производят ее детальное геологическое картирование и оконтуривание. Если результаты этой предварительной разведки положительные, то проводят алмазное колонковое бурение по профилям, которые отстоят друг от друга на 100—200 футов и проходят вкрест простирания залежи. Керновые пробы подвергаются обогащению в лабораторных условиях; в полученных концентратах определяется содержание железа и периодически — глинозема. Если в результате такого опробования выясняется, что основная масса залежи отвечает промышленным требованиям и не содержит больших количеств пустой породы, то производят вскрышные работы и закладывают карьер. Так как гряды, сложенные сиенитами, очень сильно сглажены ледниками, то вскрыша имеет довольно небольшую мощность. Максимальная высота уступа карьера достигает 40 футов, причем разработка в карьере ведется в направлении простирания. Очевидно, как и для большинства других месторождений минерального сырья, «добыча нефелинового сиенита вовсе не представляет собой простой разработки залежи и сплошной выемки исходного сырья» (Derry, Phipps, 1957, стр. 195). Необходимо тесное сотрудничество между геологическими, горными и обогатительными подразделениями.

Добытое сырье на грузовиках транспортируется в хранилища или прямо на обогатительную фабрику. На фабрике порода дробится, просеивается и подвергается магнитной сепарации. Для получения продукта, применяемого в стекловарении, производят дальнейший помол и просеивание сырья (до размера песчаных фракций), а для использования в керамике его растирают до порошкообразного состояния. Тонкий помол раньше производился на обогатительной фабрике около Рочестера в штате Нью-Йорк, а в 1951 г. эта обогатительная фабрика была демонтирована и переведена в Лейкфилд, расположенный в 18 милях от месторождения. Спустя пять лет это помольное предприятие еще более приблизилось к карьере, и сейчас оно расположено в Нефтоне, где производится полное обогащение сырья. Карьер и обогатительная фабрика второй горнодобывающей компании размещены у северо-восточной окраины месторождения Блу-Маунтин. Суммарная годовая производительность этих двух обогатительных фабрик составляет более 150 тыс. т. конечного продукта¹. Большая часть

¹ В 1961 г. добыча нефелиновых сиенитов в Онтарио составила 247 тыс. т. США в 1962 г. ввезли из Канады 188 тыс. т; незначительное количество нефелиновых сиенитов, добываемых в Арканзасе, использовалось лишь как кровельная гранула. — *Прим. ред.*

этой продукции экспортируется в США. «Достоверные» или «вполне достоверные» запасы только одного старого участка месторождения, выявленные при помощи алмазного бурения, оцениваются более чем в 4,5 млн. т.

Добыча и обогащение нефелиновых сиенитов на месторождении Блу-Маунтин описаны Дитом (Deeth, 1957)¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Chayes F. (1942). Alkaline and carbonate intrusives near Bancroft, Ontario, Bull. Geol. Soc. Amer., **53**, 449—512.
- Crockett W. E., Foxhall H. B. (1948). Preliminary report of occurrence and properties of nepheline syenite in Arkansas, Bull. Amer. Ceramic Soc., **27**, 64—67.
- Deeth H. R. (1957). Nepheline syenite at Blue Mountain, Min. Eng., **9**, 1241—1244.
- Derry D. R. (1951). The Lakefield nepheline syenite: evidence of a non-intrusive origin, Roy. Soc. Canada Trans., sec. IV, **45**, 31—40.
- Derry D. R., Phipps C. V. G. (1957). Nepheline syenite deposit, Blue Mountain, Ontario, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met. 190—195.
- Fairbairn H. W. (1941). Petrofabric relations of nepheline and albite in litchfieldite from Blue Mountain, Ontario, Amer. Mineralogist, **26**, 316—320.
- Gummer W. K., Burr S. V. (1946). Nephelized paragneisses in the Bancroft area, Jour. Geology, **54**, 137—168.
- Hewitt D. F. (1957). Nepheline syenite, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 186—190.
- Hewitt D. F., Peach P. A., Moyd L. (1953). Petrology of the nepheline and corundum rocks, Bancroft area, eastern Ontario, Geol. Soc. Amer. and Geol. Assoc. Can., Joint Meeting, Nov. 1953, Guidebook for Field Trip, № 1.
- Keith M. L. (1939). Petrology of the alkaline intrusive at Blue Mountain, Ontario, Bull. Geol. Soc. Amer. **50**, 1795—1826.
- Koenig C. J. (1939a). Fundamental properties of nepheline syenite, Jour. Amer. Ceramic Soc., **22**, № 2, 35—38.
- Koenig C. J. (1939b). Nepheline syenite in ceramic wares, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 103.
- Koenig C. J. (1942). Nepheline syenite in Low-temperature vitreous wares, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 112.
- Koenig C. J. (1947). Literature abstracts pertaining to nepheline syenite, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 130.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР имеются крупные месторождения сиенитов и других нефелиновых пород (Кольский полуостров, Урал, Красноярский край, Приазовье и др.), тщательно изучающиеся как комплексное алюминиевое, редкометальное, цементное (отходы алюминиевого производства) и др. сырье. В качестве стекльно-керамического сырья нефелиновые породы в СССР детально не изучены, но нефелиновые концентраты, получающиеся при обогащении кольских апатитов, используются в производстве глинозема, содопродуктов и цемента (Волховский завод). Существует обширная отечественная литература, посвященная петрографии и геохимии нефелиновых пород (например, Конарова В. А., Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 60, 1962). — *Прим. ред.*

- Koenig C. J. (1958). Literature abstracts of ceramic applications of nepheline syenite, Ohio State Univ., Eng. Exp. Sta. Bull., 167.
- Moyd L. (1949). Petrology of the nepheline and corundum rocks of southeastern Ontario, Amer. Mineralogist, 34, 736—751.
- Pecora W. T. (1942). Nepheline syenite pegmatites, Rocky Boy stock, Bearpaw Mountains, Montana, Amer. Mineralogist, 27, 397—424.
- Smothers W. J., Williams N. F., Reynolds H. J. (1952). Ceramic evaluation of Arkansas nepheline syenite, Ark. Div. Geology Inf. Circ., 16.
- Spence H. S. (1942). Nepheline syenite: a new ceramic raw material from Ontario, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 122—131.
- Wilkerson A. S. (1946). Nepheline syenite from Beemerville, Sussex County, New Jersey, Amer. Mineralogist, 31, 284—287.

ПРИРОДА ПЕГМАТИТОВ

Введение

Пегматиты являются источником четырех важных видов минерального сырья: полевого шпата, слюды, литиевых минералов (главным образом, сподумена) и берилла. Кроме того, в пегматитах известны концентрации еще нескольких видов минерального сырья, имеющих небольшое промышленное значение, нескольких металлических полезных ископаемых, таких, как касситерит и колумбит-танталит, а также редких щелочных металлов и драгоценных камней. Прежде чем перейти к рассмотрению основных типов неметаллических полезных ископаемых, связанных с пегматитами, целесообразно рассмотреть природу и происхождение пегматитов.

По мнению Хесса (Hess, 1933), пегматиты представляют собой «самую причудливую, самую противоречивую, самую сложную и вместе с тем самую интересную группу из всех известных пород». Джанс (Jahns, 1955) пишет, что пегматиты «вызывают восхищение и отчаяние у лиц, встречающихся с ними в практической и исследовательской работе». Эти высказывания могут свидетельствовать о том, что пегматиты привлекают пристальное внимание многих исследователей уже издавна, вследствие чего в настоящее время имеются многочисленные работы, посвященные пегматитам. Действительно, потребовалось даже специально изучить историю исследования пегматитов, которая была описана в статье, содержащей ссылки на 698 *избранных работ* (Jahns, 1955).

К счастью для студентов и лиц, специально не занимающихся пегматитами, время от времени публикуются общие обзоры по вопросам изучения пегматитов. К наиболее ранним таким обзорам относятся превосходные работы Кемпа (Kemp, 1924), Хесса (Hess, 1933) и Лэндса (Landes, 1933, 1935). Камерон и др. (Cameron et al., 1949) опубликовали монографию,

в которой основное внимание уделено внутреннему строению пегматитов, а кроме того, освещены условия их залегания и генезис. В 1953 г. появилась статья, посвященная генезису пегматитов (Jahns, 1953). Прикладное значение пегматитов рассмотрено в работах Джанса (Jahns, 1951), Роу (Rowe, 1953) и Тайлера (Tyler, 1950, 1953).

Состав и структура

Большей частью пегматиты представляют собой просто крупно- или очень крупнокристаллический гранит—«гигантогранит», сложенный почти нацело щелочным полевым шпатом и кварцем. Полевой шпат представлен в основном микроклинпертитом, часто в виде кристаллических сростков с кварцем, слагающих породы, известные как «письменный гранит». Кроме того, в пегматитах обычно присутствует плагиоклаз. Второстепенные минералы представлены мусковитом, иотитом и другими минералами, характерными для гранитных пород. Термин пегматит в его общем значении применяется к породам, отвечающим по составу серии от истинного гранита до кварцевого диорита. Известны пегматиты более основного состава, но они редки и почти не представляют практического интереса.

В небольшой части пегматитов содержатся скопления одного или более довольно редких минералов, например берилла, колумбита, лепидолита, монацита и топаза. Поскольку многие из этих минералов встречаются главным образом в пегматитах, легко прийти к выводу о том, что пегматиты неизменно обогащены редкими элементами. Такое заключение совершенно неправильно. Наоборот, типичен простой гранитный пегматит, а пегматиты, содержащие редкие минералы, представляют собой исключение.

Весьма характерна пегматитовая структура, она заметно более крупнокристаллическая, чем структура plutonic пород, с которыми пегматиты обычно связаны. В обычном гранитоидном пегматите кристаллы минералов, как правило, имеют размеры в диаметре от 1 дюйма до нескольких дюймов, а часто достигают 1—2 футов в поперечнике. В исключительных случаях встречаются пегматиты с гигантскими кристаллами, размеры которых поистине ошеломляют. В руднике вблизи Гротона в штате Нью-Гэмпшир были найдены кристаллы пертитового микроклина диаметром 20 футов, а в Норвегии обнаружен кристалл этого же минерала размером 7×12×30 футов. В этих пегматитах кристаллы полевых шпатов диаметром 5—10 футов слишком многочисленны, чтобы

обращать на них особое внимание. В пегматитах находили хорошо ограниченные кристаллы кварца весом до 1 тыс. фунтов, а также блоки дымчатого кварца неправильной формы весом в многие тонны. В церковном приходе Маттауэн в провинции Онтарио, Канада, были найдены кристаллы мусковита размером $3 \times 7 \times 9,5$ футов, а в Индии обнаружены кристаллы этого минерала, из которых были получены спайные пластинки размером до 10 футов в поперечнике. Стволообразные кристаллы сподумена длиной до 47 футов и от 3 до 6 футов в поперечнике были обнаружены на руднике Этта в южной части района Блэк-Хилс. «Стволы» берилла 18 футов длиной и от 4 до 6 футов диаметром были найдены в районе Блэк-Хилс и в штатах Мэн и Нью-Гэмпшир. Один из таких кристаллов весил 18 т. Многие другие минералы пегматитов также встречаются в виде гигантских кристаллов. Общий обзор условий залегания, структурных особенностей и происхождения гигантских кристаллов приводит Джанс (Jahns, 1953, стр. 563—598).

Ниже приведены названия структур, применяемые при описании пегматитов:

Структура	Средний размер кристаллов, дюймы
Тонкокристаллическая	Меньше 1/4
Мелкокристаллическая	1/4—1
Среднекристаллическая	1—4
Крупнокристаллическая	4—12
Грубокристаллическая	Больше 12

Форма и размер

Большей частью тела пегматитов имеют грубую плитообразную или дискообразную форму и встречаются в виде даек, силлов и линз. Вполне обычны неправильные формы пегматитов и разнообразные варианты главных морфологических типов — трубки, продолговатые линзы и трого- или ковшеобразные тела. Пегматитовые тела могут сужаться, расширяться, ветвиться и резко менять простирание. По-видимому, в природе не имеется даже двух полностью аналогичных пегматитовых тел.

Размеры пегматитовых тел также колеблются в широких пределах (по ширине — от долей дюйма до нескольких сот футов и по длине — от немногих дюймов до более одной мили). Отсутствует какая бы то ни было общая закономерность в распространении пегматитов на глубину; некоторые тела выклиниваются в пределах нескольких футов от поверхности, а

другие прослеживаются на многие сотни футов. Очевидно, глубина простираения отдельных даек и линз от современной поверхности определяется в основном интенсивностью размыва пегматитоносных полей.

Большинство пегматитов приурочено к метаморфическим породам, особенно к кристаллическим сланцам и гнейсам, а также к магматическим изверженным породам. Многие пегматиты залегают в виде согласных тел, форма, размер и протяженность которых определяются строением вмещающих пород; другие пегматиты залегают несогласно с вмещающими породами и приурочены к трещинам отдельности и разрывным нарушениям. Несогласное залегание, разветвления и резкие изменения направления простираения пегматитов в основном контролируются разрывными нарушениями.

Внутреннее строение

Характер изменения минерального состава и структурных особенностей пегматитов далеко не просты, и в течение длительного времени считалось, что в строении пегматитов совершенно не имеется никакой закономерности. Как утверждает Джанс (Jahns, 1955, стр. 1038), ранние исследователи при изучении пегматитов обычно применяли такие термины, как эрратический, случайный, непредвиденный и несистематический. Современные исследователи пегматитов не отрицают всей сложности их строения, но отвергают концепцию о беспорядочном внутреннем строении пегматитов.

Одна из программ исследования ресурсов стратегического минерального сырья, осуществлявшаяся во время и после второй мировой войны главным образом сотрудниками Геологической службы США, касалась непосредственно исследования пегматитов. В первое время многие проявления пегматитов изучались с той же интенсивностью, с какой длительное время исследовались рудные месторождения. Тщательные полевые наблюдения и детальное картирование пегматитов показали, что в противоположность традиционному мнению в подавляющем большинстве пегматитов наблюдаются закономерные изменения минерального состава и структуры. Классификация внутренних зон пегматитов, разработанная сотрудниками Геологической службы США, была окончательно сформулирована и рассмотрена Камероном и др. (Cameron, et al., 1949). Эта классификация была обобщена Джансом (Jahns, 1955, стр. 1042) в следующем виде:

1. *Зоны* — последовательно сменяющие одну другую оболочки, которые полностью или частично отражают форму или общие очертания пегматитового тела.

- а. Краевая зона (самая внешняя зона).
- б. Боковая зона.
- в. Промежуточная зона (или зоны).
- г. Ядро (самая внутренняя зона).

2. *Тела выполнения трещин* — образования обычно плитчатой формы, которые выполняют трещины в ранее сформированных пегматитах.

3. *Тела замещения* — образования, возникшие путем замещения ранее существовавших пегматитов с явным структурным контролем или без него.

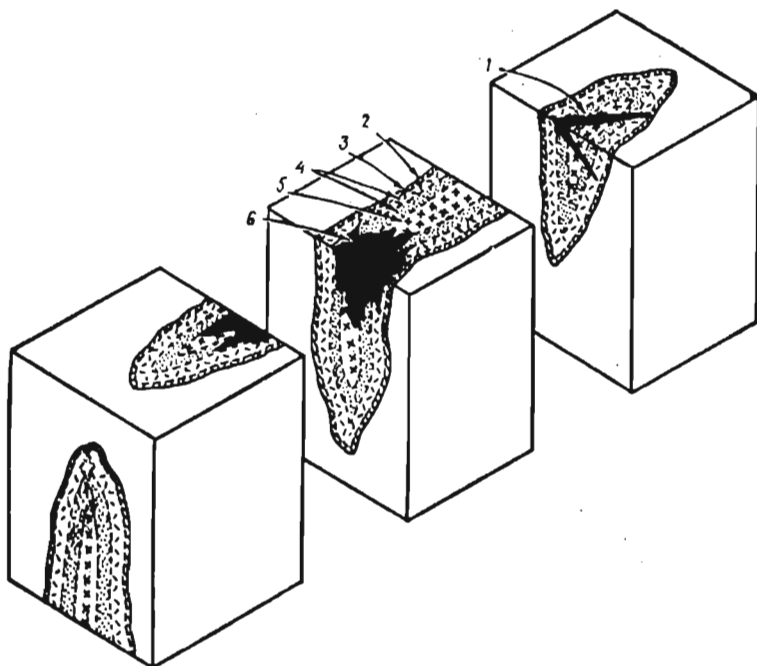
Зоны представляют собой первичные основные элементы в строении пегматитов (фиг. 7.1), а тела выполнения трещин и тела замещения развиваются уже по этим зонам. Зоны различаются одна от другой по минеральному составу, по структурным особенностям, проявляющимся порознь или совместно. В зональных пегматитах минеральные ассоциации в определенной последовательности сменяют одна другую от боковых частей к центральным, причем каждая зона характеризуется определенной минеральной ассоциацией, например плагиоклаз-кварц-мусковитовой или кварц-сподуменовой. Ядро пегматитов обычно сложено массивным кварцем. Камерон и др. (Cameron et al., 1949, стр. 99) при рассмотрении происхождения и значения этих зон выделили в зональных пегматитах 11 главных минеральных ассоциаций, последовательно сменяющих одна другую.

Однако пегматиты не всегда зональны. Некоторые из них представляют собой массивные тела, почти однородные на всем протяжении от одной стенки до другой или с зональным строением только в краевых частях. Промышленные месторождения минералов встречаются как в зональных, так и в незональных пегматитах, но чаще приурочены к зональным.

Генезис

Пегматиты представляют собой побочные продукты кристаллизации больших гранитных массивов, или, по выражению Хесса (Hess, 1933), они связаны с «дренажными системами консолидирующихся батолитов». Пегматиты могут встречаться во внешних частях самих батолитов, но чаще приурочены к вмещающим эти батолиты метаморфическим породам.

Большинство исследователей считают, что образование пегматитов происходит в две главные стадии. В первую стадию осуществляется внедрение остаточной гранитной магмы из материнского батолита по трещинам в боковые породы. Некото-



Фиг. 7.1. Идеализированная блок-диаграмма пегматита, показывающая соотношения различных зон и наложенных образований. По Камерону и др. (Cameron et al., 1949, Econ. Geology Monograph, 2, 15).

1—тела выполнения трещины; 2—краевая зона; 3—боковая зона; 4—промежуточные зоны; 5—ядро; 6—участок замещенного пегматита.

рые тела пегматитов образовывались при значительном давлении внедрившейся магмы, на что указывают складки волочения и вторичная сланцеватость в прорванных породах, другие тела пегматитов выполняли ранее существовавшие полости или образовывались как-нибудь иначе. Чэдуик (Chadwick, 1958) изложил критерии, определяющие возможные пути становления пегматитовых тел. Однако после внедрения кристаллизация пегматитового расплава происходит не полностью, а постепенно, в несколько последовательных стадий, на-

чиная от стенок трещин. На этой второй стадии становления пегматитов происходят реакции между образующимися минералами и горячими газами и растворами, что приводит к образованию минералов, частично замещающих уже раскристаллизованный пегматит и выполняющих трещины в пегматите. В этих растворах концентрируются редкие элементы — фтор, бериллий, литий и многие другие. Предполагалось, что такие растворы привносились в пегматитовую магму извне, но полевые данные, собранные за последнее время, свидетельствуют о том, что они являются остаточными растворами той же самой пегматитовой магмы. Иначе говоря, во вторую стадию образования пегматитов частично консолидированная магма «варится в собственном соку» в почти закрытой системе.

Действительно ли описанный процесс имеет место в изолированных камерах или же пегматитовый расплав течет «по хорошо развитым каналам в условиях открытой системы» (Jahns, 1955, стр. 1070)? Отражают ли зоны первичные особенности кристаллизации или они могли возникнуть в результате «процессов замещения, последовательно накладывающихся один на другой»? Насколько значителен перенос пара в пределах этой системы, т. е. удаление компонентов при «повторном кипении» в одном месте и одновременно привнос материала в другом при конденсации этих паров (Jahns, 1956)? Правильные ответы на эти и связанные с ними вопросы будут получены после подробного и тщательного анализа полевых данных, изучения последовательности минералообразования (парагенезиса) и проведения лабораторных опытов. Например, экспериментальная работа по плавлению и перекристаллизации пегматитового материала (Jahns, Burnham, 1957) показала, что перемещение воды и пара играет существенную роль в развитии гигантских кристаллов, кварцевых ядер и других мономинеральных образований¹.

Хотя пегматиты обычно приурочены к батолитам, из этого вовсе не следует, что они обязательно должны их сопрово-

¹ Генезис пегматитов широко обсуждался советскими геологами, среди которых также существуют в основном две группы взглядов: о преимущественной кристаллизации этих своеобразных пород из остаточных расплавов и о возникновении их в результате метасоматической переработки тонкозернистых пород. В последние годы так же, как это отмечено Бейтсом для США, при изучении пегматитов в СССР накопился материал, дополнительно подтверждающий их магматическое происхождение. Помимо капитального труда А. Е. Ферсмана («Пегматиты», М.—Л., изд-во АН СССР, 1940), проблема пегматитов освещена в разных аспектах в огромной отечественной литературе (работы А. Н. Заварицкого, К. А. Власова, А. И. Гинзбурга, Г. Г. Родионова и др.). — *Прим. ред.*

ждать. Например, в крупных гранитных полях в Сьерра-Неваде в Береговом хребте и в некоторых районах Скалистых гор пегматиты не встречаются.

Распространение по регионам

Ниже перечислены главные районы распространения пегматитов в США и приведены ссылки на основные работы. Новая Англия, главным образом юго-западная часть штата Мэн и штаты Нью-Гэмпшир, Массачусетс и Коннектикут; Камерон и др. (Cameron et al., 1949). Юго-восточные штаты, от штата Виргиния через штаты Северная и Южная Каролина до штатов Джорджия и Алабама; Джанс и др. (Jahns et al., 1953), а также Паркер (Parker, 1950). Район Блэк-Хилс в штате Южная Дакота, особенно южная часть этого района; Пэйдж и др. (Page et al., 1953). Штаты, расположенные в районе Скалистых гор, особенно Колорадо и Нью-Мексико; Хэнли и др. (Hanley et al., 1950), Хейнрих (Heinrich, 1949) и Джаст (Just, 1937). Небольшие поля пегматитов встречаются в южной части штата Калифорния, в западной половине центральной части штата Аризона и в штатах Айдахо, Техас и Вайоминг.

Кроме того, пегматиты обычно распространены в центральных и краевых частях крупных щитов докембрийских кристаллических пород. Пегматитовые поля встречаются на всех континентах. Пегматиты Индии описаны на стр. 361, а пегматиты Бразилии — на стр. 363.

Современные тенденции в изучении пегматитов

После второй мировой войны в исследовании пегматитов наметилось два направления. Первое из них основывается на лучшем понимании внутреннего строения пегматитов, особенно их зональности, что помогло сконцентрировать исследовательские работы на наиболее продуктивных частях пегматитовых тел, сокращая бесполезные и безрезультатные поисковые работы. Знание строения пегматитов помогло даже непосредственно предсказывать качество сырья и запасы (Page, Nottop, 1950), заведомо гарантируя с известным риском перспективность горных работ. Второе направление в освоении пегматитов выразилось в механизации добычи и валового обогащения пегматитового сырья с извлечением нескольких полезных компонентов. Издревле пегматиты разрабатывались «бессистемно расположенными» шурфами вручную; вручную

же отбирались и ценные минералы. Удельная стоимость горных работ может быть значительно снижена путем применения взрывных работ, валовой добычи и минеральной сепарации на обогатительных фабриках. Еще нет возможности механизировать добычу на многих небольших и очень сложных пегматитовых телах, однако на ряде крупных рудников, особенно полевошпатовых, добыча механизирована.

Несмотря на известные достижения в исследовании пегматитов, они по-прежнему представляют крайне трудный и специфический объект для эксплуатации. Риск, связанный с их разработкой, лишь несколько уменьшился, но путей окончательной его ликвидации пока не существует.

ЛИТЕРАТУРА

- Cameron E. N. et al. (1949). Internal structure of granitic pegmatites, *Econ. Geology, Monograph 2*.
- Cameron E. N. et al. (1954). Pegmatite investigations, 1942—1945, New England, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 255.
- Chadwick R. A. (1958). Mechanisms of pegmatite emplacement, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **69**, 803—836.
- Hanley J. B., Heinrich E. W., Page L. R. (1950). Pegmatite investigations in Colorado, Wyoming, and Utah, 1942—1944, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 227.
- Heinrich E. W. (1949). Pegmatites of Montana, *Econ. Geology*, **44**, 307—335.
- Heinrich E. W. (1953). Zoning in pegmatite districts, *Amer. Mineralogist*, **38**, 68—87.
- Heinrich E. W. (1957). Pegmatite provinces of Colorado, *Colo. School of Mines Quart.*, **52**, № 4, 1—22.
- Hess F. L. (1925). The natural history of the pegmatites, *Eng. and Min. Jour.*, **120**, 289—298.
- Hess F. L. (1933). The pegmatites of the western states, *Ore Deposits of the Western States*, New York, Amer. Inst. Min. Met. Eng., 526—536.
- Hess F. L. (1933). Pegmatites, *Econ. Geology*, **28**, 447—462.
- Jahns R. H. (1951). Geology, mining, and uses of strategic pegmatites, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **190**, 45—59.
- Jahns R. H. (1953). The genesis of pegmatites, I: Occurrence and origin of giant crystals, *Amer. Mineralogist*, **38**, 563—598. II: Quantitative analysis of lithium-bearing pegmatite, Mora County, New Mexico, *idem*, 1078—1112.
- Jahns R. H. (1955). The study of pegmatites, *Econ. Geology, 50th Anniversary Volume*, 1025—1130.
- Jahns R. H. (1956). Resurgent boiling and the formation of magmatic pegmatites, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **67**, 1772.
- Jahns R. H., Burnham C. W. (1957). Preliminary results from experimental melting and crystallization of Harding, New Mexico, pegmatite, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **68**, 1751—1752.
- Jahns R. H. et al. (1953). Mica deposits of the southeastern Piedmont, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 248.

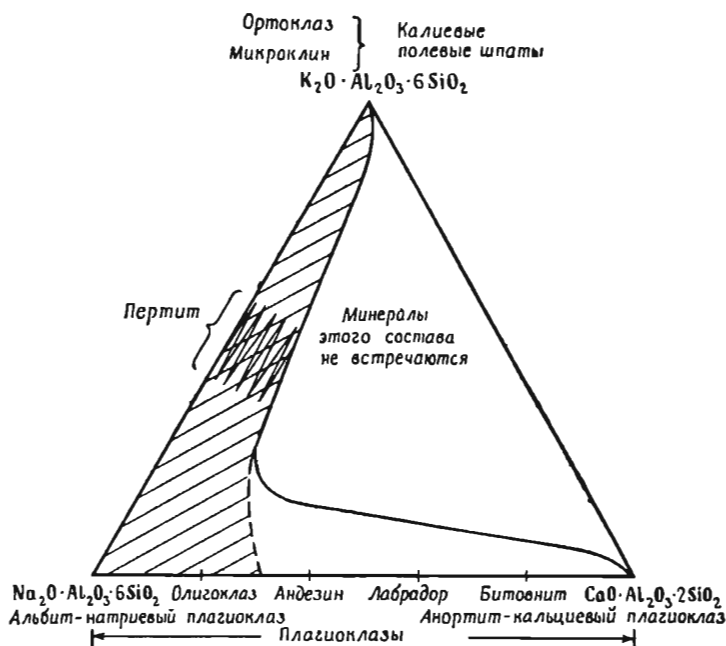
- Just E. (1937). Geology and economic features of the pegmatites of Taos and Rio Arriba counties, New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Bull., 13.
- Kemp J. F. (1924). The pegmatites, *Econ. Geology*, 19, 697—723.
- Landes K. K. (1933). Origin and classification of pegmatites, *Amer. Mineralogist*, 18, 33—56, 95—103.
- Landes K. K. (1935). Age and distribution of pegmatites, *Amer. Mineralogist*, 20, 81—105, 153—175.
- Landes K. K. (1935). Colorado pegmatites, *Amer. Mineralogist*, 20, 319—333.
- Maurice C. S. (1940). The pegmatites of the Spruce Pine district, North Carolina, *Econ. Geology*, 35, 49—78, 158—187.
- Page L. R., Norton J. J. (1950). Methods used to determine grade and reserves of pegmatites, *Econ. Geology*, 45, 387—388.
- Page L. R. et al. (1953). Pegmatite investigations, 1942—1945, Black Hills, South Dakota, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 247.
- Parker J. M., III (1950). Feldspar and mica deposits of southeastern United States, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 42—48.
- Quirke T. T., Kremers H. E. (1943). Pegmatite crystallization, *Amer. Mineralogist*, 28, 571—580.
- Rowe R. B. (1953). Evaluation of pegmatitic mineral deposits, *Can. Min. and Met. Bull.*, 46, 700—705.
- Staatz M. H., Trites A. F. (1955). Geology of the Quartz Creek pegmatite district, Gunnison County, Colorado, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 265.
- Tyler P. M. (1950). Economic importance of pegmatites, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7550.
- Tyler P. M. (1953). Economics of pegmatites, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 196, 894—898.

ПОЛЕВОЙ ШПАТ

Введение

Полевые шпаты — алюмосиликаты калия, натрия и кальция, но этот термин употребляют также для названия подгрупп или отдельных минералов этого состава. Общие соотношения в группе полевых шпатов показаны на фиг. 7.2. Ортоклаз отличается от микроклина тем, что он кристаллизуется в моноклинной сингонии, а микроклин и другие полевые шпаты — в триклинной. Калиевый полевой шпат и альбит очень часто образуют кристаллические сростки в виде пертитов. С другой стороны, альбит и анортит представляют собой конечные члены изоморфного ряда полевошпатовых минералов, называемых плагиоклазами, состав которых колеблется от альбитового до анортитового, причем минералам промежуточных составов даны свои названия. Полевые шпаты имеют белую, серую или розовую окраску и обладают спайностью в двух направлениях, пересекающихся примерно под прямыми углами; твердость этих минералов колеблется от 6,0 до 6,5.

Полевые шпаты — самые распространенные минералы изверженных пород земной коры в целом, однако главные про-



Фиг. 7.2. Полевые шпаты. Заштрихованная часть треугольника показывает пределы колебания составов полевых шпатов, используемых в промышленности.

мышленные месторождения их приурочены лишь к пегматитам и к крупнокристаллическим гранитным породам.

Свойства и применение

Из всех полевых шпатов практическое применение находят микроклин, пертит, альбит и олигоклаз (фиг. 7.2). Эти минералы обладают двумя важными свойствами, определяющими их использование в основном в двух отраслях промышленности. Полевой шпат применяется в качестве компонента в керамических массах, где он действует как плавень, т. е. он плавится в стекловатую массу в керамических массах при довольно низких температурах. Это свойство плавня у полевых шпатов обусловлено присутствием в них щелочей — калия и натрия. Поэтому полевой шпат является основным

исходным материалом в производстве фарфора, высококачественных плиток и электрофарфора, а также фарфоровой глазури и эмали для листового железа. Другим ценным свойством полевых шпатов, обуславливающим их применение в производстве стекла, является наличие глинозема. Замещение глиноземом части кремнезема в стекле увеличивает его устойчивость к ударам, изгибу и термическому воздействию. (Анортит — кальциевый плагиоклаз, содержащий примерно в два раза больше глинозема, чем калиевые и натриевые полевые шпаты, и, кроме того, содержащий известь, тоже может применяться в качестве одного из компонентов стекла. Однако он почти не используется, в основном потому, что известь можно получать значительно дешевле из дробленого известняка.) В 1955 г. потребление полевого шпата в производстве керамики и эмали составило 52% тоннажа добычи в США, а в производстве стекла — 43%.

На многих месторождениях полевошпатовое сырье классифицируется на три сорта:

№ 1 — массивный пертит, не содержащий никаких других примесей, кроме кварца в количестве менее 6%;

№ 2 — полевошпатовое сырье с содержанием кварца до 25%; в значительной мере этот сорт представлен письменным гранитом («рубчатый шпат» — «corduroy spar»).

№ 3 — полевой шпат и кварц с примесью биотита, граната и турмалина в количестве до нескольких процентов.

Таблица 7.2

Содержания главных окислов
в полевых шпатах, используемых
в промышленности (из 8 анализов)

Окислы	Содержание, %	Среднее
SiO ₂	64,44—74,34	67,58
Al ₂ O ₃	14,45—22,28	18,18
Fe ₂ O ₃	0,02—0,74	0,23
K ₂ O	0,48—13,39	8,82
Na ₂ O	2,00—9,20	4,30
		99,11

Источник: Перепечатано с разрешения из Nonmetallic Minerals, 2nd ed., by Ladoo and Myers, p. 206, Copyright, 1951.

Пределы колебания составов полевых шпатов, используемых в промышленности (из восьми анализов), показаны в табл. 7.2.

Примерно до 1925 г. полевые шпаты почти не имели заменителей в тех производствах, которые указаны выше. Однако с того времени в керамике и стекловарении стали применяться другие материалы, в основном нефелиновые сиениты (стр. 333) и тальк (стр. 472).

Методы добычи

Пегматиты образуют главным образом небольшие по размеру месторождения, очень неоднородные по составу и трудно поддающиеся разведке и оценке в отношении качества сырья и запасов. Большой частью пегматиты приходится разрабатывать вручную, что является очень трудоемким и дорогостоящим процессом. Потребность промышленности в некоторых добываемых из пегматитов минералов была непостоянной. По этим причинам, а также другим, о которых читатель узнает из дальнейшего, разработка пегматитов периодически становилась нерентабельной, и на большинстве издавна известных месторождений эксплуатационные работы неоднократно прерывались.

Полевошпатовые рудники — наиболее крупные из всех рудников, заложенных в пегматитах, и только на них горные работы проводились более или менее регулярно. Полевой шпат — самый обильный минерал в пегматитах, а его запасы на многих месторождениях очень большие. Кроме того, потребность в полевошпатовом сырье неуклонно возрастала. Вследствие этого несколько компаний вложили значительный капитал в полевошпатовые рудники и помольные установки.

Суммарная добыча полевошпатового сырья в США в 1957 г. составила 430 000 длинных тонн на сумму 4 350 000 долл.¹ Первое место по добыче полевого шпата занимает Северная Каролина, на долю которой приходится около 54% всего тоннажа и 60% стоимости добычи полевошпатового сырья в США. За ней следуют штаты Колорадо, Южная Дакота и штаты Новой Англии (Нью-Гэмпшир, Мэн, Коннектикут). На долю этих штатов приходится 35% тоннажа

¹ Мировая добыча полевого шпата в 1962 г. (тыс. длинных тонн) — 1500 (в 1953—1957 гг. в среднем 1180), в том числе: США 492, ФРГ 260; кроме того (десять тыс. т), Франция, Италия, Швеция, Норвегия, Япония, Бразилия, Югославия, Федерация Родезии и Ньясаленда. В США, помимо пегматитового полевого шпата, в 1962 г. было добыто 140 тыс. т аплита, используемого в производстве желтого стекла. — *Прим. перев.*

общей ежегодной добычи и 28% ее стоимости. Кроме того, полевой шпат в небольших количествах добывается на месторождениях некоторых других штатов.

В вышеприведенные цифры не включены данные по добыче «силспа» («silspar») — смеси полевого шпата и кварца, добываемой с 1956 г. из дюнных песков в штате Калифорния. «Силспа» содержит более 50% полевых шпатов и по классификации Горного бюро США относится к полевошпатовому сырью.

Месторождение Спрус-Пайн, Северная Каролина

Это широко известное месторождение неметаллических полезных ископаемых размером около 10 миль в ширину и 25 миль в длину расположено в районе хребта Блу-Ридж в западной части штата Северная Каролина (Brobst, 1955; Olson, 1944). Район месторождения характеризуется горным рельефом с абсолютными высотными отметками от 2100 до почти 6700 футов. Он дренируется глубоко врезанными извилистыми реками, которые текут в западном направлении и впадают в реку Теннесси. В долинах главных рек района Норт-Тоу и Саут-Тоу встречаются древние террасы, расположенные на высоте почти 200 футов над их уровнем.

Породы, слагающие этот район, представлены сильно выветрелыми докембрийскими гнейсами и кристаллическими сланцами. Они прорваны бесчисленными телами пегматитов, а также более крупными телами пород необычного типа, известных под названием *аляскиты*. Аляскиты — светлые породы гранитного ряда; они не содержат темноцветных минералов и состоят из олигоклаза (45%), кварца (25%), микроклина (20%) и мусковита (10%). Зерна минералов в среднем около $\frac{1}{2}$ дюйма. Аляскиты образуют тела до 1 мили шириной и 2 миль длиной, вытянутые согласно северо-восточному простиранию вмещающих пород. В телах аляскитов встречаются пегматиты, составляющие часть месторождения Спрус-Пайн, причем некоторые из этих пегматитов представляют собой сегрегационные образования тех же аляскитов, а другие — более поздние тела выполнения трещин. Аляскиты и пегматиты имеют примерно одинаковые валовые составы и, по-видимому, общий источник. Однако во вмещающих аляскиты кристаллических сланцах встречается больше пегматитов, чем в самих аляскитах; эти пегматиты характеризуются хорошо выраженным зональным строением и сложным минеральным составом.

Аляскиты и пегматиты уже длительное время разрабатываются на полевой шпат и слюду, а выветрелые аляскиты

представляют собой ценные месторождения остаточного каолина (стр. 197). В описываемом районе встречается множество других различных минералов, и поэтому месторождение Спрус-Пайн широко известно среди коллекционеров минералов.

Высококачественный калиевый полевой шпат добывается из мощных пегматитовых тел с хорошо выраженной зональностью, расположенных главным образом в кристаллических сланцах. Полевой шпат в них встречается в виде крупноблочных микроклин-кварцевых ядер либо в промежуточных или боковых зонах, примыкающих к кварцевым ядрам. Эти зоны обычно разрабатываются по отдельности, а добытая порода дробится вручную, причем полевой шпат очищается от кварца и других посторонних минералов.

Плагиоклазы обычно приурочены к более внешним промежуточным или боковым зонам, которые обычно более мелкозернистые и содержат значительно большую примесь других минералов, чем пертитовые. Поэтому плагиоклаз труднее выделить в больших количествах из зональных пегматитов. Плагиоклазовое сырье получают сейчас главным образом в виде смеси калиевых и натриевых полевых шпатов при валовом извлечении и помоле аляскитов. В средней карьерной пробе аляскита отношение плагиоклаза к пертитовому микроклину составляет около 2 : 1. Аляскиты извлекают из карьера, дробят, размалывают и подвергают флотации. При этом получают полевошпатовое сырье, которое может быть использовано в стекольном производстве, а также кварц и слюдяную мелочь. На месторождении имеются крупные запасы аляскитов, а потребности промышленности в этих видах сырья постоянны.

Однако вопреки тенденции к крупномасштабным горным работам частично полевошпатовое сырье все еще добывается кустарными методами. Обычно кустарная добыча полевого шпата заключается в неоднократной разборке отвалов отдельными лицами, особенно на больших рудниках. При этом собирают небольшие груды довольно высококачественного полевого шпата, хотя ни один из обломков этого минерала не крупнее ореха. Многие семьи в течение долгого времени жили именно благодаря переборке отвалов.

Прочие месторождения

Хотя большинство месторождений пегматитового сырья районов Блэк-Хилс и Скалистых гор уже описано в литературе, основное внимание в этих описаниях уделено не поле-

вому шпату, а листовой слюде, сподумену, бериллу и другим минералам. Лучше охарактеризованы месторождения полевых шпатов Новой Англии (Camegon et al., 1954; Olson, 1950; Watts, 1916). Практически на всех этих месторождениях большая часть добываемого полевого шпата представлена пертитовым микроклином, условия залегания которого сходны с условиями залегания полевого шпата в пегматитах с хорошо развитой зональностью на месторождении Спрус-Пайн. Общая закономерность пегматитов выражается в том, что по направлению от стенок внутрь к ядру количество плагиоклаза в них уменьшается, а количество пертита увеличивается. Поэтому наиболее пригодные для добычи полевого шпата участки обычно приурочены к промежуточным зонам или кварцево-пертитовым ядрам. На многих месторождениях в качестве побочных полезных ископаемых добывают слюду, сподумен или берилл. Ни на одном из этих месторождений не встречается массивных залежей пород, богатых плагиоклазом, которые можно было бы сравнить с аляскитами месторождения Спрус-Пайн.

Полевые шпаты добываются из пегматитов на месторождении Брайсон-Сити в штате Северная Каролина (Camegon, 1951), которое расположено в горах Блу-Ридж примерно в 85 милях юго-западнее Спрус-Пайн и находится на продолжении направления регионального простираения пород этого последнего месторождения. Кроме того, полевые шпаты добываются на месторождении Монета в штате Виргиния, на месторождении Кингман в штате Аризона и в целом ряде других месторождений¹.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР полевой шпат добывается из пегматитов Карелии. Однако в последнее время сырьевая база полевошпатового сырья расширилась за счет разведанных месторождений лейкократовых керамических гранитов на Среднем Урале, в Забайкалье и Узбекистане, альбититов Аксоранского месторождения в Казахстане. Проблема полевошпатового сырья связана не только с пегматитами и нефелиновыми сиенитами, как это можно было бы думать по изложению Бейтса. В мировом балансе полевошпатового сырья пегматиты составляют (на 1961 г.) лишь 28%, а в остальном, помимо нефелинового сиенита (9,2%), ведущую роль играют граниты, аплиты и полевошпатовый песок (28,2%), аляскиты (24%), липариты и фельзит-порфиры (8,6%), корнвалийский камень (сильно каолинизированный грейзенизированный гранит) и другие полевошпатовые часто сильно измененные вторичными процессами породы. Это объясняется не столько отсутствием крупных пегматитовых полей, сколько невозможностью организации на пегматитах широкой механизированной добычи. Проблема полевошпатового сырья рассмотрена в работе: Магидович В. И., Полевошпатовое сырье, его генетические типы и принципы оценки, М., изд-во «Наука», 1964. — *Прим. ред.*

ЛИТЕРАТУРА

- Barnes V. E. (1946). Feldspar in the Central Mineral Region of Texas, Univ. Texas Pub., 4301, 93—104.
- Bastin E. S. (1910). Economic geology of the feldspar deposits of the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 420.
- Brobst D. A. (1955). Guide to the geology of the Spruce Pine district, North Carolina, Geol. Soc. Amer. Guidebook, Guides to southeastern geology, 577—592.
- Cameron E. N. (1947). Applications of the concept of zonal structure in pegmatites to prospecting for feldspar, Econ. Geology, 42, 420.
- Cameron E. N. (1951). Feldspar deposits of the Bryson City district, North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 62.
- Cameron E. N. et al. (1954). Pegmatite investigations, 1942—1945, New England, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 255, 49—53.
- Kulp J. L., Brobst D. A. (1956). Geology of the Bakersville-Plumtree area, Spruce Pine district, North Carolina, U. S. Geol. Survey Map MF 97.
- Olson J. C. (1944). Economic geology of the Spruce Pine pegmatite district, North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 43.
- Olson J. C. (1950). Feldspar and associated pegmatite minerals in New Hampshire, N. H. Min. Res. Survey, pt. 14.
- Parker J. M., III (1948). New Jersey's potential feldspar resources, Rutgers Univ., Bur. Min. Research Bull., 5, pt. 1.
- Parker J. M., III (1950). Feldspar and mica deposits of southeastern United States, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 42—48.
- Parker J. M., III (1953). Geology and structure of a part of the Spruce Pine district, North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 65.
- Watts A. S. (1916). The feldspars of the New England and North Appalachian states, U. S. Bur. Mines Bull., 92.
- Wilson M. E., Buchanan R. M. (1957) Feldspar, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 85—89.

СЛЮДА

Введение

Слюды представляют собой группу сложных силикатов алюминия и щелочей. В состав всех слюд входят гидроксилы, а большинство из них содержат один или несколько следующих элементов: железо, магний, литий и фтор. Группа слюд включает целый ряд отдельных минералов. Наиболее часто в породах встречается темноцветная железомagneйная слюда — биотит, однако он почти или совсем не имеет промышленного значения. Лепидолит содержит литий и иногда служит источником этого элемента (стр. 370). Вермикулит, представляющий собой вторичный минерал, образовавшийся при изменении биотита, обладает характерными свойствами и находит широкое применение в промышленности. Вермикулит описан в специальном разделе (стр. 490—501). Из слюд в промыш-

ленности используют *мусковит* $[H_2KAl_3(SiO_4)_3]$ и *флогопит* $[(K, H)_3Mg_3Al(SiO_4)_3]$, причем мусковит имеет большее значение.

Мусковит и флогопит, подобно другим слюдам, кристаллизуются в моноклинной сингонии в виде шестигранных кристаллов псевдогексагонального габитуса. Они обладают весьма совершенной спайностью и пластинчатым строением, что приводит к образованию крупных пачек кристаллов.

Большей частью мусковиты, используемые в промышленности, явно окрашены, что особенно заметно в пластинках толще $1/16$ дюйма. Особенно часто встречаются мусковиты с различными красными («рубиновыми») и зелеными оттенками. Светлоокрашенные разновидности обычно находят более широкое применение, особенно в электротехнике, однако имеются данные о том, что такое предпочтение скорее традиционное, чем рациональное. Окраска, наличие кристаллических сростков и включений между отдельными пластинками приводят к тому, что слюда становится пятнистой или крапчатой.

Многочисленные дефекты строения кристаллов накладываются на хорошо известную «совершенную» спайность слюды. Среди этих несовершенств можно отметить вроски кристаллов или сростки двойниковых пластинок в пределах одного кристалла, из-за которых слюда раздирается на неправильные мелкие пленки, а не расщепляется на гладкие крупные пластины. Среди других несовершенств строения кристаллов встречаются бороздки или мелкие складки в плоскости спайности, коробление или извилистость и плоскости отдельности, расположенные под большими углами к плоскости спайности. Эти несовершенства обуславливают выделение в практике весьма многочисленных разновидностей, например «тэнглишит» (tanglesheet — дословно «спутанный агрегат листов»), слюда «А», слюда «геррингбоун» (herging-bone)¹ и др. Все эти разновидности слюды описаны и хорошо проиллюстрированы в работе Джанса и Ланкастера (Jahns, Lancaster, 1950).

Несмотря на наличие дефектов строения, встречаются совершенно или частично ненарушенные пачки слюды. Из таких кристаллов получают пластинки диаметром несколько дюймов, однородные по толщине и с ровными поверхностями, прозрачные или почти прозрачные. Такие пластинки и представляют собой высококачественную товарную листовую слюду.

Фактически добыча слюды контролируется двумя отраслями слюдяной промышленности, слабо связанными одна

¹ Ельчатая слюда. — *Прим. перев.*

с другой. Одна из них заинтересована в добыче листовой слюды. Поскольку в США имеется дефицит в этом виде сырья, то оно в больших количествах импортируется; так, мусковит импортируется из Индии и Бразилии, а флогопит в меньших количествах — из Мадагаскара и Канады. Другая отрасль слюдяной промышленности, которая в основном базируется на сырье месторождений США, выпускает молотую слюду. Прежде чем перейти к описанию свойств и применению слюды, следует определить некоторые аспекты ее добычи, а также обычно используемые термины.

Высококачественную листовую слюду получают из крупных кристаллов, которые встречаются в пегматитах. Исходные *пачки слюды* (book mica) отделяются вручную, чтобы удалить примеси и вросстки кварца и полевого шпата. Затем эти пачки расщепляют на *слюдяные блоки* (block mica), представляющие собой пластинки размером полезной площади по меньшей мере $1\frac{1}{2}$ на 2 дюйма и менее $\frac{1}{8}$ дюйма толщиной. Затем нарушенные и разорванные края колотой слюды обрезаются ножницами. После этого путем дальнейшего расщепления получают *щипаную слюду* (film mica) толщиной 0,004—0,0012 дюйма и *пленки* («splittings») толщиной менее 0,0012 дюйма. Небольшие кусочки низкокачественной колотой слюды могут быть разделены на *пунсонную слюду* («punch mica»), из которой путем штампования можно получить диски или специальные формы диаметром по меньшей мере 1 дюйм. Существуют многочисленные промежуточные подразделения упомянутых выше сортов сырья¹.

Практически все эти операции проводятся вручную. Стандарты сортности и качества неоднородны, и эта сфера производства слюды очень запутана. Физические характеристики и сортность листового мусковита месторождений юго-восточных штатов описаны Джансом и Ланкастером (Jahns, Lancaster, 1950), месторождений Индии — Раджгархия (Rajgarhia, 1951, стр. 134—170) и месторождения Бразилии — Смитом (Smythe, 1947).

¹ В СССР существует несколько иная маркировка слюдяного сырья: «слюдяным блоком» соответствует примерно наша очищенная слюда толщиной 0,1—0,6 мм, разделяющаяся на ряд номеров по площади (выделяется также менее обработанный продукт — колотая слюда с необрезанными краями). Пленки (splittings) соответствуют нашей щипаной слюде, тогда как пластинчатая слюда (film mica) не имеет аналогов в маркировке слюдяного сырья в СССР. В ряде случаев потребителям направляется колотая слюда и уже на предприятиях слюдообработывающей промышленности производится ее «обрезка» и «калибровка» — расщепление на пластинки нужной толщины. — *Прим. ред.*

Молотую слюду получают в основном из двух источников. Один из них — это *слюдяной скрап* (scrap mica), представляющий собой отходы производства листовой слюды, а также сама листовая слюда, непригодная для других целей из-за размера, цвета и прочих других свойств. Другой источник молотой слюды — это *слюдяная мелочь* или *слюдяная чешуйка*, представляющая собой рассеянные чешуйки слюды в пегматитах или гранитах, которые извлекаются в качестве побочного продукта при обогащении полевого шпата и каолина. В небольших количествах слюдяную чешуйку получают путем дробления и соответствующего обогащения сильно слюdistых кристаллических сланцев.

Свойства листовой слюды

Тонкие пластинки шипаной слюды обладают большой упругостью и механической прочностью. В тончайшие пленки слюды без нарушения их целостности можно обертывать провода или валы с минимальным диаметром до $\frac{1}{8}$ дюйма. Некоторые области применения слюды обусловлены ее прозрачностью. Гибкость и прозрачность слюды изменяются обратно пропорционально толщине пластинок. Слюда не плавится при обычных температурах. Мусковит начинает терять кристаллизационную воду при температурах ниже 700° , а флогопит — примерно при 1000° . Кроме того, слюда очень термоустойчива, причем она способна выдерживать высокие температуры и внезапные термические воздействия без заметных изменений физических и химических свойств.

Кроме вышеупомянутых свойств, слюды обладают четырьмя свойствами диэлектрика, которые ставят листовую слюду в ряд уникальных веществ. Эти свойства следующие: 1) низкая электропроводимость — очень низкая в том случае, если слюда не содержит микроскопических минеральных включений; 2) очень высокая электрическая прочность, т. е. способность противостоять большим напряжениям тока без пробоя; 3) большая диэлектрическая постоянная. Она может быть определена как емкость мгновенного запаса электростатической энергии; 4) малый угол диэлектрических потерь. Эти два последних свойства делают слюду идеальным веществом для применения в конденсаторах, основная функция которых заключается «в мгновенном накоплении электростатической энергии в диэлектрическом поле (возможно, в одну миллионную долю секунды) и затем в высвобождении ее с возможно минимальной потерей энергии» (Rajgarhia, 1951,

стр. 44). Чистый рубиновый мусковит почти всегда имеет очень малый угол диэлектрических потерь, тогда как у зеленого это свойство несколько менее постоянно.

Применение листовой слюды

Все перечисленные свойства листовой слюды особенно благоприятствуют ее применению в ряде отраслей электротехнической промышленности и электронике. Уже указывалось применение листовой слюды в качестве емкостных сопротивлений (сараcitor) в конденсаторах. Большие листы используются в электростатических «трубках памяти» в некоторых вычислительных машинах. В качестве изоляционного материала слюда готовится в виде кругов, трубок, прокладок, вкладышей, пластинок и однородных кусочков для применения в конденсаторах, трансформаторах, реостатах, радиолампах и электронных лампах и схемах радарных установок. Большое значение, особенно для флогопита, имеет применение слюд в качестве изоляции в авиационных свечах зажигания.

Прозрачность, термостойкость и механическая прочность листовой слюды обуславливают ее применение для заделки смотровых отверстий в стенках и литниках металлургических печей. Слюда более низкого качества применяется в качестве изоляционного материала в электроплитках, утюгах и подобных приборах.

Поскольку крупные чистые листы слюды всегда вырабатываются в ограниченном количестве, то серьезную поддержку промышленности оказывали различные заменители.

Несомненно, наиболее успешным заменителем листовой слюды являются изделия из слюдяных же материалов — миканит. Впервые этот заменитель был использован в 1890 г. и долгое время имел большое значение в слюдяной промышленности. Для получения миканита слюдяные плиты или картон, сложенные чередующимися пропластками из небольших пленок слюды и шеллака или силикатного клея, наподобие сэндвича, прессуются, а затем из получаемой продукции изготавливаются требуемые изделия. Таким образом можно изготавливать картон любых размеров и толщины в виде тоненьких небольших кусочков или в виде панелей толщиной до $\frac{1}{2}$ дюйма и площадью до 3 кв. футов. Кроме того, на слюдяной основе изготавливают ткань, бумагу и тесьму, которые применяются в качестве электроизоляционной обмотки.

Искусственно получают кристаллы слюды диаметром до 2 дюймов. Однако в большинстве случаев искусственные

слюды применяются в иных целях, чем листовая слюда, например в слюдяной керамике на стеклянной основе для высокотемпературных изоляторов. Производство синтетической слюды обходится очень дорого, и вряд ли она может вскоре вытеснить природную листовую слюду. Другой заменитель листовой слюды — так называемая «восстановленная» слюда (reconstituted); это бумага, сделанная из слюдяной мелочи. Она используется в некоторых специальных применениях наряду с миканитом. Синтетическая и «восстановленная» слюда описана в работе Тайлера (Tyler, 1952).

Благодаря своим уникальным свойствам диэлектрика листовая слюда представляет собой исключительно важное стратегическое сырье. Во время второй мировой войны положение в США со слюдой временами становилось первостепенной проблемой в снабжении стратегическим минеральным сырьем. Состояние слюдяной промышленности в годы войны неоднократно освещалось в печати; можно отметить работы Де-Милле (DeMille, 1947), Гуинна (Gwinn, 1944) и Уайлэнда (Wayland, 1947). Кроме того, нехватка слюды в годы войны оказала влияние на развитие интенсивных исследований ресурсов США главным образом Геологической службой и Горным бюро. Во многих послевоенных работах по слюде излагаются результаты этих исследований.

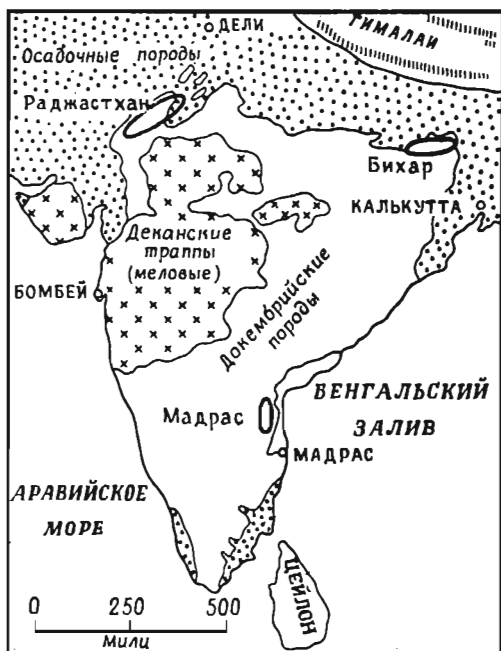
Свойства и применение молотой слюды

Даже растертая в порошок слюда сохраняет пластинчатое строение. Хотя при сухом помолу слюдяные чешуйки приобретают обычно шероховатые и зазубренные края, они дают белый порошок с хорошими смазочными свойствами. Примерно 85% молотой слюды получают методом сухого помола, и этот материал используется главным образом в качестве пылевидного продукта, предохраняющего от слипания куски голя при упаковке. Мокрый помол дает более тонкий порошок с более ровными пластинками с сильным блеском и большой укрывистостью. Слюдяной порошок мокрого помола применяется главным образом в красках. Когда такую краску со слюдой накладывают на какой-нибудь материал, тонкие чешуйки перекрывают друг друга подобно кровельным черепицам на крышах. В значительных количествах молотая слюда применяется для нанесения рисунков на обоях.

Существуют другие многочисленные виды применения молотой слюды. Производство молотой слюды и ее применение описаны Бродхёрстом и Хэшем (Broadhurst, Hash, 1953) и Тайлером (Tyler, 1942).

Индийские месторождения

В Индии слюдоносные пегматиты приурочены к трем главным районам (Brown, Dey, 1955; Rajgarhia, 1951) (фиг. 7.3). Наиболее важное значение имеет слюдоносный район, распо-



Фиг. 7.3. Районы распространения слюдоносных пегматитов Индии.

ложенный в штате Бихар в восточной части Индии северо-западнее Калькутты. Эти месторождения расположены в пределах полосы длиной около 90 миль и шириной 15 миль в гористой залесенной местности. В этом районе имеется по меньшей мере 600 слюдяных рудников, включая и небольшие поверхностные разработки; примерно на 100 рудниках добыча более или менее механизирована, а на нескольких рудниках производится систематическая добыча в больших масштабах. Второй район распространения слюдоносных пегматитов, известный как горнорудный округ Раджпутана, расположен в северо-западной части Индии юго-западнее Дели. Здесь пегматиты приурочены к полосе длиной 200 миль и шириной 60 миль, расположенной как в гористой, так и равнинной местностях. Третий район распространения слюдоносных пег-

матитов, Мадрасский или Неллорский (Roy, 1956), расположен дальше к юго-востоку севернее города Мадрас. Этот район протягивается в меридиональном направлении в виде полосы длиной около 60 миль и шириной от 8 до 10 миль, и большая часть его представляет собой равнину, покрытую с поверхности мощной остаточной почвой.

Во всех трех слюдоносных районах вмещающие породы представлены архейскими гнейсами и кристаллическими сланцами Индийского щита. Встречающиеся здесь пегматиты имеют самые разнообразные размеры и формы. Подавляющее большинство пегматитов обладает грубо линзовидной формой, а многие — трубкообразной. Среди тысяч обнаруженных пегматитовых тел примерно 2% содержат мусковит в количестве, достаточном для развития эксплуатационных работ в больших масштабах. Однако от общего тоннажа добычи слюды из этих пегматитов 20% составляет листовая слюда. Содержание листовой слюды на индийских месторождениях самое высокое в мире.

Здесь встречаются как зональные, так и однородные пегматиты. В зональных пегматитах слюда обычно приурочена к боковым зонам или к зонам, прилегающим к кварцевым ядрам. Скопления слюды носят гнездовый характер и распределены неравномерно. Не только пегматиты выклиниваются и утолщаются, но заметно колеблются по мощности и продуктивные слюдяные зоны. Фактически они могут выклиниваться полностью, причем их место в этом случае занимают неслюдоносные полевошпатовые породы. «Не говоря уже о выклинивании слюдоносных зон, внезапное исчезновение слюды в забоях на глубину и по простиранию представляет собой каждодневное явление; часто приходится выработать пустые породы, мощность которых составляет от 5 до 25 футов и даже более» (Rajgarhia, 1951, стр. 22). Пегматиты иногда пересекаются прожилками сланцеватых вмещающих пород мощностью почти до 1 фута, что также затрудняет их разработку. Раджгархия (Rajgarhia, 1951, стр. 28—29) описывает слюдяную залежь, висячем боку которой наблюдаются кристаллические сланцы; предполагалось поэтому, что кристаллическими сланцами начиналась толща вмещающих пород, но на самом деле оказалось, что они слагают только тонкий прожилок, выше которого имеется другая зона пегматита, богатая слюдой.

Некоторые более крупные тела пегматитов уже выработаны на несколько сот футов вдоль простирания и почти на 400 футов в глубину. «Трубкообразные жилы», исключительно богатые крупными пачками слюды, выработаны до глубины

700 футов. Незональные однородные пегматитовые тела обычно значительно шире, чем зональные. Они в общем менее продуктивны, но в них крупные книгообразные кристаллы слюды преобладают над мелкими.

Индия занимает исключительное положение в производстве листовая слюда, помимо наличия крупных месторождений этого минерала, благодаря обилию дешевой рабочей силы. Даже на механизированных рудниках почти все машинное оборудование обеспечивает только проходку эксплуатационных выработок и уборку породы. Слюда отбирается от пустой породы вручную; вручную производятся также все дальнейшие операции. Большинство из этих операций требует большой тщательности и немалой сноровки у рабочих. Добыча слюды в Индии началась очень давно; местные рабочие научились очень квалифицированно расщеплять, сортировать и упаковывать слюду.

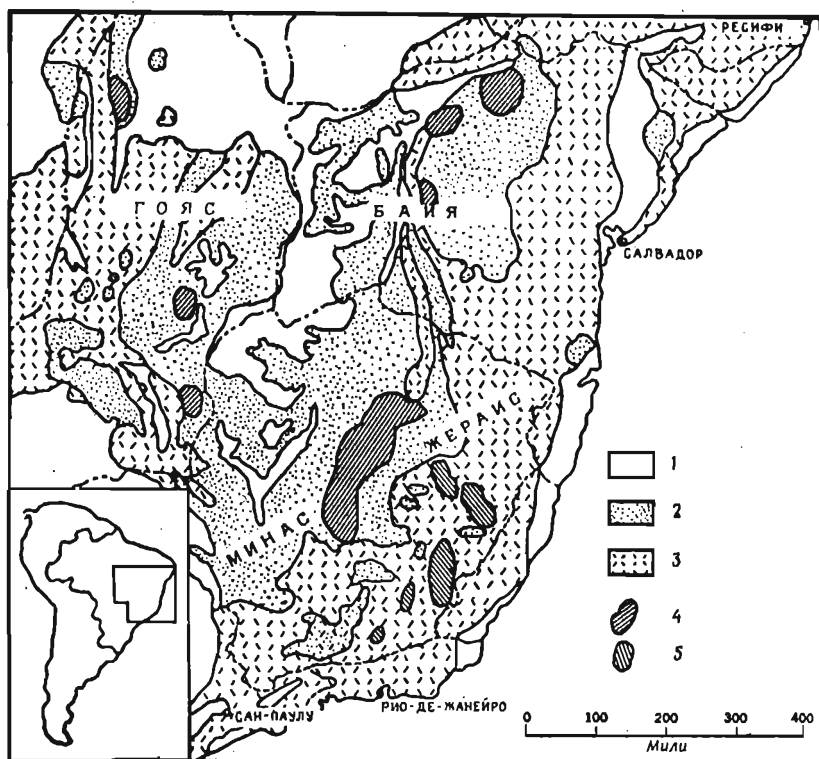
Изобретение миканита примерно в 1890 г. привело к увеличению потребления промышленностью слюдяных пленок, вследствие чего индийская слюда находит постоянный сбыт. Слюдяные пленки почти полностью экспортируются в Англию, ФРГ и США. Кроме того, индийская слюда экспортируется в виде колотой и щипаной слюды.

Бразильские месторождения

В Бразилии пегматиты распространены в южной части штата Минас-Жерайс (Pescora et al., 1950; Smythe, 1947). Здесь пегматиты образуют ряд полей, которые расположены примерно на одной прямой, протягивающейся в северном направлении примерно параллельно береговой линии на 300 миль от точки, находящейся примерно в 75 милях севернее Рио-де-Жанейро (фиг. 7.4). Эта полоса месторождений достигает максимальной ширины 120 миль. Месторождения расположены на гористом плато, известном под названием Планальто. Оно представляет собой древнюю эрозионную поверхность, которая сформировалась на более низком уровне, а затем была обновлена вследствие регионального поднятия. Большинство рудников расположено на крутых склонах плато. Район месторождений покрыт густой растительностью.

Геологическое строение этого района в самых общих чертах очень сходно с геологией индийских месторождений слюды. Район месторождений сложен изверженными и метаморфическими породами древнего кристаллического щита. Пегматиты встречаются во всех типах пород этого древнего щита, но особенно распространены в кристаллических слан-

цах. Пегматитовые тела весьма изменчивы по своей форме и соотношениям с вмещающими породами, что отчетливо видно на поперечных разрезах 24 пегматитовых тел, приведен-



Фиг. 7.4. Схематизированная геологическая карта юго-восточной части Бразилии, на которой показаны главные месторождения слюдоносных пегматитов и горного хрусталя. Заимствовано с некоторыми изменениями у Смита (Smythe, 1947, A. I. M. E. Trans., 173, 501).

1—постсилурийские породы; 2—позднедокембрийские—силурийские породы; 3—раннедокембрийские кристаллические породы; 4—хрусталеносные районы; 5—слюдоносные районы.

ных в работе Пекоры и др. (Pecora et al., 1950, стр. 238—240). Основная масса слюды добывается из зональных пегматитов, причем слюда в них приурочена к центральной зоне, примыкающей к кварцевому ядру, или к боковым зонам. Слюда редко встречается в виде непрерывных полос; обычно она распределена неравномерно в виде богатых карманов («руд-

ных столбов», «shoots»), разделенных бесслюдяной полевошпатовой породой.

Промышленный мусковит представлен «рубиновой» разновидностью. В некоторых богатых участках слюда составляет до 40% всей массы пегматита, но обычно валовое содержание слюды в слюдоносных зонах колеблется от 5 до 20%. В редких случаях в богатых участках может содержаться до нескольких тысяч тонн слюды.

Изредка залежи слюды непосредственно обнажаются в обрывах. Однако большая часть обнаруженных месторождений была скрыта под толщей остаточной почвы, и их обнаружили путем прослеживания скоплений слюдяных чешуек до их первоначального источника в коренных породах. Расчистка залесенных земель под сельскохозяйственные угодья в течение более 200 лет сильно облегчила обнаружение месторождений слюды. В годы второй мировой войны на некоторых крупных пегматитовых телах вскрышные породы начали удалять тракторами и бульдозерами, а несколько крупных рудников сейчас механизированы, и работы на них ведутся систематически. Другие пегматитовые тела разрабатываются сельским населением.

Бразильская слюда выпускается главным образом в виде колотой слюды. Запасы слюды большие. Кроме того, Бразильский слюдяной пояс весьма перспективен в отношении месторождений полевого шпата, каолина, берилла и различных других минералов пегматитов.

Месторождения США

Успешная добыча листовой слюды в США была связана главным образом с теми периодами, когда была очень низкая оплата труда, или с годами войны, когда горные работы субсидировались правительством. Нельзя провести никакого сравнения между условиями добычи листовой слюды в США и в Индии или Бразилии.

Примерно с 1800 г., когда листовой мусковит из месторождений США впервые начал применяться в больших количествах для ламповых колпаков и печных окошек, и до 1868 г. главным источником слюды были месторождения штата Нью-Гэмпшир. Однако в 1863 г. на рынок стала поступать слюда из месторождений штата Северная Каролина, и с тех пор эти месторождения занимают ведущее место по добыче слюды в США. Кроме того, штат Северная Каролина занимает первое место по добыче слюдяного скрапа и слюдяной чешуйки для производства молотой слюды. В 1957 г. в США было до-

быто слюды на сумму 4,6 млн. долл., из которой на долю месторождений штата Северная Каролина приходилось 2 748 000 долл., или 60% всей стоимости¹. Остальная часть стоимости слюды приходится в основном на штаты Новой Англии, особенно на штаты Нью-Гэмпшир и Мэн (Vanpegman, Cameron, 1947; Cameron et al., 1954, стр. 33—49; Olson, 1942); а также на штаты Джорджия (Furcron, Teague, 1943; Jahns et al., 1952), Южная Дакота (Page et al., 1953, стр. 24—44) и некоторые штаты района Скалистых гор (Anderson, 1933; Jahns, 1946; Stoll, 1950).

В Северной Каролине главным источником слюды является месторождение Спрус-Пайн. Здесь из пегматитов добывается листовая слюда, но обычно не из тех же пегматитовых тел, которые разрабатываются на полевошпатовое сырье (стр. 352). Слюдоносные пегматиты здесь более мелкие, чем обычные, в среднем от 5 до 25 футов в поперечнике, и они приурочены преимущественно к кристаллическим сланцам, а не аляскитам (стр. 352). Согласно Кеслеру и Олсону (Kesler, Olson, 1942), близко расположенные друг от друга пегматиты, сходные по составу и содержащие мусковит одинаковой окраски, всегда залегают согласно простираанию кристаллических сланцев; между качеством слюды и составом вмещающих пород существует некоторая зависимость. Эти пегматиты характеризуются зональным строением, а условия залегания слюды в них сходны с таковыми на индийских и бразильских месторождениях. Если пегматитовое тело имеет размер в поперечнике менее 6 футов, то оно разрабатывается целиком, а более крупные тела разрабатываются выборочно по зонам. Валовое содержание пачек слюды в добытом сырье составляет 2—6%, но иногда в богатых участках общее содержание слюды может достигать 30 или 40%. Только 5—8% слюды, содержащейся в добытом сырье, пригодно для получения колотой слюды, а остальные 92% слюды или более используются в виде слюдяного скрапа.

В Северной Каролине разрабатывается еще два месторождения. Одно из них, месторождение Франклин-Силва (Olson et al., 1946), расположено в горах Блу-Ридж, примерно в 80 милях юго-западнее месторождения Спрус-Пайн

¹ Мировая добыча слюды в 1962 г. составила 400 млн. фунтов. Главная масса этого сырья приходится на скрап. Основные производители: (тыс. фунтов): Индия 4396 (листовая слюда), 18 838 (колотая слюда), 45 523 (скрап); США 361 (листовая слюда), 215 404 (скрап); Мальгашская Республика 181 (листовая слюда), 2780 (скрап); Бразилия 11 000 (суммарно). Стоимость добытой в США в 1962 г. слюды составила 5 802 тыс. долл. — *Прим. ред.*

в направлении регионального простираия. Другое месторождение — Шелби-Хикори (Jahns et al., 1952, стр. 203—281) — расположено в южной части этого штата в провинции Пидмонт.

Хотя значительное количество сырья для производства молотой слюды получают из отходов, остающихся после обработки листовой слюды и при обогащении каолинового и полевошпатового сырья, все же более трех четвертей ее добывают из месторождений, разрабатываемых специально на слюдяной скрап (Broadhurst, Nash, 1953). И в этом случае мы видим, что горнорудный район Спрус-Пайн занимает выдающееся место и по добыче слюды. Главный источник слюдяного скрапа — пегматиты и особенно аляскиты, которые могут содержать 10—20% мусковита в виде чешуек и небольших пакчек. Эти породы обычно каолинизированы, и их можно разрабатывать гидравлическими методами. Условия залегания слюдяного скрапа почти те же, что и у листовой слюды, полевого шпата и каолина. Производство слюдяного скрапа в штате Северная Каролина с 1940 по 1950 г. увеличилось в 4 раза.

Разведка и добыча

Хотя в изучении пегматитов достигли больших успехов, особенно при исследованиях, проводимых Геологической службой США в годы войны и в послевоенное время, единственный практический метод разведки на листовую слюду — проходка разведочных шурфов в пегматитах, которые позволяют установить, достаточно ли богат слюдой этот участок пегматита для промышленного освоения. Колонковое бурение способствует установлению зонального распределения минералов и, следовательно, получению общих сведений о строении залежей. Однако колонковая скважина может миновать богатое скопление слюды всего на нескольких дюймов, а в том случае, когда скважина подсекла слюду, последняя разрушается при бурении и уже нельзя точно оценить ее качество. В свежих, невыветрелых породах следует производить взрывные работы, но в небольших масштабах и очень осторожно. После обнаружения слюды дальнейшая разведка с целью оценки ее содержания и глубин ослюденения возможна лишь с применением тяжелых горных выработок.

По этим причинам добыча слюды проводится несистематически, что не соответствует современной картине массового непрерывного производства. «Был предпринят ряд попыток проведения крупномасштабной добычи слюды, но ни одна из

них не была успешной длительное время» (Tyler, 1942, стр. 109). Даже на крупных рудниках почти всегда периоды очень продуктивной добычи чередуются с периодами снижения добычи, и по крайней мере в США слюдяная промышленность почти не дает прибыли. Раджгархия (Rajgarhia, 1951, стр. 23—24), имеющий многолетний опыт работы на богатых слюдой месторождениях Индии, лишь в сдержанной форме говорит о сложностях добычи слюды: «Добыча слюды требует известной доли риска, терпения и широты кругозора»¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Anderson A. L. (1933). Genesis of the mica pegmatite deposits of Latah County, Idaho, Econ. Geology, 28, 41—58.
 Bannerman H. M., Cameron E. N. (1947). The New England mica industry, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 524—531.
 Broadhurst S. D., Hash L. J. (1953). The scrap mica resources of North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 66.
 Brown J. C., Dey A. K. (1955). India's Mineral Wealth, 3rd. ed., London, Oxford University, Press, 539—349.

¹ **Заключительные замечания.** Наша страна — родина слюды как полезного ископаемого. Добыча слюды началась в Карелии еще в X—XII вв., и само название «мусковит», видимо, ведет свое начало от слова Москва, так как в течение ряда веков (особенно XV—XVI) из Руси вывозили слюду в Европу и даже Индию в качестве прозрачного материала, заменяющего низкокачественные в те времена стекла («московское стекло», «стекло девы Марии», «якутское стекло»). Помимо в значительной мере выработанных месторождений Карелии, мусковит в крупных скоплениях встречается в докембрийских пегматитах Восточной Сибири, и главный район его добычи в настоящее время располагается в бассейне реки Мамы (Иркутская область). Бейтс совершенно не описывает месторождения флогопита, представленные в СССР крупнейшей в мире Алданской слюдоносной провинцией, насчитывающей около сотни промышленных месторождений. Эта слюдоносная провинция оказалась блестящим подтверждением прогнозных предположений акад. Д. С. Коржинского. Особенно высококачественный маложелезистый флогопит имеется на эксплуатируемом слюдяном месторождении в Южном Прибайкалье и на Памире. Промышленные месторождения флогопита во всем мире приурочены к глубокометаморфизованным архейским толщам и возникли в результате контактово-реакционного метасоматоза на контакте доломитов и алюмосиликатных пород. Важный успех советской геологии — открытие крупнейших месторождений флогопита нового генетического типа, возникающих в результате реакционного взаимодействия ультращелочных и ультраосновных пород в сложных интрузивных массивах (север Сибирской платформы, Кольский полуостров). Из числа относительно недавних работ по месторождениям слюды см.: Белянкина Е. Д. и др., Генезис и типизация промышленного мусковита. Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 12, 1958; Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 6, М., изд-во АН СССР, 1962; Лицарев М. А., Генезис флогопитовых месторождений Алдана. Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 67, 1961. — *Прим. ред.*

- Cameron E. N. et al. (1945). Structural and economic characteristics of New England mica deposits, *Econ. Geology*, **40**, 369—393.
- Cameron E. N. et al. (1954). Pegmatite investigations, 1942—45, New England, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 255, 33—49.
- DeMille J. B. (1947). *Strategic Minerals*, New York, McGraw-Hill, 326—338.
- Furcron A. S., Teague K. H. (1943). Mica-bearing pegmatites of Georgia, *Ca. Geol. Survey Bull.*, **48**.
- Gwinn G. R. (1944). Strategic mica, *Calif. Jour. Mines and Geology*, **40**, 435—449.
- Gwinn G. R. (1951). Domestic mica, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7617.
- Hewitt D. F. (1957). The Purdy mica mine, *Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits*, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 181—185.
- Jahns R. H. (1946). Mica deposits of the Petaca district, Rio Arriba County, New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Bull., 25.
- Jahns R. H., Lancaster F. W. (1950). Physical characteristics of commercial sheet muscovite in the southeastern United States, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 225.
- Jahns R. H. et al. (1952). Mica deposits of the southeastern Piedmont, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 248.
- Kesler T. L., Olson J. C. (1942). Muscovite in the Spruce Pine district, North Carolina, U. S. Geol. Survey Bull., 936-A.
- Mullard W. J. (1947). The mining of Brazilian mica in stripping operations, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **173**, 208—222.
- Olson J. C. (1942). Mica-bearing pegmatites of New Hampshire, U. S. Geol. Survey Bull., 931-P.
- Olson J. C. et al. (1946). Mica deposits of the Franklin-Sylva district, North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 49.
- Page L. R. et al. (1953). Pegmatite investigations, 1942—1945, Black Hills, South Dakota, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 247.
- Parker J. M. III (1950). Feldspar and mica deposits of southeastern United States, *Proc. Southeastern Mineral Symposium*, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 42—48.
- Pecora W. T. et al. (1950). Mica deposits in Minas Gerais, Brazil, U. S. Geol. Survey Bull., 964-C.
- Rajgarhia C. M. (1951). *Mining, Processing, and Uses of Indian Mica*, New York, McGraw-Hill.
- Roy B. C. (1956). The Nellore mica belt, *Bull. Geol. Survey India*, ser. A, № 11.
- Smythe D. D. (1947). Muscovite mica in Brazil, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **173**, 500—523.
- Spence H. S. (1947). The «Bonanza» mica operation of Purdy Mica Mines, Limited, Mattawan Township, Ontario, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **173**, 542—559.
- Sterrett D. B. (1923). Mica deposits of the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 740.
- Stoll W. C. (1950). Mica and beryl pegmatites in Idaho and Montana, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 229.
- Tyler P. M. (1942). Technology and economics of ground mica, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **148**, 105—121.
- Tyler P. M. (1950). Economic importance of pegmatites, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7550.
- Tyler P. M. (1952). Reconstituted mica and synthetic mica, *Nat. Acad. Sci. Rept.*, MMAB-31-C.

- Wayland R. G. (1947). Mica in war, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 587—595.
- Wilson M. E. (1957). The phlogopite-apatite deposits of eastern Ontario and the southern Laurentian Highlands, Quebec, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 175—181.
- Anonymous (1954). Mica, Calif. Div. Mines, Mineral Inf. Service, 7, № 4, 1—5.

МИНЕРАЛЫ ЛИТИЯ

Введение

Литий — самый легкий из металлов, а среди самых легких элементов он стоит на третьем месте. По своим химическим свойствам наряду с натрием и калием он относится к щелочной группе; литий очень легко вступает в соединения с другими элементами; он не встречается в самородном виде, и его трудно извлекать из литиевых руд. Тем не менее было разработано несколько применений лития в качестве металла. Однако соединения лития также обладают полезными свойствами и в промышленности применяются почти 20 таких соединений. Применение лития и его соединений были разработаны главным образом в результате исследований, проводимых со времени второй мировой войны. В довоенные годы стоимость всех ежегодно добываемых в США литиевых минералов редко превышала 50 тыс. долл., а в 1954 г. (последний год, для которого имеются данные по производству лития) общая стоимость добытых литиевых минералов составила более 3 млн. долл., причем и эта цифра резко возросла¹.

Литий и его соединения получают главным образом из некоторых минералов пегматитов. В небольших количествах литиевый карбонат получают из рассолов месторождения Сёрлс в штате Калифорния в качестве побочного продукта при извлечении калийных и натриевых солей.

Ниже перечислены главные литийсодержащие пегматитовые минералы:

Минерал	Приблизительный химический состав	Содержание лития (Li ₂ O) в минеральном сырье, %
Сподумен	LiAlSi ₂ O ₆	4—7
Лепидолит	K ₂ Li ₃ Al ₄ Si ₇ O ₂₁ (OH, F) ₃	3—4
Амблигонит	LiAl(F, OH)PO ₄	8—9
Петалит	LiAlSi ₄ O ₁₀	2—4

¹ В 1961 г. в капиталистических странах добыто около 62 тыс. т литиевых минералов (в 1958 г. около 97 тыс. т). Подавляющая масса литиевого сырья получена в Африке, в том числе в Федерации Родезии и Ньясаленда 27 тыс. т петалита и 24 тыс. т лепидолита. — Прим. ред.

Сподумен представляет собой минерал группы пироксенов и встречается в виде призматических или удлиненно пластинчатых кристаллов тусклого серо-белого цвета. Размеры кристаллов очень большие, а иногда огромные (стр. 341). Весьма характерны псевдоморфозы по сподумену, состоящие из кварца, альбита, мусковита или других минералов (Norton, Schlegel, 1955). Эти замещения приводят к заметному уменьшению содержания лития. *Лепидолит* — литийсодержащая слюда розового, лилового или фиолетово-серого цвета; встречается он в виде мелкокристаллических блестящих агрегатов. *Амблигонитом* называют ряд фосфатных минералов, которые отличаются один от другого различными содержаниями гидроксила и фтора. Обычно амблигонит белый или серый; встречается он в виде крупнокристаллических скоплений, которые несколько похожи на полевой шпат. *Петалит* образует сплошные массы белого или серого цвета, расщепляющиеся на пластинки. Он также похож на полевой шпат, но в отличие от него имеет несколько меньший удельный вес.

В отношении практического использования сподумен оставляет далеко позади другие литиевые минералы. Значение сподумена в литиевой промышленности освещено в работе Браунинга (Brownig, 1958), в которой приведена также обширная библиография. Лепидолит, амблигонит и петалит добываются в промышленных количествах в некоторых других странах, особенно в Юго-Западной Африке и в Родезии.

В литиевой промышленности США господствуют четыре фирмы. Три фирмы добывают сподумен из пегматитов, две из которых разрабатывают пегматиты южной части района Блэк-Хилс в штате Южная Дакота, а третья — в районе Кингс-Маунтин в штате Северная Каролина. Четвертый концерн перерабатывает литиевые соли месторождения Сёрлс. Имеются также небольшие месторождения литиевых минералов, которые разрабатываются несистематически отдельными предпринимателями.

Свойства и применение

Металлический литий сплавляют для получения специальных сплавов с хромом, медью и другими металлами (кроме железа). Помимо этого, он применяется в качестве реагента при производстве синтетических витаминов. Однако применение лития в настоящем и будущем относится главным образом к области ядерной энергии. Говорят, что природный изотоп лития Li^6 обладает способностью к цепной реакции, и поэтому он может представлять ценность в качестве атом-

ного горючего (Donahey, 1958, стр. 2). Li^6 может служить также в качестве эффективного экранирующего средства от ядерной радиации. Поскольку литий очень легок, его можно использовать для защитного оборудования передвижных атомных силовых установок. Легкий вес лития также побуждает конструкторов ракет и управляемых снарядов рассматривать возможности использования в качестве ракетного топлива.

Литиевые минералы как таковые лишь в небольшой степени применяются в стекловарении и керамическом производстве. Примесь лепидолита уменьшает вязкость расплавленных стекол и улучшает их формуемость, а небольшая примесь лития в готовом стекле повышает его твердость и прочность. Сподумен и петалит вводятся непосредственно в некоторые керамические смеси.

Литиевые соединения широко используются в промышленности. Наиболее важные из этих соединений: карбонат и гидроокись лития. Карбонат лития применяется главным образом в стекловарении и в керамических глазурах, причем последним он придает сильный блеск, большую прочность, химическую устойчивость и другие свойства. Путем реакции моногидрата гидроокиси лития со стеариновой кислотой получают литиевые стеариновые масла. Эти «универсальные» масла сохраняют свои смазочные свойства и водоустойчивость при очень высоких температурах и поэтому имеют большое военное и промышленное значение. По-видимому, около $\frac{4}{5}$ всех литиевых соединений, потребляемых в США, используется в производстве стекла, керамики и смазочных веществ.

Хлористый литий используется для кондиционирования воздуха и в промышленных сушильных устройствах, для чего это вещество помещается в специальные осушающие батареи («dry-cell»), а также в сварке и пайке. Гидроокись лития применяется в щелочных аккумуляторных батареях. Другие соли лития используются в медикаментах, косметических средствах, красках, восках и многих различных продуктах (Lapdolt, 1957).

Месторождение Кингс-Маунтин, Северная Каролина

Хотя сподумен встречается в целом ряде пегматитоносных районов, главные промышленные месторождения приурочены только к узкой полосе длиной около 25 миль и шириной менее 2 миль, простирающейся от южной границы штата Северная Каролина в северо-восточном направлении до Линкольнтон (в центре полосы расположен город Кингс-Маунтин). Этот

район находится в пределах провинции Пидмонт и характеризуется полого холмистым рельефом с абсолютными отметками около 1000 футов. Поверхность сложена сильно выветрелыми кристаллическими сланцами и гнейсами, гранитными интрузиями и пегматитовыми дайками. Региональное простирание пород северо-восточное, падение крутое северо-западное. В пегматитах этого района местами встречается касситерит (SnO_2), который спорадически добывался на протяжении многих лет. Вследствие этого район месторождений был назван *каролинским оловянным поясом* и *оловянно-сподуменным поясом*, как иногда и сейчас его именуют в литературе. Сподумен был обнаружен еще в 1930 г., но первый карьер открыт только в 1942 г., когда потребовалось удовлетворить запросы промышленности, возникшие в годы войны. Этот сподуменный карьер просуществовал до 1946 г. в 1951 г. с расширением рынка сбыта для лития добыча сподумена возобновилась и были построены обогатительные фабрики. Местоорождение Кингс-Маунтин вскоре заняло ведущее место в США по добыче литиевого сырья.

В пределах описываемой узкой полосы месторождений встречается несколько сот пегматитовых тел, которые имеют характерную плитообразную и линзовидную форму. Большая часть этих тел залегает согласно сланцеватости вмещающих пород, а некоторые из них секут породы перпендикулярно их простиранию. Пегматиты достигают в длину 3200 футов, а в ширину почти 400 футов; однако обычно пегматитовые тела имеют значительно меньшие размеры. Одно пегматитовое тело было прослежено при бурении на глубину по крайней мере 900 футов, в связи с чем предполагается, что пегматиты также широко распространены на глубине в несколько тысяч футов, как и на поверхности (Griffitts, 1954). Главные минералы пегматитов представлены альбитом, микроклином, сподуменом и кварцем; в небольших количествах содержится мусковит, касситерит, берилл (стр. 384), амблигонит и турмалин. В некоторых пегматитах сподумен может слагать до 50% породы, но в среднем его содержание составляет 10—15%. Гигантские кристаллы сподумена здесь не были обнаружены; средняя длина его кристаллов составляет менее 1 фута. Сподумен обычно встречается повсюду в крупнокристаллических пегматитах, и многие эти пегматиты разрабатываются на всю их площадь распространения. Зональность в пегматитах проявлена слабо или отсутствует, поэтому зоны по отдельности не разведываются и не разрабатываются.

В пегматитах различают несколько текстур, в том числе массивную, гнейсовидную и гребенчатую. Для последней характерно наличие удлиненных, обычно размером с палец, кристаллов сподумена, которые ориентированы перпендикулярно контактам пегматитового тела.

Пегматиты залегают несколько восточнее позднепалеозойского интрузивного массива кварцевых монзонитов Черривилл. Предполагают, что пегматиты генетически связаны с этим массивом (Griffitts, Overstreet, 1952). История образования пегматитов сложна. Выделяют семь одновременных стадий выделения пегматитовых минералов (Kesler, 1942). В промежутках между некоторыми стадиями имели место региональные подвижки, приводившие к деформации уже сформированных пегматитовых тел и возникновению новых трещин, в которых локализовались более поздние пегматиты. В пределах пегматитовых тел и особенно во вмещающих кристаллических сланцах — повсюду имели место процессы замещения. История образования пегматитов этого района заключается в многократном растрескивании, деформации и минерализации пегматитов. Кеслер (Kesler, 1942) полагает, что пегматитообразующие растворы были преимущественно водными, так как они проникали в коренные породы, где в больших участках происходили процессы замещения, вызванные этими растворами. Предполагается, что сподумен образовался на средних стадиях формирования пегматитов (Kesler, 1942; Norton, Schlegel, 1955).

Исчисленные запасы лития (до глубины 400 футов при среднем содержании Li_2O 1,7%) в полосе месторождений Кингс-Маунтин составляют 4 млн. условных единиц¹, или 28% всех запасов этой категории в США (Norton, Schlegel, 1955, стр. 343). Менее достоверные, *предполагаемые запасы* лития (до глубины 450 футов при среднем содержании Li_2O 1,3%) на этих месторождениях составляют громадное количество — 124 млн. условных единиц, что практически равно всем предполагаемым запасам лития в США. Кажется несомненным, что и в дальнейшем это месторождение сохранит свое важное значение как источник литиевого сырья.

Добыча и частичная переработка литиевого сырья описаны Готером и др. (Goter, Hudspeth, Rainey, 1953), а извлечению сподумена посвящены работы Бэнкса и др. (Banks et al., 1953), Донэя (Donahy, 1958), а также Нормэна и Джисеке (Norman, Gieseke, 1942).

¹ Условная единица равна 1% или 20 фунтам Li_2O на тонну концентрата.

Месторождения района Блэк-Хилс, штат Южная Дакота

Более 50 лет литиевые минералы добываются из пегматитов в районе Блэк-Хилс в штате Южная Дакота. Здесь в южной части района Блэк-Хилс на краевых частях батолита Харни-Пик расположены три месторождения литиевых минералов — Кейстон, Хилл-Сити и Кастер. Четвертое месторождение — Тинтон — расположено в 43 милях северо-западнее батолита Харни-Пик вблизи границы штата Вайоминг. Пегматиты обычно прорывают дислоцированные докембрийские метаморфические породы. Они характеризуются отчетливо выраженным зональным строением, сложным минеральным составом и наличием крупных кристаллов. Большинство литийсодержащих пегматитовых тел имеет крупные размеры и очень неправильную форму. Главный литиевый минерал в них представлен сподуменом, в меньших количествах встречаются амблигонит и лепидолит. Скопления сподумена приурочены главным образом к более мощной части пегматитового тела, а именно к промежуточной зоне или ядру, поэтому их присутствие иногда можно предсказать на основании строения контактов пегматитов с вмещающими породами и строения боковых зон. Согласно Пэйджу и др. (Page et al., 1953, стр. 55), сподумен образуется последним в парагенетическом ряду пегматитовых минералов. Пегматиты редко содержат в среднем более 20% сподумена, а в самом богатом пегматите Этта на месторождении Кейстон среднее содержание извлекаемого сподумена в добытом сырье многие годы держится на уровне только 10%. Извлечение сподумена производится как с применением ручной отборки, так и путем обогащения валовой горной массы. На многих более мелких рудниках сподумен добывается селективно, и, когда спрос на литиевые минералы уменьшается, на этих рудниках добывают слюду, полевой шпат или берилл. Исчисленные запасы (до глубины 100 футов при среднем содержании Li_2O 1,2%) составляют 1,2 млн. условных единиц, или 8% всех запасов этой категории в США. Предполагаемые запасы составляют 400 тыс. условных единиц (Norton, Schlegel, 1955).

Прочие месторождения

Литийсодержащие пегматиты разрабатываются на месторождении Кварц-Крик в округе Ганнисон в штате Колорадо (Hanley, Heinrich, Page, 1950) и на руднике Хардинг в округе Таос в штате Нью-Мексико (Berliner, 1949; Roos, 1926).

С 1900 по 1927 г. из пегматита Стьюарт на месторождении в округе Сан-Диего в штате Калифорния было добыто много лепидолита, но запасы этого минерального сырья уже исчерпаны (Jahns, Wright, 1951)¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Banks M. K., McDaniel W. T., Sales P. N. (1953). A method for concentration of North Carolina spodumene ores, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., **196**, 181—186.
- Berliner M. H. (1949). Investigation of the Harding tantalumlithium deposits, Taos County, N. Mex., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4607.
- Browning J. S. (1958). Spodumene—major source of lithium, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7824.
- Clark J. D. (1950). Petalite—a new commercial mineral, Min. Eng., **187**, 1068—1070.
- Donahy J. W. (1958). Foote Mineral Company operates world's largest lithium plant in Virginia, Va. Polytechnic Inst., Min. Ind. Jour., **5**, № 3, 1—3.
- Gale W. A. (1945). Lithium from Searles Lake, Chem. Inds., **57**, 442—446.
- Goter E. R., Hudspeth W. R., Rainey D. L. (1953). Mining and milling of lithium pegmatites at Kings Mountain, N. C., Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., **196**, 890—893.
- Griffitts W. R. (1954). Beryllium resources of the tin-spodumene belt, North Carolina, U. S. Geol. Survey Circ., 309.
- Griffitts W. R., Overstreet W. C. (1952). Granitic rocks of the western Carolina Piedmont, Amer. Jour. Sci., **250**, 777—789.
- Hanley J. B., Heinrich E. W., Page L. R. (1950). Pegmatite investigations in Colorado, Wyoming, and Utah, 1942—1944, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 227, 12—14.
- Heinrich E. W., Levinson A. A. (1955). Geological, mineralogical, and crystallographic factors in the exploitation of lepidolite deposits, Econ. Geology, **50**, 99.
- Hess F. L. (1940). The spodumene pegmatites of North Carolina, Econ. Geology, **35**, 942—966.
- Ingham W. N., Latulippe M. (1957). Lithium deposits of the Lacorne area, Quebec, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 159—163.
- Jahns R. H., Wright L. A. (1951). Gem- and lithium-bearing pegmatites of the Pala district, San Diego County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 7-A.

¹ **Заключительные замечания.** В качестве промышленных месторождений литиевых минералов Бейтс указывает лишь пегматиты и рапу соляных озер. Существуют, однако, месторождения третьего типа — пневматолитово-гидротермальные, цинковецкие (Циновец, Чехословакия) и амблигонитовые (Кацере, Испания), в которых литиевые минералы ассоциируют в основном с касситеритом. Промышленное значение этих месторождений невелико. Помимо описанных Бейтсом сподуменовых, сподумено-лепидолитовых и лепидолитовых пегматитов США, важную роль играют также петалитово-лепидолитовые пегматиты Южной и Юго-Западной Африки, Австралии, из которых поступает более 40% мировой добычи литиевого сырья. В СССР детально изучены вопросы геохимии лития (работы А. И. Гинзбурга, Ю. А. Слепнева и др.). — *Прим. ред.*

- Kesler T. L. (1942). The tin-spodumene belt of the Carolinas, U. S. Geol. Survey Bull., 936-J.
- Landolt P. E. (1957). New horizons for lithium, Min. Eng., 9, 460—464.
- Norman J., Gieseke E. W. (1942). Beneficiation of spodumene rock by froth flotation, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 347—355.
- Norton J. J., Schlegel D. M. (1955). Lithium resources of North America, U. S. Geol. Survey Bull., 1027-G.
- Page L. R. (1954). Petrology of spodumene-bearing pegmatites, Bull. Geol. Soc. Amer., 65, 1293.
- Page L. R., et al. (1953). Pegmatite investigations, 1942—1945, Black Hills, South Dakota, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 247, 53—58.
- Roos A. (1926). Mining lepidolite in New Mexico, Eng. and Min. Jour.-Press, 121, 1037—1042.
- Rowe R. B. (1954). Pegmatite lithium deposits in Canada, Econ. Geology, 49, 501—515.
- Schaller W. T. (1925). The genesis of lithium pegmatites, Amer. Jour. Sci., 10, 269—279.
- U. S. Bureau of Mines (1948). Investigation of the Mateen spodumene deposit, Pennington County, S. D., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4339.
- Ver Planck W. E. (1957). Lithium and lithium compounds, Calif. Div. Mines Bull., 176, 307—312.
- Williamson D. R. (1958). Lithium, Colo. School of Mines, Min. Ind. Bull., 1, № 2.

БЕРИЛЛ

Введение

Берилл — алюмосиликат бериллия, имеющий формулу $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$. Теоретическое содержание BeO в этом минерале равно 14%, но в большинстве природных образцов содержится только 12% или меньше, так как некоторая часть бериллия в действительности замещена щелочами, преимущественно натрием, литием и цезием. Берилл обычно встречается в виде простых призматических гексагональных кристаллов, размеры которых колеблются от микроскопических до гигантских (один или более футов в диаметре и несколько футов в длину). Часто кристаллы заметно утончаются по направлению к одному или обоим концам. Кроме того, берилл встречается в виде изометричных кристаллов и зернистых масс. Ксеноморфные зерна берилла можно спутать с кварцем, к которому он близок по удельному весу и характеру излома; однако он несколько тверже кварца, имеет слабо жирный, а не стеклянный блеск и может обладать несовершенной базальной спайностью. В отличие от обычно распространенного молочного кварца берилл в большинстве случаев окрашен в голубой или зеленый цвет (ярко-зеленый берилл называется изумрудом, а голубая и цвета морской волны разновидности берилла — аквамарин). Берилл может быть как прозрачным, так и почти непрозрачным.

Промышленные скопления берилла встречаются только в пегматитах и некоторых жилах; берилл обычно связан с определенными группами пегматитов или распространен в пределах отдельных участков. В США практическую ценность представляют кристаллы, которые легко отобрать вручную, т. е. размером не меньше 1 дюйма; в других странах, где рабочая сила дешевле, размер извлекаемых кристаллов снижается примерно до $1/2$ дюйма. На промышленных месторождениях для получения 1 т товарного концентрата берилла вручную перебирается около 30 т породы. Поэтому лишь немногие пегматитовые тела разрабатываются только на берилл. Обычно он почти всегда извлекается в качестве побочного или одного из основных полезных ископаемых при добыче слюды, полевого шпата или других пегматитовых минералов.

Добыча крупнокристаллического берилла в США далеко не удовлетворяет существующие потребности промышленности, в результате чего стоимость берилла очень высока и его необходимо импортировать в больших количествах. Снизить себестоимость берилла и увеличить его добычу можно за счет использования тонкозернистого берилла из низкокачественных месторождений. Однако проблема отделения тонкозернистого берилла от сопутствующих минералов не решена в промышленном масштабе. Для разработки дешевого и эффективного метода извлечения берилла проводились непрерывные исследовательские работы, особенно в Горном бюро США (Kennedy, O'Meara, 1948; Runke, 1954; Snedden, Gibbs, 1947).

Кроме того, большое внимание уделялось разработке полевых методов обнаружения бериллия (Kulcsar, 1943) и лабораторных методов (Stevens, Cargon, 1946). В 1958 г. появилось описание портативного сцинтилляционного счетчика, или «бериллометра» (Brownell, 1958).

Свойства и применение

Берилл ценится главным образом как единственный промышленный источник металлического бериллия. Более 90% всего потребляемого бериллия используется в качестве легирующей примеси в сплавах, в основном в сплавах с медью. Количество примеси бериллия в этих сплавах составляет до 4%. Добавление 2,5% бериллия к меди дает сплав, который после термической обработки становится тверже чистой меди и в несколько раз прочнее ее. Сплавы меди с бериллием обладают большой электро- и теплопроводностью, при этом не искрят, немагнитны, а кроме того, противостоят уста-

лости, коррозии и снашиванию. Из этих сплавов изготавливают множество специальных деталей, которые сильно снашиваются, а также специальные пружины (surgent-carrying-springs) для приборов, правильных молотов, переключателей и других целей. Кроме того, из этих сплавов делают неискрящие резцы, применяемые в тех случаях, когда использование остальных резцов было бы не безопасным. Бериллий также сплавляют с цинком, никелем и другими металлами. Применяется он и в атомной промышленности, особенно как замедлитель и отражатель нейтронов.

Оксид бериллия (BeO) обладает высокой огнеупорностью. Это вещество отдельно или в смеси с карбидом бериллия применяется в производстве некоторых жаропрочных керамических изделий, таких, как авиационные свечи зажигания и сверхвысококачественные изоляторы (в небольших количествах берилл как таковой применяется в качестве огнеупоров). Кроме того, существует еще несколько соединений бериллия, которые применяются в промышленности или имеют потенциальное значение.

Первосортный порошкообразный металлический бериллий в 1958 г. стоил около 100 долл. за фунт, а огнеупорная оксид бериллия — 15—18 долл. за фунт.

Бериллиевые порошок, пыль и дым очень ядовиты для кожи и легких; на всех заводах, где с этим металлом соприкасаются, необходимо строго соблюдать технику безопасности и иметь надлежащие спасательные средства. Разработка тщательных методов производства при работах с бериллием сделала настолько безопасными эти работы, что их уже можно сравнивать с работой на безвредных предприятиях.

Производство

По сравнению с большинством других минералов, используемых в промышленности, берилл добывается в небольших количествах. В 1945 г. мировая добыча берилла составляла 1085 коротких тонн, а в 1957 г. — 11 300 коротких тонн¹. В последнюю цифру включены данные по добыче в 20 странах. Первые места по добыче берилла, которые несколько меняются год от года, занимали Бразилия, Аргентина, Южно-Африканская Республика, Родезия, Ньясаленд и Мозамбик.

¹ В 1962 г. мировая добыча берилла составила 8200 т (7440 т берилла ручной сортировки и 760 т бертрандитово-бериллового материала с содержанием BeO соответственно 11 и 3,05%). Главнейшие производители — Бразилия, Уганда, Мальгашская Республика, Аргентина. — *Прим. ред.*

США находятся значительно ниже в этом списке. Добыча в США в 1957 г. составляла 521 короткую тонну, или менее 5% общей мировой добычи. Стоимость бериллиевого сырья в США составляет в среднем 529 долл. за тонну, а стоимость импортного сырья — 346 долл. за тонну или 2 522 000 долл. за весь импорт.

В последние годы на первые места по добыче берилла в США выдвинулись штаты Южная Дакота, Нью-Мексико, Колорадо и Нью-Гэмпшир. В каждом из этих штатов количество добытого берилла резко колеблется год от года. В период с 1949 по 1953 г. в штате Южная Дакота было добыто 39% всего тоннажа добычи берилла в США, в Нью-Мексико — 1,9%, в Колорадо — 17%, в Нью-Гэмпшире — 14%, а в прочих штатах — 11%. Однако в 1957 г. в Южной Дакоте было добыто 51% всего тоннажа добычи берилла в США, в Колорадо — 35%, в Нью-Мексико 6%, а во всех прочих штатах — только 8%.

Месторождения района Блэк-Хилс, штат Южная Дакота

Поскольку берилл добывается из тысяч пегматитов, широко распространенных во многих странах, то здесь невозможно описать все месторождения этого минерала. В США важные месторождения расположены в районе Блэк-Хилс в штате Южная Дакота (Page et al., 1953; Tullis, 1952); они считаются в общем представительными месторождениями берилла.

Берилл добывается здесь на двух пегматитовых полях, расположенных в южной части района Блэк-Хилс по окраинам батолита Харни-Пик в округах Кастер и Пеннингтон. Наиболее важное из них — это участок Кейстон, который расположен в северо-восточной краевой части батолита Харни-Пик. Другое пегматитовое поле — Кастер — расположено в юго-западной краевой части этого батолита. Районы этих месторождений характеризуются гористым рельефом с абсолютными отметками 4—6 тыс. футов. Растительность представлена преимущественно сосновыми деревьями, разбросанными или образующими небольшие отдельные залесенные участки.

Ни одно из пегматитовых тел не разрабатывается только на берилл; этот минерал получают в качестве побочного полезного ископаемого при добыче слюды, полевого шпата или литиевых минералов. Ежегодно добычей берилла занимаются от 50 до 75 компаний, товариществ и отдельных лиц. На некоторых месторождениях суммарная добыча берилла состав-

ляет всего несколько фунтов, тогда как на других — многие тонны. В более крупных и более богатых пегматитах содержится только 0,5—1,0% берилла; иначе говоря, этот минерал всегда аксессуарный и никогда не преобладает в породе. Содержание BeO в бериллах, отобранных вручную на различных рудниках, колеблется от 9,72 до 12,70% (Page et al., 1953).

Пегматиты обоих полей докембрийские и обычно приурочены к кристаллическим сланцам вблизи с интрузией Харни-Пик. Все пегматиты, обогащенные бериллом, имеют зональное строение. В небольших количествах берилл встречается в краевой и боковой зонах и в еще меньших количествах — в ядре, но больше всего берилла добывают из промежуточных зон. Минералы, сопутствующие бериллу, представлены в основном альбитом, пертитом, кварцем и мусковитом. Берилл особенно обилен в зонах слюдяной мелочи, где преобладает альбит; действительно, наиболее крупные скопления берилла встречаются в тех пегматитах, в которых содержится много альбита. Протяженность бериллсодержащей зоны зависит от протяженности зоны и самого пегматита. Ширина бериллсодержащих зон составляет в среднем 5—6 футов, а глубина довольно изменчива. В пределах какой-либо одной зоны содержание берилла резко меняется, и в ней могут встречаться богатые скопления. В одной из залежей массивный кристалл берилла весом 61 т простирался почти поперек всей бериллсодержащей зоны. Очень крупные кристаллы могут выходить даже за пределы той зоны, в которой берилл обычно встречается. Горняк может извлечь многие тонны берилла из такого кристалла, а затем не встретит вообще кристаллов берилла в продолжение нескольких дней и даже недель работы.

Кроме массивных кристаллов разнообразных размеров, берилл встречается также в виде скелетных («shell») кристаллов. Такие кристаллы состоят из внешней берилловой скорлупки с нормальной гексагональной кристаллической формой, в которую заключена неоднородная смесь других минералов, главным образом кварца и полевого шпата, а также небольшого количества мусковита и турмалина. Скелетные кристаллы могут достигать нескольких дюймов в диаметре и иметь размеры более фута в длину с толщиной бериллового слоя около одного дюйма. Конечно, эти кристаллы менее ценны, чем массивные, так как ручная отборка берилла в этом случае очень трудоемка.

Содержания BeO несколько различаются в бериллах из разных залежей, а иногда даже в бериллах, отобранных из

разных участков одной залежи. Главная причина такой неустойчивости состава заключается в различном содержании щелочей (Na_2O , Li_2O , Cs_2O). Как показатель преломления, так и цвет берилла меняются с изменением его химического состава; таким образом, по окраске берилла можно уже в поле приблизительно судить о его составе. Белые, очень бледно-голубые, сине-зеленые и розовые бериллы имеют высокие показатели преломления и содержат менее 12% BeO , тогда как бериллы зеленой, желтовато-зеленой, золотисто-желтой и бледно-бурой окраски имеют низкие показатели преломления и содержат больше BeO (Page et al., 1953). Качество берилла может зависеть от минеральных включений, встречающихся в некоторых образцах в виде темных участков; они состоят из субмикроскопических зерен и трудно поддаются идентификации.

Довольно крупные кристаллы берилла, отличающегося по цвету от вмещающей породы, легко диагностируются, но верные агрегаты берилла белого цвета или бледных оттенков можно спутать с кварцем, полевым шпатом или амблигонитом. Поэтому при поисках и разведке берилла очень важно хорошо знать физический облик этого минерала, а также его минералогические и структурные взаимосвязи. Поскольку лучшие залежи берилла встречаются в крупнокристаллических альбит-мусковитовых зонах в зональных пегматитах, то, вероятно, разведка этих зон должна дать особенно интересные результаты.

Природа залежей берилла такова, что точные запасы берилла в зонах или пегматитах нельзя подсчитать, поэтому для берилла отсутствуют данные по *достоверным* или *исчисленным* запасам. Наиболее крупные предполагаемые запасы берилла имеются на месторождении Кейстон. В отвалах на рудниках также содержатся довольно большие количества берилла, и некоторую часть этого берилла можно извлечь при ручной переборке отвалов. Наибольшие потенциальные запасы берилла имеются в пегматите Хелен-Берилл (Gries, 1949) в пегматитовом поле Кастер, но берилл здесь очень мелкозернистый и он может быть извлечен только путем помола.

Залежи берилла в районе Блэк-Хилс описаны Пэйджем и др. (Page et al., 1953), а также Таллисом (Tullis, 1952). Геологическое строение одного из важных пегматитов богатого бериллом пегматитового поля Кейстон, а именно пегматита Пирлесс, описано Шериданом и др. (Sheridan et al., 1957).

Прочие месторождения

Значительная часть добычи берилла в США приходится на отдельное пегматитовое тело на руднике Хардинг в округе Таос на севере центральной части штата Нью-Мексико. Это месторождение расположено в сильно изрезанной местности на участке распространения докембрийских пород в западном предгорье хребта Сангре-де-Кристо на высоте около 7400 футов. Главный пегматит Хардинг представляет собой дайкоподобное тело мощностью 40—60 футов, которое полого падает на юг. История разработки этого пегматита довольно интересна. Пегматит Хардинг, известный с 1900 г., впервые начали разрабатывать в 1920 г. на лепидолит и сподумен. В течение последующего десятилетия на восток США было отправлено 12 тыс. т литиевого сырья для применения в стекловарении. Этот рудник не функционировал с 1930 по 1942 г., а затем он снова стал разрабатываться на редкий минерал микролит ($\text{Ca}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$) — танталовую руду. В течение второй мировой войны этот рудник был самым крупным в США по добыче танталовой руды.

В 1947 г. рудник закрылся, но с 1951 г. снова начал действовать, и это месторождение сразу стало самым продуктивным в США по добыче берилла и единственным крупным месторождением, разрабатываемым только на берилл. Белый и розовый берилл встречаются здесь в виде громадных зернистых масс весом до 50 т и более. Содержание BeO в этих скоплениях составляет 11—12%. Пегматит Хардинг четко слоен, причем каждый слой представлен определенным типом пород, и устойчиво занимает определенную позицию в пределах всей дайки, поэтому из пегматита Хардинг можно получать довольно большие количества различных минералов. Большею частью берилл встречается в двух зонах этого кварц-микроклин-альбит-мусковит-апатитового пегматита, одна из которых расположена вблизи нижнего зальбанда дайки, а другая — у верхнего. Верхняя зона более богата бериллом, причем самые крупные скопления берилла встречаются вдоль хорошо выраженных неровностей у контакта всякого бока. Пегматит Хардинг описан Русом (Roos, 1926) и Джастом (Just, 1937), а кратко Джансом и Райтом (Jahns, Wright, 1944). Горное бюро США проводило обширные разведочные работы с опробованием и бурением (Berliner, 1949; Soule, 1946).

Залежи берилла, имеющие практическое или потенциальное значение, обнаружены в трех районах в Скалистых горах

в штате Колорадо. Два из этих района — Кристал-Маунтин, округ Лаример, и Эйт-Майл-Парк, округ Фремонт, — расположены в Передовом хребте, а третий — Кварц-Крик, округ Ганнисон, — расположен на западной стороне континентального водораздела. Пегматиты здесь встречаются в докембрийских метаморфических и изверженных породах. По своим общим чертам эти залежи берилла очень сходны с залежами в районе Блэк-Хилс. Все скопления берилла приурочены к зональным пегматитам, а берилл, который можно извлечь вручную, встречается в наибольших количествах в промежуточных зонах. В боковых зонах некоторых пегматитов содержится много тонкозернистого берилла, который можно извлечь только путем помола. Содержание берилла в продуктивных залежах колеблется от 0,5 до 1,0%, а в нескольких пегматитах до 2%. Общее геологическое строение пегматитового поля Колорадо описано Хэнли и др. (Hanley, 1950), а геология трех вышеперечисленных месторождений — соответственно Тёрстоном (Thurston, 1955), Хейнрихом (Heinrich, 1948) и Стаатцем и Трайтсом (Staatz, Trites, 1955). Арджелл (Argall, 1949) и Уильямсон (Williamson, 1958) составили кадастры бериллоносных пегматитов штата Колорадо.

На месторождениях Новой Англии (Cameron et al., 1954; Cameron, Shainin, 1947) и Бразилии (Johnston, 1945), а вероятно и в большинстве других разрабатываемых месторождений мира, берилл также встречается в промежуточных зонах зональных пегматитов, но имеет несколько иные условия залегания.

В штате Северная Каролина в сподумен-пегматитовом поясе Кингс-Маунтин, описанном на стр. 372, добыча мелкозернистого берилла будет возможна после разработки методов обогащения этого вида сырья. Предполагают, что запасы здесь составляют более 820 тыс. т берилла или в пересчете на BeO — 122 800 т (Griffitts, 1954). Если удастся извлечь все это количество берилла, то картина добычи берилла в США резко изменится и зависимость промышленности от крупнокристаллического берилла, добываемого ручной отборкой из зональных пегматитов, значительно уменьшится¹.

¹ **Заключительные замечания.** Кроме бериллоносных пегматитов, описанных Бейтсом, существуют также грейзеновые и кварцевожильные месторождения, в которых, помимо берилла, присутствуют другие минералы бериллия — бертрандит и иногда гелвин, а также вольфрамит, касситерит, молибденит, флюорит. В настоящее время такого типа месторождения разрабатываются с механическим обогащением. Кроме того, скопления бериллиевых минералов встречаются в ассоциации с шеелитом.

ЛИТЕРАТУРА

- Argall G. O., Jr. (1949). Industrial minerals of Colorado, Colo. School of Mines Quart., 44, № 2, 48—69.
- Berliner M. H. (1949). Investigation of the Harding tantalumlithium deposits, Taos County, N. Mex., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4607.
- Brownell G. M. (1958). A beryllium detector for field exploration, Econ. Geology, 53, 916—917.
- Cameron E. N. et al. (1954). Pegmatite investigations, 1942—1945, New England, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 255.
- Cameron E. N., Shainin V. E. (1947). The beryl resources of Connecticut, Econ. Geology, 42, 353—367.
- Gries J. P. (1949). Sampling of Helen Beryl pegmatite, Custer County, South Dakota, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4396.
- Griffitts W. R. (1954). Beryllium resources of the tin-spodumene belt, North Carolina, U. S. Geol. Survey Circ., 309.
- Hanley J. B., Heinrich E. W., Page L. R. (1950). Pegmatite investigations in Colorado, Wyoming, and Utah, 1942—1944, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 227.
- Heinrich E. W. (1948). Pegmatites of Eight Mile Park, Fremont County, Colorado, Amer. Mineralogist, 33, 420—448.
- Jahns R. H., Wright L. A. (1944). The Harding beryllium-tantalum-lithium pegmatites, Taos County, New Mexico, Econ. Geology, 39, 96—97.
- Johnston W. D., Jr. (1945). Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil, Bull. Geol. Soc. Amer., 56, 1015—1070.
- Just E. (1937). Geology and economic features of the pegmatites of Taos and Rio Arriba Counties, New Mexico, N. M. School of Mines Bull., 13.
- Kennedy J. S., O'Meara R. G. (1948). Flotation of beryllium ores, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4166.
- Kulcsar F. (1943). How prospectors can detect beryllium in ores, Eng. and Min. Jour., 144, № 12, 103.
- Maillet E. E., Boos M. F., Mosier M. (1949). Investigation of Black Mountain beryl deposit, Oxford County, Maine, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4412.
- Page L. R. et al. (1953). Pegmatite investigations, 1942—1945, Black Hills, South Dakota, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 247.
- Roos A. (1926). Mining lepidolite in New Mexico, Eng. and Min. Jour.-Press, 121, 1037—1042.
- Runke S. M. (1954). Petroleum sulfonate flotation of beryl, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 5067.
- Sheridan D. M. et al. (1957). Geology and beryl deposits of the Peerless pegmatite, Pennington County, South Dakota, U. S. Geol. Survey Prof. Paper 297-A.
- Snedden H. D., Gibbs H. L. (1947). Beneficiation of western beryl ores, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4071.
- Soule J. H. (1946). Exploration of Harding tantalum-lithium deposits, Taos County, N. M., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 3986.

том и вольфрамитом в скарнах и метасоматических флюоритовых месторождениях в известняках. Геохимия и месторождения берилля наиболее полно рассматриваются в работах А. А. Бейса, — *Прим. ред.*

- Staatz M. H., Trites A. F. (1955). Geology of the Quartz Creek pegmatite district, Gunnison County, Colorado, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 265.
- Stevens R. E., Carron M. K. (1946). Determination of beryllium in Ores, U. S. Geol. Survey Bull., 950, 91—119.
- Thurston W. R. (1955). Pegmatites of the Crystal Mountain district, Larimer County, Colorado, U. S. Geol. Survey Bull., 1011.
- Tullis E. L. (1952). Beryl resources of the Black Hills, South Dakota, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4855.
- Williamson D. R. (1958). Beryllium, Colo. School of Mines, Min. Ind. Bull., 1, № 1.

**ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО
И МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ (жильные
и метасоматические минералы)**

Рассматриваемые в настоящей главе полезные ископаемые — это скопления минералов, отложившихся в земной коре из горячих водных растворов магматического происхождения на глубине от первых сотен до немногих тысяч футов при умеренном и высоком общем давлении. Гидротермальные растворы проникают в сторону от породивших их магматических тел по сбросам, сколовым зонам, трещинам отдельности и другого типа трещинным структурам. Полости, связанные с этими тектоническими элементами, также становятся вмещением минеральных месторождений. Главный процесс формирования месторождений этой группы — выполнение полостей и последовательный рост кристаллов от стенок к центральным частям пустот. Наиболее распространенный морфологический тип месторождений — таблитчатые или листоватые жилы выполнения трещин, или, как их обычно называют, просто жилы, приуроченные к какому-либо типу трещинных структур, перечисленных выше. Разновидности жильных месторождений представлены гнездообразными залежами, брекчированными зонами и штокверками пересекающихся прожилков.

Осаждение минерального вещества в открытых полостях горных пород регулируется многочисленными факторами. Один из таких факторов — потеря тепла. Гидротермальные растворы начинают свое движение очень горячими (вероятно, находятся в газообразном состоянии), а затем постепенно охлаждаются по мере удаления от своего источника. Скорость охлаждения растворов зависит от количества растворов, теплопроводности пород, сквозь которые просачиваются растворы, а также характера используемых ими каналов. Второй фактор, регулирующий осаждение минералов, — уменьшение гидростатического давления. Падение гидростатического напора происходит, видимо, постепенно, если прохождению растворов не препятствуют осажденные минералы или какие-либо иные причины, создающие локальное возрастание давления. По мере уменьшения гидростатического давления и

температуры растворов можно ожидать выпадения растворенного минерального вещества.

Реакции гидротермальных растворов с проницаемыми ими горными породами, играющие важную роль в формировании руд металлов, не имеют большого значения при образовании месторождений неметаллических полезных ископаемых. В самом деле, отсутствие таких реакций не в меньшей степени сказывается на образовании новых минералов, чем их наличие. Так, при образовании бразильских месторождений горного хрусталя, локализующихся обычно в кварцитах, существенно кремнеземистый состав вмещающих пород, несомненно, препятствовал потере кремнезема из растворов за счет возможных реакций с этими породами. Природа жильных месторождений флюорита и барита, видимо, в меньшей степени определяется химическим составом вмещающих пород, нежели их физическими свойствами. Особое значение имеют хрупкость горных пород, способствующая возникновению брекчированных зон вдоль разломов, а также прочность пород, обеспечивающая существование открытых трещин. Промышленные жилы флюорита и барита приурочены к известнякам, доломитам, кварцитам, гранитам и вулканическим породам.

В определенных условиях, однако, взаимодействие между растворами и породами, сквозь которые они просачиваются, столь интенсивно, что состав породы изменяется полностью. Такое преобразование состава породы называется *метасоматическим замещением*; при этом удаляются одни минералы, и почти одновременно вместо них отлагаются другие. Такой процесс довольно труден для понимания. Видимо, он представляет собой обмен частицами порядка молекул и атомов в результате ионной диффузии на коротком расстоянии перед перемещающимся фронтом метасоматоза, который поддерживается непрерывным и постоянным подтоком раствора, просачивающегося по плоскостям кливажа и слоистости, тончайшим трещинкам и другим поровым пространствам в породе. Наиболее восприимчивы к метасоматозу карбонатные породы: метасоматические тела флюорита обнаруживаются главным образом в известняках, а барита — в доломитах. Крупные месторождения барита приурочены также к сланцеватым мергелям. Почти всегда метасоматоз проявляется избирательно, например, в толще известняков замещаются лишь определенные пласты. Подобная селективность процесса, вероятно, объясняется различиями состава и строения пластов. В некоторых месторождениях на пути восходящих растворов находились пласты глинистых сланцев, которые вынуждали растворы

распространяться в боковом направлении и замещать благоприятные для метасоматоза пласты.

Горный хрусталь, флюорит и барит образуются за счет веществ, привнесенных извне во вмещающие эти минералы породы. С другой стороны, магнезит, очевидно, частично образуется за счет переотложения богатыми углекислотой растворами вещества магнезиальных пород, к которым и приурочены скопления этого полезного ископаемого. Наиболее крупные месторождения магнезита представляют собой метасоматические залежи в доломитах и серпентинитах.

Метасоматоз проявляется не только в породах, удаленных от интрузивных тел, но иногда и в породах, непосредственно контактирующих с интрузивами; в некоторых случаях замещению подвергаются сами магматические породы. В таких случаях метасоматические процессы более или менее произвольно рассматриваются как проявления метаморфизма, который кратко обсуждается в вступительном разделе гл. 9.

Процессы выполнения пустот и метасоматоз более важную роль играют при формировании крупных рудных месторождений, чем при образовании неметаллических полезных ископаемых. Расшифровка этих процессов имеет решающее значение для понимания рудных месторождений. Более полное рассмотрение этих процессов можно найти в работах Линдгрена¹ и Бэтмана².

ГОРНЫЙ ХРУСТАЛЬ

Введение

История использования горного хрусталя уходит в глубь веков. Уже за 2 тыс. лет до н. э. египтяне применяли горный хрусталь в великолепных произведениях искусства, инкрустируя его золотом, серебром, эмальями. Особый интерес в качестве поделочного и полудрагоценного камня представляют собой совершенно прозрачные кристаллы горного хрусталя, его друзы, дымчатый кварц, а также фиолетовые (аметист) и желтые (цитрин) его разновидности.

Из прозрачных кристаллов кварца изготавливаются призмы, клинья и линзы для микроскопов и других оптических приборов. Частично оптический кварц может быть заменен чистокремнеземистым стеклом, которое получают плавлением про-

¹ Lindgren W. (1933). *Mineral Deposits*, 4th. ed., New York, McGraw-Hill, 144—202.

² Bateman A. M. (1950). *Economic Mineral Deposits*, 2nd. ed., New York, Wiley, 94—163.

зрачного кварца. Однако использование кварца как оптического материала имеет меньшее значение, чем применение его в радио- и радарной технике и ультразвуковых приборах. Эти виды использования кварца — наиболее важные в настоящее время.

История развития промышленного использования кварца

В 1880—1882 гг. Пьер и Жак Кюри установили, что если к кристаллу кварца в определенном направлении приложить давление, то в нем возникает электрический заряд, и, наоборот, в электрическом поле кристалл кварца механически деформируется. В течение многих лет это свойство кварца: получившее название *пьезоэлектрического эффекта*, было лишь объектом лабораторных исследований. Пьезоэлектрический эффект был установлен также и у многих других веществ. В конце первой мировой войны во Франции начали использовать пьезокварц в ультразвуковых приборах, предназначенных для обнаружения подводных лодок. В 1921 г. физик Кэди из Уэслианского университета установил, что тонкие пластинки, вырезанные определенным образом из кристаллов кварца, можно использовать для контроля частоты в радиоосцилляторных контурах. Это открытие положило начало новейшему использованию кристаллов кварца.

Тонкая облатка кристалла кварца диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма и толщиной всего несколько тысячных долей дюйма вырезается таким образом, что ее естественная частота механической вибрации соответствует частоте электрического тока в приборе, для которого предназначена пластинка. В радиопередатчиках и в радиоприемниках такие кварцевые пластинки играют роль стабилизатора частот, препятствующего их изменению, сильно уменьшают интерференцию волн и играют роль фильтров, пропускающих лишь волны определенных узких пределов частоты. Таким образом, кварцевые пластинки и держат радиопередачу на определенной «волне». Кварц как пьезоматериал оказался наиболее подходящим по сравнению с другими веществами, обладающими пьезосвойствами, с связи с его физической устойчивостью, высокой упругостью и достаточно широким распространением в природе.

Открытие Кэди было сделано как раз в тот период, когда радиовещание получало широкое распространение; это вызвало быстрое увеличение потребности в кварцевых пластинках в 20-х и 30-х годах. В 1939 г. в США было изготовлено приблизительно 50 тыс. кварцевых пластинок. Затем наступило

пила вторая мировая война. Возникла потребность в оснащении радиоприборами тысяч танков, самолетов, кораблей, артиллерийских орудий, войсковых соединений, причем все они должны были иметь надежную радиосвязь. Кварцевые пластинки были необходимы для каждой волны радиопередающих и радиоприемных устройств; некоторые передвижные радиостанции должны были работать с волнами более сотни частот. Наконец, ко всей этой радиоаппаратуре потребовались полные комплекты запасных пластинок. Начиная с 1941 г. «армейские службы начали требовать просто фантастические количества кварцевых пластинок, буквально десятки миллионов» (Frondel, et al., 1945, стр. 206). С января 1942 г. до конца войны вооруженные силы получили более 70 млн. кварцевых пластинок.

Удовлетворение этой огромной потребности в пьезокварце столкнулось с трудностями преимущественно геологического характера. 1. Хотя кварц один из самых распространенных минералов, но только ничтожная часть его кристаллов оказалась пригодной в качестве пьезосырья. Кварцевые кристаллы для изготовления пьезопластинок должны быть прозрачными и лишенными любых дефектов. Не допустимы помутнение, двойники и какие-либо включения. 2. Пьезокварц добывался в значительных количествах (и добывается) лишь в Бразилии. Вследствие этого весь пьезокварц, использованный в США и в союзных с ними странах, был импортным. В 1942 г. в связи с угрозой нападения подводных лодок в Карибском море и Атлантическом океане, он доставлялся в США и даже в Англию на самолетах. 3. Пьезокварц в Бразилии встречается в сотнях мелких жил и в аллювиальных отложениях, развитых на площади в тысячи квадратных миль в редко населенной области (фиг. 7.4). 4. Многие из этих месторождений непригодны для механизированной разработки и традиционно эксплуатируются местным населением примитивными методами. Существовали и многочисленные другие проблемы, в том числе сооружение необходимых предприятий по производству кварцевых пластинок. Общая стоимость программы развития пьезокварцевой промышленности составила более одной трети миллиарда долларов.

Краткий обзор проблем пьезокварцевой промышленности был опубликован в 1945 г. (Frondel et al., 1945).

После войны потребность в пьезокварце резко упала, и в 1949 г. в США было выпущено менее 1 млн. пьезоэлектрических пластинок. Однако уже в следующем году начался умеренный рост производства, и в 1957 г. было выпущено 5 360 000 осцилляторных и близких к ним по назначению

пластинок¹. Этот рост потребления пьезокварца связан с его использованием в радиолокационных установках, телевидении, радиоприемниках, длиннодистанционных телефонных цепях с автоматическим регулированием многоканальных переговоров и др.

Были найдены заменители пьезокварца, особенно для ультразвуковой техники. Однако более важное значение имело развитие производства синтетических кристаллов кварца. Синтетические кристаллы кварца были получены, но в 1957 г. этот процесс находился еще в опытно-заводской стадии. Хотя производство синтетического кварца и сможет обеспечить потребности в этом материале, тем не менее будут использоваться и естественные кристаллы.

Несмотря на интенсивные поиски, проведенные геологами федеральной и штатной служб, в США не удалось выявить сколько-нибудь крупных месторождений пьезокварца. Лишь небольшие месторождения были обнаружены в Арканзасе и Оклахоме (Engel, 1952; Miser, 1943), Калифорнии (Durrell, 1945), Айдахо (Herdlick, 1948) и Виргинии (Bell, Hickman, 1950).

Во время войны на средства Форин экономик администрейшен месторождения Бразилии были изучены местными геологами в сотрудничестве с Геологической службой США. Результаты этих исследований опубликованы в работах Кемпбелла (Campbell, 1946), Джонстона и Батлера (Johnston, Butler, 1946), Керра и Эриксена (Kerr, Erichsen, 1942), Науца (Knouse, 1947), а также Штойбера и др. (Stoiber et al., 1945). Сжатая общая картина геологического строения бразильских месторождений пьезокварца приводится в статье Джонстона и Батлера, на данных которой основано приводимое ниже описание.

Месторождения Бразилии

Главнейшие хрусталеносные районы, из которых преимущественно поступает мировая продукция пьезокварца, распо-

¹ Потребление природного пьезокварца возрастает. Так, в США было ввезено в 1961 г. 762 тыс. фунтов, а в 1962 г. 731 тыс. фунтов пьезооптического кристаллосырья наряду с использованием искусственного пьезокварца в 1962 г. в количестве 19 500 фунтов (что в 3 раза больше, чем в 1961 г.). Производство пьезокварцевых пластинок в 1962 г. составило 11 787 тыс. шт. (в 1961 г. 9822 тыс. шт.). Главные производители горного хрусталя — Бразилия (около 3,5 млн. фунтов) и Мальгашская Республика (53 тыс. фунтов, в том числе 23,6 тыс. фунтов ювелирного сырья). Технология производства и использования синтетического пьезокварца непрерывно совершенствуется. — *Прим. перев.*

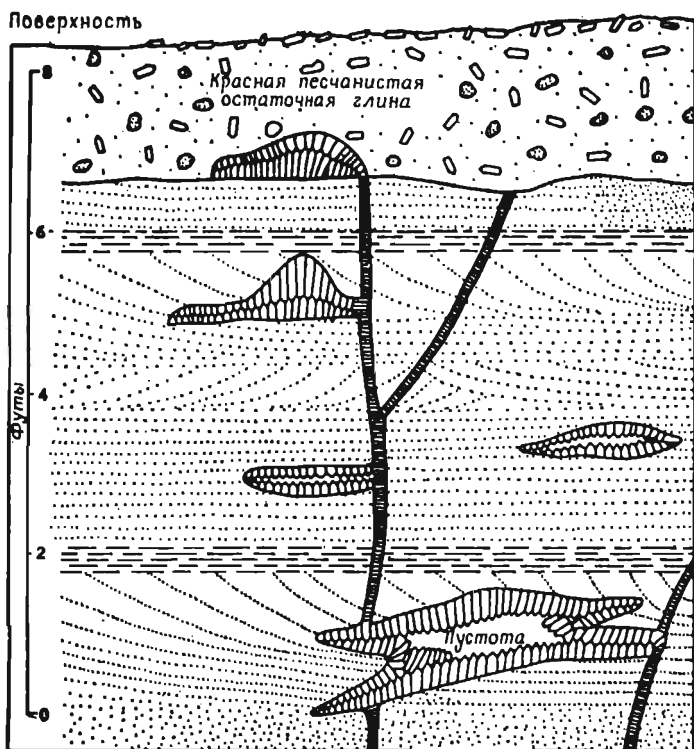
ложены на бразильском «альтиплано» — огромном плато, сложенном докембрийскими и нижнепалеозойскими породами. Это плато расчленено потоками, стекающими на север в бассейн Амазонки, на восток — к берегу океана или на юг в бассейн Параны. Месторождения пьезокварца располагаются в штатах Минас-Жераис, Гояс и Баия, к северу и западу от слюдоносной провинции, рассмотренной выше (стр. 363, фиг. 7.4). В отличие от слюдоносных пегматитов, преимущественно приуроченных к древнему кристаллическому комплексу, месторождения пьезокварца локализованы в более молодых осадочных породах, возраст которых колеблется от верхнего докембрия до силура. Коренные месторождения местами сопровождаются остаточными и аллювиальными отложениями.

Главные хрусталеносные месторождения представлены жилами, трубчатыми телами, гнездообразными и штокверковыми залежами, а также телами более сложной и неправильной формы (фиг. 8.1). На некоторых месторождениях присутствуют полого залегающие тела, согласные со слоистостью вмещающих пород. Месторождения кварца приурочены к существенно кремнеземистым породам и особенно многочисленны в косослоистых кварцевых песчаниках и кварцитах позднего докембрийского возраста. Кроме того, они локализованы в глинистых сланцах, слюдяных кристаллических сланцах и приурочены к поверхности налегания силурийских глинистых сланцев на докембрийские граниты.

Как правило, месторождения преимущественно сложены грубокристаллическим жильным кварцем молочно-белого или серого цвета. Акцессорные минералы немногочисленны и сравнительно редки. Кварц нарастает от стенок внутрь жил, образуя зубчатые полосы, сложенные тесно сближенными пирамидальными кристаллами, получившими название *гребенчатого кварца* (comb quartz). Нередко наблюдается взаимное проникновение щеток кристаллов, растущих от противоположных стенок. Многочисленны пустоты, ограниченные гранями кристаллов, иногда полые, а иногда выполненные глинистым материалом. Кристаллизация осуществлялась в крупном масштабе: многие пустоты столь велики, что в них свободно может встать человек во весь рост, а кристаллы весом более тонны не редки¹.

¹ В штате Гояс был обнаружен кристалл весом свыше 44 т, а на одном из месторождений штата Минас-Жераис из группы кристаллов, вес которых оценивался свыше 120 т, было получено около 2 т прозрачного кварца. В СССР, в Балхашской степи, встречен кристалл молочно-белого кварца весом около 14 т. — *Прим. перев.*

Крупные кристаллы прозрачного кварца необычайно редки. Пьезокварцевые кристаллы обычно имеют небольшие размеры, вес их в большинстве случаев не превышает половины фунта. Основная масса пьезокварцевого сырья встре-



Фиг. 8.1. Локализация кристаллов кварца в косослонистых песчаниках. Зарисовка шурфа в штате Гояс, Бразилия. Кондиционный чистый кварц, составляющий лишь незначительную часть общей массы кристаллов кварца, присутствует в головках крупных мутных кристаллов («pullquartz»). (По работе Johnston, Butler, 1946, 618.)

чается в виде прозрачных окончаний пирамидальных кристаллов окрашенного кварца, от которого пьезокварц легко отделяется. Мутный окрашенный кварц сам по себе не представляет никакой ценности. Соотношение кондиционных кристаллов ко всему объему жильного кварца сильно колеблется на отдельных месторождениях, но в общем оно составляет 1:10 000 (0,01%). На одном из относительно богатых месторождений в восточной части штата Минас-Жераис из кварце-

вых кристаллов общим весом 242 тыс. фунтов (110 т) было получено 3960 фунтов прозрачного кварца (1,6%).

Многие прозрачные кристаллы кварца непригодны в качестве пьезокварцевого сырья в связи с присутствием в них двойников. Другие дефекты — фантомы, или фигуры роста внутри кристаллов, образуемые очень тонкими глинистыми частичками, которые оседали, вероятно, на грани из раствора на каких-то этапах роста кристаллических индивидов. К числу дефектов относятся жидкие включения, размеры которых иногда достигают нескольких кубических сантиметров, а также редкие включения иголочек рутила и вроски других минералов.

Предполагается, что процесс формирования месторождений пьезокварца представлял собой выполнение трещин и пустот посредством кристаллизации из водных растворов в условиях умеренных температур. Обычно проявляется также некоторое незначительное замещение вмещающих пород, о чем свидетельствуют кристаллы, растущие во внешнюю сторону от стенок жил. Необходимо отметить, что между жильным кварцем месторождений горного хрусталя и кварцем бразильских пегматитов, который кристаллизовался в них последним, нет никаких существенных различий. Более того, в незначительных количествах пьезокварцевое сырье извлекали и из пегматитов. Джонстон и Батлер (Johnston, Butler, 1946, стр. 640) пришли к выводу, что пегматиты и хрусталеносные кварцевые жилы генетически тесно связаны, при этом первые возникли за счет обогащенных кремнеземом растворов, остаточных по отношению к этапу формирования пегматитов. Такое предположение кажется неправдоподобным, поскольку хрусталеносные жилы и пегматиты пространственно разобщены на расстояния от 50 до нескольких сот миль (фиг. 7.4). В результате изучения стратиграфического разреза и определений абсолютного возраста пегматитов по радиоактивным минералам выяснилось, что становление как пегматитов, так и хрусталеносных жил происходило в раннем палеозое, вероятно в силурийское время или несколько позже.

Хрусталеносные гнезда и жилы в коренных породах могут быть перекрыты рыхлыми элювиальными отложениями, содержащими обильные включения обломков кварца. Такие остаточные продукты выветривания не только способствуют поискам первичных месторождений пьезокварца, но и сами по себе представляют важный его источник. В аллювиальных месторождениях, связанных с руслами современных и древних потоков, присутствует довольно много кондиционных кри-

сталлов пьезокварца; это обусловлено механическим воздействием на кварцевые кристаллы в процессе их транспортировки, в связи с чем менее прочные из них с некоторой трещиноватостью разрушаются быстрее, тогда как наиболее прочные и целостные кристаллы лучше всего сохраняются. Аллювиальные обломки кристаллов кварца могут быть округлыми и с матовой поверхностью, в связи с чем для оценки их качества в поле необходимо удалять матовую поверхностную пленку. В одном из шурфов в штате Минас-Жераис были вскрыты в пределах вертикального интервала около 45 футов девять слоев грубого хрусталеносного галечника, разделенных пропластками глин (Johnston, Butler, 1946, стр. 631). Основная часть наиболее высококачественного сырья в Бразилии добывается на многочисленных мелких месторождениях. Эксплуатационные работы здесь производятся при помощи сотен мелких шурфов, в большинстве случаев обслуживаемых одним или несколькими рабочими. Работы ведутся вручную с использованием кирки, лопаты и простейшего воротка. Примитивные приемы ведения горных работ хорошо видны на фотографиях, приведенных в статье Джонстона и Батлера (Johnston, Butler, 1946). Нижняя граница отработки определяется исчезновением кристаллов кварца, но в большинстве случаев конечная глубина горных выработок ограничивается увеличением стоимости работ или трудности проходки, а также притоком воды. Огромное количество вынимаемой вручную пустой породы сильно удорожает стоимость горных работ и создает большие трудности при ее выемке. На несколько более крупных рудников в период второй мировой войны были завезены скреперы, бульдозеры, буровые станки и другое оборудование. Однако к началу 1940 г. мобильность могущественнейших армий мира зависела почти целиком от деятельности нескольких сот старателей, разрабатывавших примитивными методами каждый свой участок посредством мелких карьерчиков на огромной необжитой территории, вдвое превышающей по площади штат Техас. Добыча пьезокварца в Бразилии находится под правительственным контролем, который проявляется как в установлении цены, так и кондиций. Пьезокварц поступает из внутренних районов страны в какой-либо из крупных экспортных центров — в Рио-де-Жанейро, Сан-Сальвадор или Баию, где сырье перед отправкой за океан официально проверяется¹.

¹ **Заключительные замечания.** СССР располагает значительной сырьевой базой горного хрусталя, налажено производство синтетического пьезокварца. Проведены обширные минералого-геологические исследования, позволившие систематизировать представления о происхождении и усло-

ЛИТЕРАТУРА

- Bell J. E., Hickman R. C. (1950). Investigation of the Clinton Jackson quartz crystal deposits, Carroll County, Va U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4630.
- Campbell D. F. (1946). Quartz crystal deposits in the state of Goiaz, Brazil, Econ. Geology, 41, 773—799.
- Durrell C. (1945). Geology of the quartz-crystal mines near Mokelumne Hill, Calaveras County, California, Calif. Jour. Mines and Geology, 40, 423—433.
- Engel A. E. J. (1952). Quartz crystal deposits of western Arkansas, U. S. Geol. Survey Bull., 973-E.
- Fron del C. et al. (1945) Symposium on quartz oscillator-plates, Amer. Mineralogist, 30, 5—6, 205—468.
- Herdlick J. A. (1948). Be Van quartz crystal prospect, Lembi County, Idaho, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4209.
- Johnston W. D., Jr., Butler R. D. (1946). Quartz crystal in Brazil, Bull. Geol. Soc. Amer., 57, 601—649.
- Kerr P. F., Erichsen A. I. (1942). Origin of the quartz deposit at Fazenda Pacú, Brazil, Amer. Mineralogist, 27, 487—497.
- Knouse F. L. (1947). Deposits of quartz crystal in Espirito Santo and eastern Minas Gerais, Brazil, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 173—184.
- McCormick R. B. (1947). Quartz crystal as a mineral resource, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 62—65.
- Miser H. D. (1943). Quartz veins in the Ouachita Mountains of Arkansas and Oklahoma, Econ. Geology, 38, 91—118.

виях локализации горного хрусталя, что наиболее полно отразилось в сжатой форме в классификации месторождений пьезокварца, предложенной Е. М. Лазько: I — пегматитовые («камерные» пегматиты, жильные пегматиты); II — гидротермальные (рудоносные кварцевые жилы); III — гидротермально-альпийские (кварцевые жилы, минерализованные трещины); IV — латераль-секреционные (альпийские жилы); V — россыпные (элювиальные и делювиальные, аллювиальные россыпи). Эта классификация охватывает больше типов месторождений, чем отмечает Бейтс. Наибольшее промышленное значение имеют гидротермально-альпийские и связанные с ними россыпные месторождения (Бразилия, Мадагаскар, месторождения Якутии, Урала, Памира, Казахстана, россыпи Китая и Мадагаскара). Следующее место занимают пьезокварцевые (в основном мориона) месторождения зональных «камерных» пегматитов, приуроченных к материнским массивам гранитов (СССР, Мадагаскар). Латераль-секреционные альпийские жилы, образующиеся при региональном метаморфизме и по составу тесно отвечающие вмещающим породам, широко известны как источник коллекционного кварца, впервые описанного актичными учеными под названием «хрусталь» (греч. *crystallos*, лат. *crystal-lus*), но имеют ничтожное значение в балансе пьезокварцевого сырья, в связи с низким качеством кристаллов Рудоносные (Sn, W, Mo, Au, полиметаллы) кварцевые жилы и близкие к ним месторождения горного хрусталя в оруденелых скарнах также имеют ничтожное промышленное значение. Обширная отечественная литература по пьезокварцу прежде всего представлена работами Г. Н. Вертушкова, Н. П. Ермакова, А. И. Захарченко, А. Е. Карякина, М. Е. Капелькина, Е. М. Лазько, Л. С. Пузанова, П. П. Токмакова и др. — *Прим. перев.*

- Stolber R. D., Tolman C., Butler R. D. (1945). Geology of quartz crystal deposits, Amer. Mineralogist, 30, 245—268.
- Wright L. A. (1957). Quartz crystal, Calif. Div. Mines Bull., 176, 459—462.

ФЛЮОРИТ

Введение

В природе встречается единственный простой фторид, получивший в минералогии название *флюорит*, а в промышленности — *плавиковый шпат* (fluor spar)¹. Этот минерал имеет состав, отвечающий формуле CaF_2 . Обычно флюорит просвечивает или прозрачен; он бесцветен или окрашен в голубой, фиолетовый, зеленый и желтый цвета. Кристаллизуется он в кубической сингонии и обладает совершенной спайностью по октаэдру. Удельный вес флюорита — 3,18, твердость — 4.

Скопления флюорита представлены агрегатами кубических кристаллов, зернистыми массами и полосчатыми или крустификационными жилами. Встречается он в довольно различных горных породах, обычен в рудных месторождениях и образуется в широком интервале температур. Иными словами, флюорит — «устойчивый минерал», кристаллизующийся совместно с целым рядом других минералов, особенно кальцитом, кварцем и пиритом. В числе других, ассоциирующих с ним минералов можно назвать галенит и сфалерит. В залежах плавикового шпата часто присутствуют включения обломков горных пород. Промышленное значение имеют флюоритовые руды с содержанием не менее 30% CaF_2 .

США — крупнейший в мире потребитель флюорита, и, несмотря на интенсивную отечественную добычу, флюорит также импортируется в больших количествах. В 1957 г. в США было добыто 329 тыс. т, а импортировано 547 тыс. т². Общая стоимость всей этой продукции составила 29 млн. долл.

Более половины флюорита, добываемого в США, поступает из района, расположенного вдоль реки Огайо в южном

¹ Некоторые авторы под понятием «плавиковый шпат» понимают минеральные массы и агрегаты с промышленным содержанием флюорита, как это было предложено Маддом (Industrial minerals and rocks, 2 nd. ed., стр. 381), а также Уильямсом и др. (Williams et al., 1955). Однако большинство исследователей рассматривают термины «флюорит» и «плавиковый шпат» как синонимы.

² Мировое производство флюорита — около 2,5 млн. т и в 1957—1962 гг. ежегодно возрастало примерно на 100 тыс. т. В США в 1962 г. получено 206 тыс. т концентратов, а потребление флюорита (с импортом) составило 652 888 т. Добыча производилась (в порядке уменьшения) в штатах Иллинойс, Кентукки, Монтана, Невада, Колорадо, Юта. — Прим. перев.

Иллинойсе и западной части Кентукки. Остальная часть добычи плавикового шпата почти полностью приходится на многочисленные месторождения штатов района Скалистых гор. Наиболее крупный производитель среди западных штатов — Монтана, за которой в порядке уменьшения их доли в добыче флюорита следуют Нью-Мексико, Юта, Колорадо, Невада и Айдахо. Более половины импорта флюорита поступает из Мексики, меньшие количества — из Италии, Испании, ФРГ и Ньюфаундленда.

Экономические проблемы флюоритовой промышленности были освещены по состоянию на 1948 г. в работе Хэмрика и Воскуила (Hamrick, Vaskuil, 1949). В результате интенсивной разработки месторождений флюорита в США во время второй мировой войны и в послевоенный период запасы высококачественных руд этого вида минерального сырья истощились, и в настоящее время усиленное внимание привлекают проблемы изыскания иных источников фтора, особенно фосфоритов (см. стр. 268).

Свойства и применение

Введение небольших количеств флюорита в шихту, загружаемую в сталеплавильные горны, понижает ее температуру плавления, обеспечивает текучесть шлаков и способствует переходу вредных примесей серы и фосфора в шлак. При этом расход флюорита составляет около 6,5 фунта на тонну выплавляемой стали. Плавиковый шпат облегчает также выплавку из руд золота, серебра, меди и свинца. *Металлургический флюорит* должен содержать не менее 85% CaF_2 , мало кремнезема и очень мало серы. Используется он в виде кусков, «гравия», искусственных шариков (pellet) или в форме тонкого продукта флотации. В 1957 г. около 44% всего использованного флюорита пошло на металлургические цели.

Второй главный вид использования флюорита — производство фтористоводородной (плавиковой) кислоты (HF). Большие количества этой кислоты используются в следующих целях: 1) в алюминиевой промышленности для производства синтетического криолита и фтористого алюминия — соединений окисного алюминия (глинозема) до металлического алюминия; 2) в нефтеочистительной промышленности в качестве катализатора при производстве высокооктанового бензина; 3) в нескольких малоемких видах использования, например для гравировки и полировки стекла. Кроме того, фтористоводородная кислота представляет собой главный

источник фтора для химической промышленности (Finger, Reed, 1949; Weller et al., 1952, стр. 19—26), в том числе для быстро развивающейся фтороуглеродной химии. Среди многочисленных продуктов, в состав которых входит фтор, можно назвать охлаждающие вещества, инсектициды и некоторые пластмассы. *Химический флюорит*, используемый в тонкозернистой форме, должен содержать не менее 98% CaF_2 . В течение многих лет потребление флюорита в металлургии преобладало над использованием его в производстве фтористоводородной кислоты, однако последний вид потребления при этом неуклонно возрастал и в 1957 г. стал ведущим в потреблении плавикового шпата.

Флюорит используется в производстве непрозрачного и цветного, или «кафедрального», стекла. Кроме того, он входит в состав некоторых эмалей. Требования к *керамическому флюориту* не стандартизированы, но в большинстве случаев используемые в этих целях его концентраты содержат около 95% CaF_2 . Керамическая промышленность потребляет около 5% всего производимого флюорита¹.

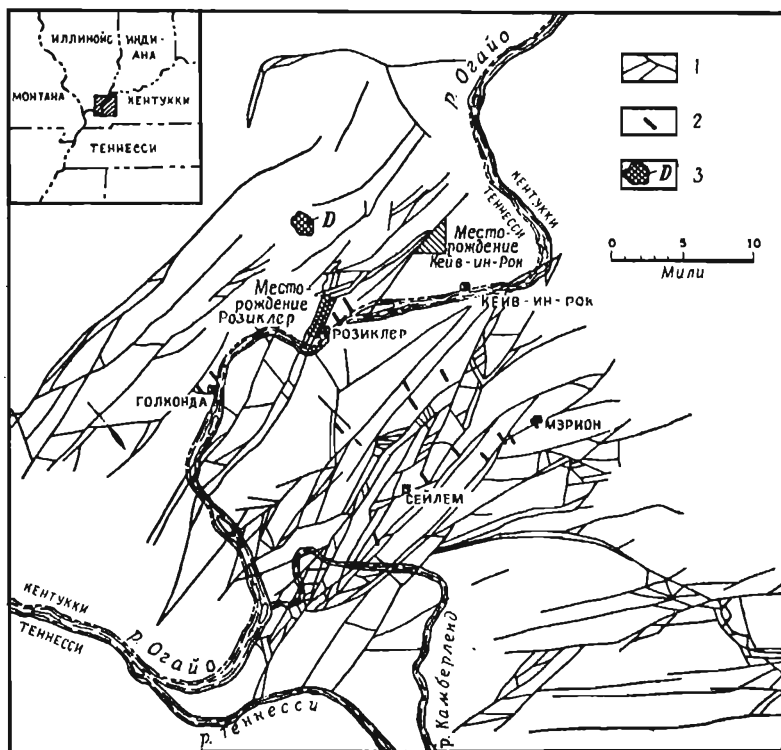
Флюоритоносный район Иллинойс — Кентукки

Наиболее крупный флюоритодобывающий район мира расположен в южном Иллинойсе и западной части Кентукки (фиг. 8.2). В этом районе площадью около 700 кв. миль развиты сглаженные холмы и широкие долины, входящие в долину реки Огайо. Абсолютные высотные отметки колеблются от 300 до 800 футов. В южной части района в реку Огайо впадают реки Теннесси и Камберленд. Неровная северная естественная граница района представлена неправильной цепью возвышенностей широтного направления, сложенных устойчивыми к выветриванию кварцевыми песчаниками нижнепенсильванского возраста, погружающимися на север в Иллинойсский бассейн.

Описываемый район сложен горизонтально или почти горизонтально залегающими осадочными породами, возраст

¹ Крупные прозрачные и бездефектные кристаллы флюорита применяются в качестве ценного оптического материала, слабо рассеивающего свет и свободно пропускающего инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Оптический флюорит редок в природе, в связи с чем получают искусственные его кристаллы из очищенного расплавленного природного плавикового шпата. В США в качестве заменителя оптического флюорита используют синтетические кристаллы фтористого лития, бромистого калия и периклаза. Элементарный фтор и его соединения используются в производстве ядерного топлива и в качестве окислителей ракетных топлив, — *Прим. перев.*

которых колеблется от среднедевонского до верхнемиссисипского. Девонские отложения обнажаются лишь в пределах одного небольшого участка внутри района. Миссисипские породы представлены известняками ярусов Осейдж и Мерамек



Ф и г. 8.2. Схема размещения тектонических нарушений во флюоритонном районе Иллинойс — Кентукки. (По работе Currier, 1937.)

1 — нормальные сбросы; 2 — дайки перидотитов; 3 — девонские породы.

общей мощностью 1400 футов и перекрывающими отложениями яруса Честер, которые сложены известняками, глинистыми сланцами и песчаниками общей мощностью 900—1200 футов. Месторождения флюорита наиболее тесно связаны с верхней частью известняковой толщи, особенно с горизонтами Сент-Луис и Сент-Дженивив. Важную роль в локализации некоторых залежей флюорита играет небольшой

розиклерский горизонт кварцевых песчаников. Этот песчанниковый горизонт приурочен к верхней части сент-джениввской толщи известняков.

Осадочные породы секутся дайками темно-зеленых слюдистых перидотитов. Мощность этих даек колеблется от нескольких дюймов до 125 футов, а протяженность их достигает 1,5 мили. В большинстве случаев дайки залегают вертикально и имеют северо-западное простирание. Обнажения дайковых пород редки, так как перидотиты в результате выветривания превращены в серпентиниты с хлоритом и карбонатом. Наиболее детальные наблюдения над дайками произведены в подземных горных выработках. Кроме даек, встречены также немногочисленные силлы.

Флюоритоносный район Иллинойс — Кентукки отличается от окружающих территорий наличием большого количества крутопадающих нормальных сбросов. Как видно на карте, приведенной на фиг. 8.2, структуру района можно представить в виде «широкого куполообразного поднятия, осложненного мозаикой сбросовых блоков и клиньев» (Cuggier, 1944). Девонские породы обнажаются в северной части этой главной структуры в пределах структуры более низкого порядка, получившей название поднятие Хикс.

Главные разломы имеют северо-восточное направление и протягиваются на многие мили. Большинство из них представляет собой не единичные трещины, а сбросовые зоны шириной от нескольких футов почти до 200 футов. Многие разрывные нарушения представлены параллельно протягивающимися парами трещин и бесчисленными поперечными разрывами в заключенном между ними блоке пород. В таких нарушениях наряду с преобладающими вертикальными движениями проявлялись в ограниченных масштабах и горизонтальные. Максимальная амплитуда вертикального смещения, по данным различных авторов, 1,3—2 тыс. футов.

Эти сбросы секут дайки перидотита и, следовательно, имеют более молодой возраст. Сбросы также секут пенсильванские породы, но на юго-западе района они проходят под верхнемеловой толщей миссисипского бассейна, не подвергнутой разрывным нарушениям. Зоны тектонических нарушений служили подводными каналами фторсодержащих растворов, поднимавшихся из глубины, и представляют собой структуры, контролирующие локализацию жильных месторождений. Предполагается, что возраст сбросов, а вероятно, и флюоритовой минерализации — позднепалеозойский. Не ясно, имеется ли генетическая связь между становлением даек, сбросообразованием и минерализацией, или главной причиной локализа-

ции оруденения была длительная тектоническая ослабленность района.

Первичное сводообразное поднятие осадочных пластов района генетически связывается с внедрением крупных масс магмы на глубине, а возникновение нормальных сбросов приписывалось последующему опусканию магматической колонны в связи с консолидацией магмы и ее усадкой. Однако Уэллер и Саттон (Weller, Sutton, 1951) связывают возникновение этого поднятия с горизонтальным тектоническим усилием, воздействовавшим на район с юга или юго-востока, при этом дайки внедрялись в трещины растяжения, ориентированные параллельно направлению сжатия. Снятие напряжений сжатия привело к проседанию поднятой толщи, выразившемуся в образовании нормальных сбросов. Каково бы ни было происхождение сбросов, они служили каналами, по которым проникали рудоносные растворы. Позже происходили незначительные постминерализационные подвижки, которые, по мнению Уэллера и Саттона; осуществлялись и в историческое время (ню-мадридское землетрясение 1811—1812 гг. и менее значительные толчки в более поздний период); эти подвижки сопровождалась выветриванием и эрозией пород.

Среди флюоритовых месторождений района Иллинойс — Кентукки намечается три типа. Два из них — жилы выполнения трещин и пластовые метасоматические тела — имеют первичное происхождение. Третий тип — осадочные месторождения «флюоритового гравия». Два первых типа более интересны.

Жилы выполнения трещин приурочены к вертикальным или очень крутопадающим сбросам в миссисипских известняках. Мощность жил колеблется от размера тонких пленок до 30 футов и более, а протяженность достигает нескольких сот футов. Эти жилы разрабатываются на глубину свыше 800 футов. Большинство жил приурочено к сбросам, амплитуда смещения по которым колеблется от 50 до 500 футов. Очевидно, у тектонических нарушений с меньшей амплитудой смещения не возникали полости таких размеров, в которых могли локализоваться относительно крупные промышленные флюоритово-рудные тела, тогда как вдоль сбросов с амплитудой смещения более 500 футов возникали глинки трения или зоны брекчирования в прочных породах, которые препятствовали рудоотложению (Weller et al., 1952). Поскольку тектонические поверхности сбросов криволинейны, то в результате взаимного относительного смещения стенок открытые полости поремежаются по нарушениям с участками, где стенки трещины тесно соприкасаются друг с другом. Жильные место-

рождения, возникшие в результате выполнения пустот, характеризуются в связи с этим раздувами и пережимами.

Два главных жильных минерала — кальцит и флюорит. Обычно в жильном выполнении преобладает первый из них, хотя в некоторых случаях флюорит выполняет всю жилу от зальбанда до зальбанда. Кальцит и флюорит образуют совместные агрегаты или перемежающиеся полосы, которые состоят преимущественно из кальцита или флюорита. Наиболее обычные минералы — примеси сфалерит, галенит и кварц. Иногда в значительных количествах присутствует барит, но в большинстве случаев он редок. Кроме того, во флюоритовых месторождениях встречается более дюжины других минералов.

Жильные месторождения частично сформировались при прямом осаждении флюорита, частично посредством метасоматического замещения ранее выпавшего жильного кальцита и, наконец, частично за счет метасоматоза вмещающих жилы известняков. Более крупные месторождения приурочены к сбросам, в которых по крайней мере одна из стенок представлена известняками горизонтов Сент-Луис или Сент-Дженивив. Менее мощные известняки, залегающие выше по разрезу толщи яруса Честер, в пределах которой карбонатные породы перемежаются с неизвестковистыми, были менее благоприятны для формирования крупных или выдержанных рудных тел. На некоторых месторождениях важную роль играет метасоматическое замещение вмещающих пород, однако Уэллер и его соавторы (Weller et al., 1952) пришли к выводу, что на месторождении Розиклер в Иллинойсе жилы представляют собой настоящие продукты выполнения полостей и метасоматоз при их образовании проявлялся незначительно. Эти исследователи также считают, что рудоконтролирующая роль массивных известняков связана не столько с их химическим составом, сколько с физическими свойствами (их высокой прочностью, допускающей возникновение открытых трещин).

Жилы выполнения трещин широко распространены как в Иллинойсе, так и в Кентукки. Месторождение Розиклер в юго-западной части округа Хардин, Иллинойс, характерно для этого типа. Оно детально описано Уэллером и его соавторами (Weller et al., 1952). Флюоритовые месторождения жильного типа в Кентукки описаны Уэллером и Саттоном (Weller, Sutton, 1951), а также Уильямсом и др. (Williams et al., 1955).

Почти такое же значение, как и жильные месторождения, имеют пологопадающие *пластообразные метасоматические залежи* флюорита. Месторождения этого типа известны по обоим берегам реки Огайо, но наибольшее количество флюорита

добывается на месторождении Кейв-ин-Рок в восточной части округа Хардин, Иллинойс (фиг. 8.2). Метасоматические залежи имеют пластообразную форму и ориентированы параллельно слоистости вмещающих пород. Многие из них обнажаются в бортах долин и выходят непосредственно на дневную поверхность. Так же как и большинство пластовых метасоматических тел вообще, эти залежи флюорита приурочены преимущественно к некоторым благоприятным стратиграфическим горизонтам. На месторождении Кейв-ин-Рок оруденение локализуется в известняках горизонта Фредония формации Сент-Дженивив непосредственно под розиклерским горизонтом песчаников и в перекрывающих известняках горизонта Ренаулт под горизонтом песчаников Бетел.

Метасоматические залежи связаны с мелкой трещиноватостью, похожей на отдельность, и небольшими сбросами, смещения по которым редко превышают 10 футов. В тех случаях, когда залежь развита в обе стороны от трещины или сброса, она имеет линзовидное поперечное сечение, а когда она развита только в одну сторону от рудоконтролирующей структуры, форма ее обычно клиновидная (с острым концом, обращенным в сторону известняков, и расширением к трещине). Протяженность метасоматических залежей флюорита колеблется от 200 до 1500 футов, а ширина — от 50 до 200 футов. Мощность их составляет 3—15 футов. На рудничных планах можно видеть, что залежи этого типа вытянутые и узкие, с многочисленными ответвлениями и изменениями направления.

Месторождение Кейв-ин-Рок приурочено к крупной меридиональной тектонической зоне разлома Петерс-Крик с амплитудой смещения около 500 футов и располагается в надвинутом блоке. Считается, что эта тектоническая зона была главным каналом, по которому поднимались фторсодержащие растворы, поступавшие затем отсюда в другие, более мелкие сбросы и трещины. Растворы поднимались по всем этим трещинам до тех пор, пока не встречались с легко замещающимися известняками, выше которых трещины выклиниваются или сужаются. Обычно такое затухание трещин начинается в основании пластов глинистых песчаников типа песчаников горизонта Розиклер. Метасоматические залежи представляют собой результат частичного или полного замещения вмещающих известняков в тех участках, где растворы распространялись в боковом направлении, поскольку сверху они подпружены непроницаемым для них горизонтом. Замещение менее плотного кальцита флюоритом приводило к усадке, вызывающей явления проседания и обрушения в перекрывающей толще (Grogan, 1949).

Главные минералы метасоматических залежей — флюорит, сфалерит и галенит; минералы — примеси те же, что и в жильных месторождениях. Довольно обычны в метасоматических телах включения обломков песчаников, известняков и глин. Руды в большинстве случаев обладают полосчатостью и состоят из светлых прослоев, сложенных грубозернистым агрегатом почти чистого флюорита, которые перемежаются с более темными полосами, обладающими меньшей зернистостью и содержащими наряду с флюоритом другие минералы, а также реликты незамещенного известняка. Отчетливо выраженная полосчатость руд этой группы обусловила их название *хвост енота* (coontail ore)¹.

Метасоматические руды высококачественные; в некоторых месторождениях, кроме того, содержание сфалерита и галенита настолько велико, что они представляют промышленную ценность как побочные продукты. Запасы метасоматических руд большие. В связи с этим можно полагать, что пластообразные тела будут, вероятно, еще долго служить объектом интенсивной эксплуатации.

Геологическое строение месторождения Кейв-ин-Рок было описано Карриером (Carriger, 1944), а также Уэллером и др. (Weller et al., 1952).

Остаточные месторождения возникли в результате проникновения нисходящих поверхностных вод в зоны дробления, включавшие жильный флюорит, а также растворения и выноса кальцита и известняка. Разрушенные и ослабленные жилы обрушались, а нерастворимый раздробленный флюорит смешивался с остаточным глинистым материалом и обломками вмещающих пород. Так формировались месторождения «флюоритового гравия». Флюорит, первоначально распределенный в жиле протяжением на глубину более 100 футов, может сконцентрироваться в остаточном месторождении мощностью 20—30 футов. Таким образом, жилы с убогим оруденением или слишком незначительной мощностью могут в верхних частях содержать промышленные залежи флюоритового гравия. Пластообразные метасоматические тела флюорита, которые предохраняются перекрывающими известковыми горизонтами, менее восприимчивы к выветриванию, чем жилы, и за счет них возникали лишь единичные остаточные месторождения.

Ранее большинство жильных месторождений было разведано шурфами, шахтами и канавами. В настоящее время, как

¹ В отечественной литературе руды с такой текстурой получили название *бурундучных*. — Прим. перев.

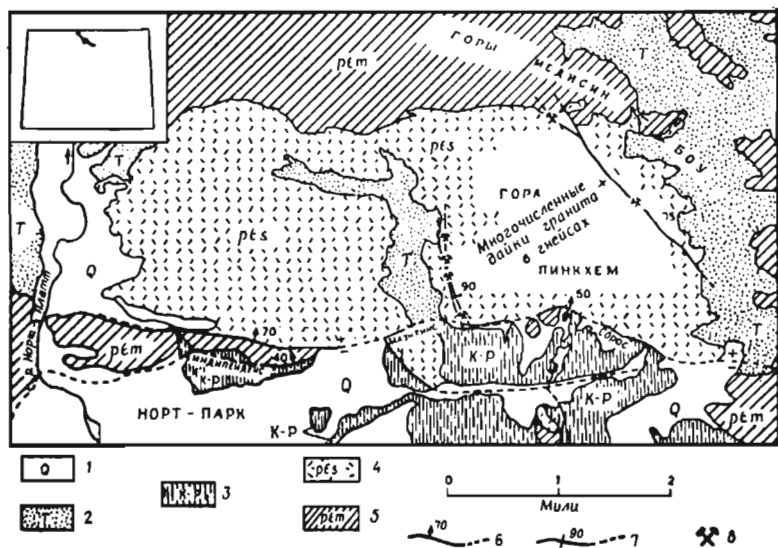
и во многих других рудных районах, здесь преимущественно ведут разведочные работы с использованием алмазного бурения. Бурение ведется как с поверхности, так и из подземных горных выработок, причем скважины задаются под любыми углами от вертикальных до горизонтальных. Получаемый керновый материал описывается и сохраняется. Поскольку на флюоритовых месторождениях локальные структуры очень сложны, только всестороннее и тщательное изучение керна позволяет распознать детали строения месторождений. На месторождении Кейв-ин-Рок, где флюоритовые тела залегают полого, хорошие результаты получены и при разведке с применением ударно-канатного бурения, при котором вместо керна получают шлам.

Большое внимание было уделено применению геофизических методов разведки месторождений района Иллинойс — Кентукки (Hubbert, 1944; Johnson, 1957; Lee, Hemberger, 1946; Weller et al., 1952). Электроразведка и сейсморазведка методом отраженных волн хотя и не позволяют непосредственно выявлять месторождения флюорита, но помогают установить положение сбросов и способствуют, таким образом, определению мест заложения буровых скважин. Третий метод, основанный на измерении электрического потенциала, теоретически позволяет устанавливать тела окисленных руд, если в них присутствовали такие минералы, как пирит и галенит, часто появляющиеся в залежах флюорита. Пока неясно в полной мере, какую роль смогут в дальнейшем играть все эти геофизические методы при разведке месторождений флюорита. Методы разработки и обогащения флюорита рассмотрены в работе Уэллера и др. (Weller et al., 1952).

Месторождение Нортгейт, Колорадо

К числу важных флюоритовых месторождений региона Скалистых гор относится месторождение Нортгейт в северной части центрального Колорадо. Оно расположено в округе Джэксон приблизительно в 5 милях южнее границы Вайоминга (в 10 милях к югу находится центр округа Уолден, а в 50 милях на северо-восток лежит Ларами, Вайоминг). Это месторождение приурочено к юго-западному крылу гор Медисин-Боу и находится на несколько сот футов выше днища широкого межгорного бассейна, известного под названием Норт-Парк (фиг. 8.3). Абсолютные отметки в пределах месторождения составляют более 9 тыс. футов, а на межгорной равнине — 7800—8500 футов.

Горы Медисин-Боу представляют собой широкое нагорье, которое протягивается в северном направлении и сложено комплексом докембрийских гнейсов, кристаллических сланцев и интрузий гранитов. Древние долины в пределах нагорья выполнены осадками третичного возраста. Межгорная впадина Норт-Парк сложена смятыми в складки осадочными поро-



Фиг. 8.3. Геологическая карта флюоритоносного района Нортгейт, Колорадо. (По работе Steven, 1954.)

1 — четвертичный аллювий; 2 — третичные туфогенные отложения, песчанистые алевриты и глины; 3 — известняки, красноцветные породы, песчаники и глинистые сланцы (Cr+J+T+P); 4 — кварцевые монзониты массива Шерман; 5 — метаморфический комплекс докембрия; 6 — сбросы (цифрами показаны углы падения); 7 — вертикальные сбросы; 8 — флюоритовые рудники.

дами позднепалеозойского, мезозойского и третичного возраста, частично прикрытыми плащом четвертичного аллювия. Структурной границей между горами и межгорной впадиной служит протягивающийся в широтном направлении в районе Нортгейт надвиг Индепенденс-Маунтин, имеющий северное падение и относящийся к ларамийскому диастрофизму.

Гнейсовый комплекс инъецирован штоком гранитов (точнее, кварцевых монзонитов), получившим название массива Шерман. На фиг. 8.3 можно видеть прямоугольный выход этого массива длиной около 5 миль и шириной 2 мили, вытянутый в широтном направлении и ограниченный с юга надви-

гом Индепенденс-Маунтин. Граниты преимущественно обладают средне- и грубозернистым сложением и отчасти порфировидной структурой. В результате выветривания и эрозии в пределах гранитного массива сформировался местный резко расчлененный рельеф с остроконечными шпилями, крупными валунами, карнизами и широкими плоскими террасами. С восточной стороны интрузив ограничен свитой гранитных даек, отделяющих массив от гнейсов. Система даек слагает небольшую возвышенность, получившую название горы Пинкхем.

Небольшие проявления флюоритовой минерализации приурочены к силицифицированным брекчиям, развитым вдоль разлома Индепенденс-Маунтин и других надвигов ларамийского возраста, однако эти рудопроявления в связи с незначительными размерами и низким содержанием флюорита не имеют промышленного значения. Промышленные концентрации флюорита установлены в двух небольших тектонических зонах, секущих гранито-гнейсовый комплекс на обоих склонах горы Пинкхем. Эти нарушения секут выполняющие древние долины олигоценовые отложения и имеют средне- или поздне-третичный возраст. Подвижки по нарушениям имели амплитуду порядка 20—40 футов и происходили главным образом в горизонтальном направлении.

Крупные рудные тела приурочены к участкам пересечения этими тектоническими нарушениями гранитного массива Шерман. Во всех залежах флюорита хотя бы один зальбанд сложен гранитами массива Шерман. Очевидно, гранит был благоприятен для локализации оруденения, поскольку в период рудоотложения трещины сохранялись в приоткрытом состоянии в связи с его твердостью и хрупкостью. Полости, или «каналы циркуляции растворов», довольно часто встречаются в тех жилах, где не все пространство приоткрытых трещин было выполнено отложившимся флюоритом. В западной тектонической зоне флюорит слагает прерывистые ветвистые жилы. Линзы высококачественной руды могут переходить в сеть прожилков, в связи с этим главная рудная зона при прослеживании подземными выработками иногда трудно отличима от ее апофиз, секущих вмещающие породы. В восточной тектонической зоне гранит более интенсивно брекчирован, и здесь тонкозернистый флюорит отложился как цемент этой брекчии. Промышленная минерализация в этой зоне прослежена по простиранию на расстояние более 10 тыс. футов.

Флюорит в районе Нортгейт — преимущественно жильный минерал. Он слагает полосчатые слои, образовавшиеся как серия последовательных крустификаций на стенках открытых трещин. Флюорит в отдельных полосах представлен агрега-

тами призматических кристаллов и зернистыми массами; крупные, хорошо образованные кристаллы очень редки. Флюорит преимущественно бесцветный, белый или слегка окрашен в зеленый или бледно-лиловый оттенки. Каналы циркуляции растворов в жилах подчеркиваются темными рубашками окислов марганца во внутренних полосах флюорита; в незначительных количествах в жилах присутствует халцедон.

На месторождениях действуют как эксплуатационные карьеры, так и подземные горные выработки. Стивен (Steven, 1954) подсчитал, что запасы на месторождениях составляют 1,5—2 млн. т руды со средним содержанием CaF_2 более 35%. Этот же автор детально рассмотрел происхождение гранитного массива Шерман в районе месторождения Нортгейт и его соотношения с вмещающими метаморфическими породами (Steven, 1957).

Другие месторождения

Жильные и метасоматические залежи флюорита, приуроченные к известнякам, встречаются на месторождении Спар-Валли южнее реки Пекос в Техасе (Gillerman, 1948, 1953), в районе горы Кейстон в Айдахо (Peters, 1958, стр. 668), в некоторых районах Мексики и других местах. Многие из этих месторождений похожи в своих главных чертах на пластово-метасоматические тела флюорита рудного района Иллинойс — Кентукки; рудные залежи согласны с вмещающей толщей, в кровле их присутствует кепрок, состоящий из водонепроницаемых пород, и для них характерны структуры обрушения, обусловленные усадкой в процессе метасоматического развития флюорита.

Большая часть флюоритовых месторождений района Скалистых гор представлена жилами и брекчиями выполнения в некарбонатных породах. Так, в горах Берро и Зуни в Нью-Мексико (Gillerman, 1952; Rothrock et al., 1946, стр. 176—190), на месторождениях Джемстаун, Сент-Петерс-Дом и Нортгейт в Колорадо (Goddard, 1946; Steven, 1949, 1954), а также у горы Кристал в Монтане (Taber, 1952) залежи флюорита локализируются в гранитах. В Майэрс-Ков, Айдахо (Cox, 1954), и в хребте Флюорит, Нью-Мексико (Rothrock et al., 1946, стр. 126—142), а также на некоторых месторождениях Невады жилки флюорита приурочены к лавовым потокам и туфам. Месторождения Ньюфаундленда представляют собой крутопадающие жилы в гранитах и риолит-порфирах (Howse, 1951; van Alstine, 1944; Williamson et al., 1957).

Флюоритовые месторождения широко распространены в

западных штатах США в целом, однако наиболее крупные из них расположены в восточной части региона Кордильер, особенно в Колорадо и Нью-Мексико. Большая часть этой обширной территории в палеозойское время представляла собой область шельфа, поэтому для нее характерны незначительная мощность общего разреза осадочной толщи, сложное тектоническое строение и наличие обширных поднятий фундамента. Петерс (Peters, 1958) констатирует, что большинство флюоритовых месторождений западных штатов США представлены несогласными рудными залежами, преимущественно проявляющими тенденцию к образованию трубчатых и столбообразных тел; судя по структурам и парагенезисам руд, минерализация происходила в несколько стадий, разделенных периодами растворения и брекчирования. Петерс предполагает, что пространственное размещение флюоритовых месторождений отражает пояса высокой концентрации фтора в породах фундамента; таким образом, современные месторождения имеют унаследованный от докембрийского времени характер и «отражают длительный ларамийско-третичный период региональной концентрации фтора» (Peters, 1958, стр. 683) ¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Сarr G. F. (1954). Newfoundland fluorspar, Can. Min. and Met. Bull., 47, № 502, 81—85.
- Carter D. A. (1951). Structural setting of the Kentucky-Illinois fluorspar district in the eastern interior basin, Bull. Geol. Soc. Amer., 62, 1533—1534.
- Cox D. C. (1945). General features of Colorado fluorspar deposits, Colo. Sci. Soc. Proc., 14, 263—285.
- Cox D. C. (1954). Fluorspar deposits near Meyers Cove, Lemhi County, Idaho, U. S. Geol. Survey Bull., 1015-A.
- Crosby J. W., III, Hoffman S. R. (1951). Fluorspar in California, Calif. Jour. Mines and Geology, 47, 619—638.

¹ Заключительные замечания. В СССР имеются как жильные (Забайкалье, Средняя Азия), так и пластообразные месторождения плавикового шпата. Известны также многочисленные мелкие месторождения типа «погребов» в перматитах (совместно с горным хрусталем) и известняках, представляющие интерес в качестве источника оптического флюорита. Наиболее широко распространены во всем мире жильные месторождения (Англия, Германия, Франция, ЮАР и т. д.). Флюоритовые руды классифицируются по составу и в ряде случаев представляют комплексное сырье (совместно с Hg, Sb, U, TR, баритом, полиметаллами, Ве, редкими землями и др.). В СССР широко извлекаются фторовые соединения при переработке фосфоритов. См. работы Г. Г. Грушкина, А. И. Судеркина, А. Д. Щеглова и др. — *Прим. перев.*

- Currier L. W. (1937). Geologic factors in the interpretation of fluor spar reserves in the Illinois-Kentucky field, U. S. Geol. Survey Bull., 886-B.
- Currier L. W. (1937). Origin of the bedding replacement deposits of fluor spar in the Illinois field, Econ. Geology, 32, 364—386.
- Currier L. W. (1944). Geological and geophysical survey of fluor spar areas in Hardin County, Illinois, Part 1. Geology of the Cave Rock district, U. S. Geol. Survey Bull., 942, 1—72.
- Finger G. C., Reed F. H. (1949). Fluorine chemicals in industry, Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 141, 27—40.
- Gillerman E. (1948). The bedding-replacement fluor spar deposits of Spar Valley, Eagle Mountains, Hudspeth County, Texas, Econ. Geology, 43, 509—517.
- Gillerman E. (1952). Fluor spar deposits of Burro Mountains and vicinity, New Mexico, U. S. Geol. Survey Bull., 973-F.
- Gillerman E. (1953). Fluor spar deposits of the Eagle Mountain trans-Pecos Texas, U. S. Geol. Survey Bull., 987.
- Gillson J. L. (1947). Fluor spar deposits in the western states, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 19—46.
- Goddard E. N. (1946). Fluor spar deposits of the Jamestown district, Boulder County, Colorado, Colo. Sci. Soc. Proc., 15, 1—47.
- Grogan R. M. (1949). Structures due to volume shrinkage in the bedding-replacement fluor spar of southern Illinois, Econ. Geology, 44, 606—616.
- Grogan R. M., Shrode R. S. (1950). Formation temperatures of southern Illinois bedded fluorite as determined from liquid inclusions, Bull. Geol. Soc. Amer., 61, 1466.
- Hamrick N. T., Voskuil W. H. (1949). Economic aspects of the fluor spar industry, Ill. Geol. Survey Rept. Inv., 141, 7—24, 41—70.
- Hatmaker P., Davis H. W. (1938). The fluor spar industry of the United States, Ill. Geol. Survey Bull., 59.
- Howse C. K. (1951). Geology of the St. Lawrence fluor spar deposits, Newfoundland, Can. Min. and Met. Bull., 44, № 471, 478—484; Can. Inst. Min. and Met. Trans., 54, 295—301.
- Hubbert M. K. (1944). Geological and geophysical survey of fluor spar areas in Hardin County, Illinois, Part 2; An exploratory study of faults in the Cave In Rock and Rosiclare districts by the earth-resistivity method, U. S. Geol. Survey Bull., 942, 73—147.
- Johnson R. B. (1957). Refraction seismic investigations, Rosiclare fluor spar district, Illinois, Part 1; Goose Creek area, Ill. Geol. Survey Circ., 231.
- Ladoo R. B. (1927). Fluor spar, its mining, milling, and utilization, with a chapter on cryolite, U. S. Bur. Mines Bull., 244.
- Lee F. W., Hemberger S. J. (1946). A study of fault determination by geophysical methods in the fluor spar areas of western Kentucky, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 3889.
- Peters W. C. (1958). Geologic characteristics of fluor spar deposits in the western United States, Econ. Geology, 53, 663—688.
- Ross C. P. (1950). Fluor spar prospects of Montana, U. S. Geol. Survey Bull., 955-E.
- Rothrock H. E., Johnson C. H., Hahn A. D. (1946). Fluor spar resources of New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Bull., 21.
- Steven T. A. (1949). Geology and fluor spar deposits of the St. Peters Dome district, Colorado, Colo. Sci. Soc. Proc., 15, 259—284.
- Steven T. A. (1954). Geology of the Northgate fluor spar district, Colorado, U. S. Geol. Survey Map MF, 13.

- Steven T. A. (1957). Metamorphism and the origin of granitic rocks, Northgate district, Colorado, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 274-M.
- Sutton A. H. (1953). Fluorspar resources of the southeast, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1950, Ky. Geol. Survey Spec. Pub., 1, 139—149.
- Taber J. W. (1952). Crystal Mountain fluorite deposits, Ravalli County, Montana, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4916.
- Thurston W. R. et al. (1954). Fluorspar deposits of Utah, U. S. Geol. Survey Bull., 1005.
- Van Alstine R. E. (1944). The fluorspar deposits of St. Lawrence, Newfoundland, Econ. Geology, 39, 109—132.
- Weller J. M. et al. (1952). Geology of the fluorspar deposits of Illinois, Ill. Geol. Survey Bull., 76.
- Weller S., Sutton A. H. (1951). Geology of the western Kentucky fluorspar district, U. S. Geol. Survey Map MF 2.
- Williams J. S. et al. (1955). Fluorspar deposits in western Kentucky, U. S. Geol. Survey Bull., 1012.
- Williamson D. H., Jooste R. F., Baird D. M. (1957). St. Lawrence fluorite district, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 90—97.

БАРИТ

Введение

Барит, известный также под названием *тяжелый шпат*, — природный сульфат бария, $BaSO_4$. Наиболее характерная его особенность — очень большой для неметаллических полезных ископаемых удельный вес, колеблющийся от 4,3 до 4,6. Обычно он имеет белую или светло-серую окраску, но может также обладать голубоватым, коричневым или почти черным цветом. Как правило, он непрозрачен и имеет перламутровый или стеклянный блеск. В редких музейных образцах барит представлен хорошо образованными таблитчатыми кристаллами ромбической сингонии, но в промышленных скоплениях встречается в виде зернистых и кристаллических агрегатов или в виде конкреций. Твердость барита значительно колеблется — от 2,5 до 3,5 по шкале Мооса, в связи с чем в товарных продуктах, поступающих из разных месторождений, различают «твердый» и «мягкий» барит.

В связи с большим удельным весом барит экономически невыгодно перевозить на значительные расстояния железно-дорожным или автомобильным транспортом. Поскольку месторождения барита довольно широко распространены, выбор объектов для эксплуатации определяется не столько геологическими, сколько географо-экономическими условиями. В течение длительного периода главная масса барита в США добывалась в Миссури, Джорджии и Теннесси. С появлением значительной потребности в этом полезном ископаемом в рай-

оне побережья Мексиканского залива, с 1940 г. началась эксплуатация месторождений в Арканзасе, который занял в США ведущее место по добыче барита.

Высокая стоимость транспортировки барита приводит к тому, что, несмотря на полную возможность обеспечения потребности США в этом сырье за счет собственных ресурсов, около четверти всего используемого барита импортируется. В связи с низкой стоимостью перевозки водным транспортом в некоторых районах побережий Атлантического океана и Мексиканского залива оказывается дешевле использовать импортный барит, нежели доставлять его сухопутным способом из внутренних частей страны. Более половины импорта барита в США поступает из высококачественных месторождений, расположенных в прибрежных районах Новой Шотландии. (Импорт барита определяется преимущественно экономическими факторами, и главный зарубежный поставщик барита в США та же Новая Шотландия, из которой ввозится и гипс; см. стр. 298). Барит также импортируется из Мексики и Греции.

В 1957 г. суммарная добыча барита в США составила 1 300 000 коротких тонн, а импорт — 83 300 т¹.

Важнейшие проблемы баритовой промышленности США были освещены в печати в 1948 г. (Harding, 1948). В 1955 г. были опубликованы аннотированная библиография и обзорная карта по месторождениям барита в США (Dean, Brobst, 1955), а позже появился обзор ресурсов этого полезного ископаемого (Brobst, 1958).

Свойства и применение

При глубоком роторном бурении на нефть и газ в районах с предполагаемым высоким давлением газа необходимы тяжелые буровые растворы, посредством которых контролируется давление газа в скважине и предотвращаются внезапные утечки газа. Для этих целей превосходно служат добавки порошкообразного барита в обычные глинисто-водные буровые растворы (стр. 192), что объясняется его высоким удельным весом, инертностью, чистотой и относительной дешевизной. Использование барита в буровых растворах началось после 1926 г. и особенно больших масштабов достигло на

¹ Мировое производство барита в 1962 г. — 3,3 млн. т (в 1953—1957 гг. в среднем 2,8 млн. т), в том числе (тыс. т): США 887, ФРГ 470, Мексика 350, Канада 229, Югославия 143, Италия 134. — Прим. перев.

нефтяных полях побережья Мексиканского залива и южной Калифорнии. В настоящее время нефтяная промышленность потребляет около трех четвертей добываемого барита.

На втором месте по значимости находится применение барита в качестве источника бариевых химикалий. Соединения бария многочисленны и используются в целом ряде отраслей промышленности. Химически осажденный сульфат бария (бланфикс) представляет собой пигментирующий наполнитель красок, а также наполнитель бумаги, резины и линолеума. Хлористый барий применяется в кожевенном и текстильном производстве; карбонат бария — в керамических глазурах и эмалях; окисел бария в производстве стекла и электрометаллургии; гидроокись бария — в процессе извлечения сахара из черной патоки; нитрат бария — в сигнальных ракетах и детонаторах. Почти все упомянутые выше соединения имеют и другие виды использования; существуют также многочисленные применения менее важных бариевых химикалий. В производстве бариевых химикалий в 1957 г. было использовано около 10% всего барита, потребляемого в США.

В молотом виде барит используется непосредственно в качестве наполнителя, главным образом в резиновой промышленности, а также в качестве активного наполнителя красок. Большое значение имело до недавнего времени применение бария в производстве белого красочного пигмента *литопона* (химически осажденные сульфид цинка и сульфат бария), выпуск которого в 50-х годах нашего столетия заметно уменьшился. Литопон интенсивно вытесняется красками на основе окисла титана, который в качестве наполнителя представляет собой несколько более дорогостоящее сырье, но обладает значительно большей кроющей способностью. В стеклоделии используется дробленый барит с размерами частиц крупнозернистого песка. В этом случае барит играет роль флюса и сообщает стекломассе лучшую восприимчивость к обработке и увеличивает блеск стекла.

Дробленый барит используется в качестве заполнителя бетона в покрытиях подводных нефте- и газопроводов в тех случаях, когда особенно желательны высокий вес и химическая инертность данных конструкций. Этот вид использования барита несомненно будет возрастать по мере развития сети подводных нефтегазосборных линий¹.

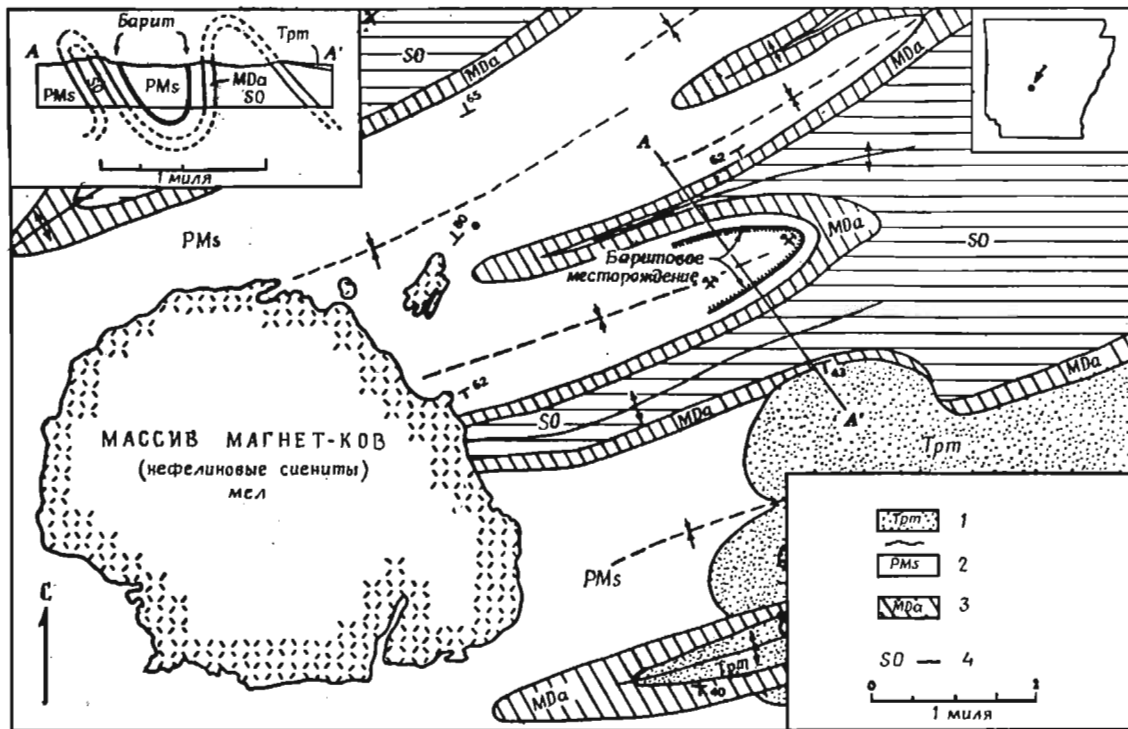
¹ В последнее время наряду с расширением видов потребления барита, указанных Бейтсом, успешно проводились исследования по использованию бариевых соединений в керамике, фриттах, твердых жароустойчивых смазках и др. — *Прим. перев.*

Месторождение Магнет-Ков, Арканзас

Это наиболее крупное в США месторождение барита (McElwaine, 1946; Parks, 1932) расположено в округе Хот-Спринг в центральном Арканзасе в 8 милях севернее Малверна и 45 милях юго-западнее Литл-Рока. Оно находится у восточного окончания гор Уошито, которые представляют собой серию субпараллельных узких хребтов и широких долин, сложенных смятыми в интенсивные складки палеозойскими отложениями. Подле Магнет-Ков тектонические и топографические элементы имеют северо-восточное простирание. Горные хребты, в основном покрытые лесом, возвышаются над расположенными между ними долинами примерно на 225 футов. Абсолютные отметки в районе баритовых рудников в долине Чемберлен-Крик составляют 600—650 футов. Водосток в районе осуществляется в юго-восточном направлении в реку Уошито, которая в свою очередь впадает в Миссисипи. На расстоянии не более мили юго-восточнее баритового месторождения складчатая палеозойская толща скрывается под полого залегающими третичными осадками бассейна Миссисипи.

Месторождение барита приурочено к восточному окончанию склоняющейся синклинали (фиг. 8.4). Примерно в 2 милях к юго-западу от месторождения по простиранию толщи эта складка и прилегающие к ней антиклинали интродуцированы грубо округлым штоком нефелиновых сиенитов, поперечник которого составляет около 3 миль. Этот шток, на месте которого в результате эрозии возникла широкая и неглубокая впадина или «бухта», получил название интрузива Магнет-Ков. Интрузив славится коллекционными образцами минералов, встречающихся в сиенитах и ассоциирующих с ними контактово-метаморфических породах.

Возраст развитых на месторождении пород складчатой толщи колеблется от ордовикского до пенсильванского. Пластово-метасоматические тела барита приурочены к нижней части формации глинистых сланцев Стэнли (пенсильванского — миссисипского возраста) и располагаются в нескольких футах выше контакта этих сланцев с новакулитовой формацией Арканзас (миссисипий — девон). Формация Стэнли сложена темными тонкорассланцованными глинистыми сланцами с многочисленными прослоями тонкозернистых плотных песчаников в низах ее. В западной части района месторождения, а также местами в его окрестностях базальный горизонт формации Стэнли представлен твердыми серыми кварцитовидными песчаниками, получившими название песчаников Хот-Спрингс.



Ф и г. 8.4. Геологическая карта баритоносного района Магнет-Ков, Арканзас. (По работе McElwaine, 1946, фиг. 1; геологическое строение дается по Парксу, Геологическая служба Арканзаса.)

1 — глины формации Милдуэй; 2 — глинистые сланцы формации Стэнли, в основании — глинистые сланцы Хот-Спрингс; 3 — новакулиты формации Арканзас; 4 — формации силурийского и ордовикского возраста.

Общая мощность формации Стэнли в регионе составляет несколько тысяч футов, однако в эродированной синклинали, к которой приурочено баритовое оруденение, присутствует лишь базальная часть формации мощностью 300 футов.

Подстилающие арканзасские новакулиты представляют собой плотные кремнеземистые породы мощностью около 1 тыс. футов. В верхней части формации Арканзас присутствует значительное количество кремнеземистых сланцев, однако низы ее сложены массивными новакулитами, весьма устойчивыми по отношению к эрозии, в связи с чем эти породы образуют в регионе на поверхности выходы в виде гряд. Контакт между глинистыми сланцами формации Стэнли и новакулитами несогласный. В пределах баритоносного района в основании формации Стэнли присутствует конгломерат, состоящий из гальки и булыжников новакулита.

Синклиналь, к которой приурочено месторождение барита, опрокинута на северо-запад. Северо-западное ее крыло падает под углом около 40° на юго-восток, тогда как на втором крыле пласты залегают почти вертикально. Синклиналь склоняется в юго-западном направлении под углом порядка 20° . Породы, выполняющие эту складку, разбиты трещиноватостью отдельности, ориентированной под прямым углом к поверхностям напластования. Установлены немногочисленные мелкие тектонические нарушения.

Как показано на фиг. 8.4, месторождение барита в плане имеет подковообразную форму с протяженностью от вершины этой подковы до любого конца около трех четвертей мили. На крыльях складки мощность баритоносной зоны составляет 30—50 футов, но в замке синклинали она увеличивается до 100 футов и более (McElwaine, 1946 а, б фиг. 3). Нижний контакт баритоносной зоны с безрудными глинистыми сланцами или песчаниками горизонта Хот-Спринг резкий, тогда как в кровле зона сменяется постепенно вышележащими породами. На западе баритовая залежь постепенно переходит по простирацию в глинистые сланцы.

Мощность отдельных пластов барита, которые разделены незаместившимися прослоями глинистых сланцев или песчаников, колеблется от 1 дюйма до 2—3 футов. В свежем состоянии барит имеет серую окраску, среднюю твердость и обладает плотным сложением, напоминая плотный кристаллический известняк. В приповерхностной зоне выветривания окраска у него изменчивая, он становится мягким, землистым и содержит прожилкообразные включения глин, глинистых сланцев и песчаников. Значительная часть барита, залегающего неглубоко, обладает характерной пластинчатостью, па-

раллельной поверхности напластования. К полосам, ориентированным параллельно поверхности напластования, приурочена рассеянная вкрапленность мелких кристаллов пирита, содержание которого в значительной части баритовых руд достигает 4%. Пирит частично изменен в лимонит и гематит, особенно в зоне выветривания, в связи с чем в барите возникли желтые, розовые и красные потеки.

По Парксу (Parks, 1932, стр. 41), барит и пирит в их современном залегании были отложены гидротермальными растворами. Селективный характер замещения зависел от благоприятных условий давления и температуры, а также от литологического состава. В качестве источника магматогенных растворов можно предполагать массив Магнет-Ков, от которого эти растворы могли мигрировать вверх по падению пород, выполяющих синклиналь, и вверх по склонению складки. В составе распространённых пород интрузивного массива установлено около 0,3% BaO (Brobst, 1958, стр. 95).

В баритоносной зоне производится валовая выемка горной массы. Добываемая горная масса в среднем содержит около 70% барита, причем включения пустых пород представлены кварцем, глинистыми сланцами и окислами железа. По данным Бробста (Brobst, 1958), удельный вес извлекаемой горной массы составляет в среднем 3,7; причем в 1954 г. в качестве минимально допустимого ее удельного веса считалась величина 3,2. После очень тонкого помола и флотации получают порошок с содержанием барита 98% и удельным весом 4,4 (Norman, Lindsey, 1942). Значение месторождения Магнет-Ков, очевидно, определяется не столько высоким качеством руды, сколько его географическим положением. Практически вся продукция месторождения используется при глубоком нефтяном бурении в регионе побережья Мексиканского залива. Добыча и обогащение сырья месторождения Магнет-Ков осуществлялись двумя компаниями. В конце 1957 г. одна из этих компаний заявила о приостановке работ, что, вероятно, было связано с понижением активности в нефтяной промышленности.

Месторождения округа Вашингтон, Миссури

Главная масса барита в штате Миссури добывается из остаточных месторождений округа Вашингтон (Tagg, 1919; Weigel, 1929), расположенных приблизительно в 60 милях юго-западнее Сент-Луиса. Этот рудный район находится в пределах провинции плато Озарк, непосредственно к северу от серии выходов докембрия в горах Сент-Франсуа. Район имеет

зрелый расчлененный рельеф, представленный узкими грядами холмов, разделенных широкими плоскими долинами. Средние относительные превышения рельефа в районе составляют около 200 футов. Водосток осуществляется в северном и восточном направлении в реку Миссисипи.

Большая часть рудного района округа Вашингтон сложена относительно полого залегающими отложениями формаций Потоси и Эминенс (верхний кембрий). Формация Потоси состоит из светло-серых зернистых доломитов мощностью 100—300 футов. В доломитах присутствуют стяжения кремня, жеоды с друзами кварца, слоистые прослои кварца и халцедона, а также небольшое количество барита, преимущественно в виде жил. Формация Эминенс, или Проктор по Тарру (Tagg, 1919), сложена почти чистыми доломитами и имеет мощность 80—100 футов. Местами эта формация перекрывается останцами базальных горизонтов ордовикской формации Гасконейд, состоящей из доломитов, песчаников, кремней и незначительного количества глинистых сланцев.

Площадь развития этих пород ограничена с юга крупным нормальным сбросом или сбросовой зоной, к северу от которой расположен опущенный блок, а с северо-востока — другим сбросом с опущенным по нему северо-восточным блоком. Баритовое оруденение проявляется лишь в пределах клиновидного блока, который заключен между этими двумя сбросами, ограничивающими территорию площадью около 300 кв. миль. В пределах баритоносного блока породы полого падают на северо-запад и разбиты многочисленными трещинами отдельности.

В непромышленных количествах барит присутствует в доломитах формаций Потоси и Эминенс, встречаясь здесь в виде жил и рассеянной вкрапленности. По мощности жилы колеблются от тонких пленок до 2 футов и более. Определению протяженности этих жил обычно препятствует мощный покров остаточных глин. В жилах может присутствовать один барит, но чаще с ним ассоциируют несколько других минералов, которые выделялись в такой последовательности: халцедон, кварц, пирит и марказит, галенит, сфалерит. Барит выпадал последним. Видимо, процесс формирования жил преимущественно имел характер выполнения открытых трещин, а не метасоматического замещения доломитов. Большая часть жил установлена подле кровли формации Потоси. Вкрапленность барита в виде мелких гнезд не более 2 дюймов в поперечнике установлена в доломитах обеих формаций — Потоси и Эминенс. Такие включения барита представляют собой как продукт выполнения каверн, так и метасоматические обра-

зования, и встречаются они в наибольшем количестве поблизости от жил.

Промышленный интерес представляют поверхностные отложения, в которых разобщенные обломки барита включены в остаточные глины. Как барит, так и глинистое вещество этих отложений образовались за счет подстилающих доломитов. Глины имеют темную буровато-красную окраску, состоят из тонких частиц и обладают пластичностью. Обломочный баритовый материал характеризуется самыми различными размерами, от частиц меньше песчаных фракций до глыб весом 200 фунтов и более. Более крупные обломки представляют собой белые кристаллические агрегаты, покрытые пленками темно-красных окислов железа.

Наиболее ценные баритоносные отложения приурочены к глинистым плащам, развитым на склоне холмов. Барит может быть равномерно распределен в массе глины, но чаще он существенно обогащает отдельные слои, разделенные пластами глин с незначительным количеством баритовых обломков. Такие слои могут быть распространены на площади до 100 акров. Мощность покровных глинистых отложений значительно варьирует от первых футов до 30 футов и более, что объясняется существованием весьма неровной поверхности растворения у подстилающих глины коренных пород. В более глубоких частях глинистого покрова могут встречаться концентрации барита в виде «жил» шириной 10—20 футов и протяженностью в несколько сот футов. Такие скопления барита не обнаруживают никакой связи со склонами холмов и, очевидно, соответствуют выветрившимся частям жил, секущих залегающие ниже доломиты. Кроме барита, в глинах присутствуют обломки кремней, кварца и доломита. В небольших карманах и «жилах» содержание барита может достигать 20—25%, но в среднем для глинистого покрова оно составляет немного более 10%.

Совершенно очевидно, что барит, так же как и глина, в которой он встречается, представляет собой нерастворимый остаток, сохранившийся после выщелачивания залегающих ниже пород, главным образом доломитов формации Потоси. Однако во взглядах на происхождение первичного барита в коренных породах существуют значительные расхождения. Эта проблема заключает в себе региональные и локальные аспекты. Месторождения барита округа Вашингтон сходны с месторождениями центральной части Миссури, расположенными в 80 милях западнее. В последних присутствует значительно больше галенита и сфалерита, в связи с чем предполагается, что они генетически связаны с общей свинцово-цин-

ковой минерализацией долины Миссисипи. По поводу происхождения этой минерализации в течение многих лет существуют две противоположные точки зрения: 1) о генетической связи с нисходящими холодными метеорными водами и 2) о происхождении за счет восходящих горячих магматогенных растворов. Обе эти концепции были использованы для интерпретации баритового оруденения округа Вашингтон. Метеорную гипотезу в числе других отстаивали Дейк (Dake, 1930) и Уэйджел (Weigel, 1929), а гидротермальную особенно энергично выдвигал Тарр (Tagg, 1919). Хотя вероятный источник гидротермальных растворов поблизости не установлен, более логичной представляется концепция о гидротермальном происхождении барита округа Вашингтон. Тарр (Tagg, 1918, 1919) указывал, что ассоциации и парагенезисы минералов в этих месторождениях более характерны для гидротермальных жил, чем для отложений грунтовых вод. Этот исследователь подчеркивал большую способность к переносу бария у восходящих термальных растворов по сравнению с нисходящими холодными водами, а также — обычное присутствие барита в качестве нерудного минерала жильных месторождений малых глубин, особенно свинцово-цинковых. Близкие доводы были приведены Матером (Mather, 1947), пришедшим к аналогичному выводу о происхождении баритовых месторождений центрального Миссури.

Барит в округе Вашингтон добывается с 1870 г. Приблизительно до 1925 г. эксплуатационные работы производились вручную, киркой и лопатой, вручную велась и рудоразборка. Добыча происходила спорадически, и много барита при этом терялось. Современное землеройное оборудование и установки мокрого обогащения позволяют разрабатывать месторождения с содержанием барита менее 10%, в том числе участки, ранее подвергавшиеся эксплуатации примитивными методами. Методика добычи и обогащения барита описана Джастом (Just, 1948).

В связи со значительно более высоким удельным весом барита по сравнению с глинами или доломитами теоретически возможны поиски его залежей с использованием гравиметрической разведки. С целью уточнения подобной возможности были проведены некоторые геофизические исследования (Uhley, Shagon, 1954). Несмотря на то что положительные гравиметрические аномалии могут быть обусловлены не только существованием скоплений барита, но и другими причинами, особенно выступами коренных пород в вышележащую толщу остаточных глин, представляется вероятным, что гравиметрическая разведка может служить достаточно надежным

вспомогательным методом при поисках месторождений барита. По крайней мере посредством этой геофизической методики можно оконтуривать площади с низкими гравиметрическими показателями, бесперспективные для поисков месторождений барита.

Другие месторождения

Помимо округа Вашингтон, в США имеется несколько других менее важных баритоносных районов. Так, барит присутствует в остаточных глинах, возникших за счет выветривания карбонатных пород формаций Шейди и Ром (нижний кембрий) близ Картерсвилла, Джорджия (Kesler, 1949). В районе Дель-Рио — Хот-Спринг в восточном Теннесси (Ferguson, Jewell, 1951) барит присутствует в мелких линзах и прожилках, приуроченных к зоне надвига, и концентрируется здесь в промышленные залежи совместно с красновато-бурыми глинами, образовавшимися при выветривании пород тектонических зон дробления. В районе, расположенном между горой Кингс-Маунтин, Северная Каролина, и Гаффни, Южная Каролина (Rankin et al., 1942; van Horn et al., 1949), жилы и линзы барита приурочены к докембрийским кварцево-серицитовым кристаллическим сланцам. Геологическое строение упомянутых и других баритоносных районов юго-восточных штатов США рассмотрено в работе Кеслера (Kesler, 1950). Наиболее важные баритовые месторождения западной части США располагаются в Неваде (Gianella, 1941) и Калифорнии (Kesler, 1950), где барит присутствует в жилах и метасоматических телах, локализующихся в известняках. Редкие месторождения барита различных типов известны в штатах Скалистых гор. Баритовое месторождение Уолтон в Новой Шотландии (Jewett, 1957) представляет собой крупную метасоматическую залежь в известняках. Значительные потенциальные месторождения барита обнаружены в округе Монгомери, Арканзас (Jones, 1949; McElwaine, 1946 а, б), и расположены приблизительно в 40 милях западнее месторождения Магнет-Ков, с которым они имеют много общего.

Барит — обычный нерудный минерал флюоритовых и сульфидных месторождений; в связи с этим он присутствует в небольших количествах во многих рудных районах¹.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР известны многочисленные баритовые месторождения различных типов, как жильные мономинеральные (Чордское в Грузии) и россыпные (Медведевское у Златоуста), так и комплексные сульфидно-баритовые (Салаирские), кальцит-баритово-флюо-

ЛИТЕРАТУРА

- Adams G. I., Jones W. B. (1940). Barite deposits of Alabama, Ala. Geol. Survey Bull., 45.
- Brobst D. A. (1958). Barite resources of the United States, U. S. Geol. Survey Bull., 1072-B.
- Clippinger D. M. (1949). Barite of New Mexico, N. M. Bur. Mines and Min. Res. Circ., 21.
- Dake C. L. (1930). The geology of the Potosi and Edgemoor quadrangles, Mo. Bur. Geology and Mines, 2nd. ser., 23.
- Dean G. B., Brobst D. A. (1955). Annotated bibliography and index map of barite deposits in United States, U. S. Geol. Survey Bull., 1019-C.
- DeMunck V., Ackerman W. D. (1958). Barite deposits in Montana, Mont. Bur. Mines and Geology Circ., 22.
- Durrell C. (1954). Barite deposits near Barstow, San Bernardino County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 39.
- Edmundson R. S. (1938). Barite deposits of Virginia, Va. Geol. Survey Bull., 53.
- Ferguson H. W., Jewell W. B. (1951). Geology and barite deposits of the Del Rio district, Cocke County, Tennessee, Tenn. Div. Geology Bull., 57.
- Glanella V. P. (1941). Barite deposits of northern Nevada, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 144, 294—299.
- Hale D. P., Jr. (1942). Modern mining and beneficiation of barite at Cartersville, Georgia, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 277—290.
- Ham W. E., Merritt C. A. (1944). Barite in Oklahoma, Okla. Geol. Survey Circ., 23.
- Harding A. C. (1948). Barite production in the United States, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub., 2414; Min. Tech., 12.
- Jewett G. A. (1957). The Walton N. S., barite deposit, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 54—58.
- Jones T. A. (1949). Barite deposits in the Ouachita Mountains, Montgomery, Polk, and Pike counties, Arkansas, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4348.
- Just E. (1943). An Arkansas travelogue, Eng. and Min. Jour., 143, № 12, 64—65.
- Just E. (1948). Barite production upheld by improved equipment, Eng. and Min. Jour., 149, № 1, 71—73.
- Kesler T. L. (1949). Occurrence and exploration of barite deposits at Cartersville, Georgia, Min. Eng., 1, pt. 2, 371—375.

ритовые (Миргалим-Сай, Узбекистан) и барит-сидеритово-редкометалльные. Иногда в месторождениях СССР большую роль наряду с баритом играет и карбонат бария — витерит (Арпакленское, Туркмения). Известные вообще метасоматические и осадочные месторождения в СССР имеют небольшое промышленное значение. Описанные Бейтсом баритовые месторождения США относятся в основном к типу жильных мономинеральных и возникших за счет них россыпей. Однако в США эксплуатируется также довольно крупное витеритово-полиметаллическое месторождение Эль-Портал. Самое крупное месторождение собственно витерита — Ситтлинг-стран в Англии. Широко известны крупные баритово-флюоритовые жильные месторождения Тюрингии. — *Прим. перев.*

- Kesler T. L. (1950). Barite deposits southeast of the Appalachian Plateaus, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 88—98.
- Kesler T. L. (1950). Geology and mineral deposits of the Cartersville district, Georgia, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 224.
- Kundert C. J. (1957). Barite, Calif. Div. Mines Bull., 176, 71—74.
- Lewis J. V. (1919). The magmatic origin of barite deposits, Econ. Geology, 14, 568—570.
- Mather W. B. (1947). Barite deposits of central Missouri, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 94—108.
- Mather W. B. (1950). Nonmetalliferous mineral resources in Arkansas, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 187, 582—583.
- McElwaine R. B. (1946a). Exploration for barite in Hot Spring County, Arkansas, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 3963.
- McElwaine R. B. (1946b). Exploration of barite in Montgomery County, Arkansas, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 3971.
- Norman J., Lindsey B. S. (1942). Flotation of barite from Magnet Cove, Arkansas, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 367—373.
- Parks B. (1932). A barite deposit in Hot Spring County, Arkansas, Ark. Geol. Survey Inf. Circ., 1.
- Penhallegon W. J. (1938). Barite in the Tennessee Valley region, Tenn. Valley Authority, Div. Geology Bull., 9.
- Peters W. C. (1958). Economic position of western barite deposits, Min. Eng., 10, 972—976.
- Rankin H. S. et al. (1942). Concentration tests on Tennessee Valley barite, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 148, 291—303.
- Stuckey J. L., Davis H. T. (1933). Barite deposits in North Carolina, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 115, 346—355.
- Tarr W. A. (1918). The barite deposits of Missouri and the geology of the barite district, Univ. Mo. Studies, Science Ser., 3, № 1.
- Tarr W. A. (1919). The barite deposits of Missouri, Econ. Geology, 14, 46—67.
- Uhley R. P., Sharon L. (1954). Gravity surveys for residual barite deposits in Missouri, Min. Eng., 6, 52—56.
- Van Horn E. C., LeGrand J. R., McMurray L. L. (1949). Geology and preliminary ore dressing studies of the Carolina barite belt, N. C. Div. Min. Res. Bull., 57.
- Weigel W. M. (1929). The barite industry in Missouri, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 1929, 256—279.

МАГНЕЗИТ

Введение

Минерал магнезит представляет собой карбонат магния $MgCO_3$. Как член изоморфной группы минералов, в которую входят кальцит и доломит, он кристаллизуется в гексагональной сингонии и обладает спайностью по ромбоэдру. Хорошо образованные кристаллы магнезита редки, обычно он встречается в массивных зернистых агрегатах. Промышленные скопления магнезита представлены кристаллическими массами, напоминающими мрамор или грубозернистый доломит, а также в виде плотных фарфороподобных криптокристалли

ческих («аморфных») скоплений с раковистым изломом. Цвет магнезита несколько изменчив, но обычно его окраска белая или серая. Удельный вес 2,9—3,1, твердость 3,5—4,5.

Подобно кальциту и доломиту, магнезит теряет двуокись углерода при нагревании. В результате обжига при температуре 700—1000° удаляется большая часть двуокиси углерода (за исключением 2—10%) и образуется продукт, известный под названием *каустически обожженный магнезит* («каустический магнезит»). При обжиге в пределах температур 1450—1750° удаляется практически вся двуокись углерода (за исключением примерно 0,5%) и получается плотный спекшийся инертный продукт, называющийся *огнеупорной магнезией* («намертво обожженный магнезит»). Сырой магнезит используется лишь для производства этих двух веществ, которые получают, кроме того, из доломита, брусита $Mg(OH)_2$, морской воды и маточного раствора, оставшегося после извлечения из морской воды поваренной соли, а также из искусственных рассолов (стр. 322).

Добыча магнезита в США в 1957 г. составила около 678 тыс. коротких тонн стоимостью 3 258 000 долл. Этот магнезит, а также доломит и брусит, были использованы для производства 257 тыс. коротких тонн каустически обожженной и огнеупорной магнезии общей стоимостью 11 450 000 долл. Приблизительно такое же количество магнезии, но с более высокой общей стоимостью было получено из искусственных крепких рассолов, морской воды и маточных рассолов, остающихся при переработке морской воды. Сырой магнезит практически не ввозился. Импорт каустически обожженной и огнеупорной магнезии, особенно последней, в 1957 г. составил 80 тыс. коротких тонн стоимостью 4 300 000 долл. Главная масса импорта поступила из Австрии и Югославии.

Производство и свойства промышленных магнезиальных продуктов рассмотрены в работе Ситона (Seaton, 1942). Аннотированная библиография по магниевым ресурсам США опубликована в 1957 г. (Davis, 1957)¹.

¹ Мировое производство магнезита в 1962 г. — 8,2 млн. т (в 1953—1957 гг. в среднем 4,8 млн. т), в том числе (тыс. т): Австрия 1771, Китай 1000, Чехословакия 580, США 492, Югославия 411, Индия 239, Греция 165, ЮАР 102. В США потребность в магнезиальных материалах далеко не удовлетворяется собственной добычей магнезита, причем в последние годы производство минерального магнезиального сырья даже несколько уменьшилось. Так, в 1962 г. уже не разрабатывались истощившиеся месторождения брусита (однако вдвое по сравнению с 1961 г. возросла добыча оливина для производства магнезиальных огнеупоров). Потребность в магнезиальных соединениях наряду с ограниченным зво-

Применение

Более 90% добываемого магнезита обжигается намертво для производства огнеупорной магнезии в виде рыхлого зернистого продукта или в виде формованных кирпичей. Эти продукты используются главным образом в сталелитейной промышленности для внутренней футеровки основных горновых печей и конверторов. Кроме того, магнезитовые огнеупоры применяются в медеплавильных и цементных печах, а также других устройствах, действующих при высоких температурах. Огнеупорная магнезия содержит 4—5% окисла железа и примерно такое же количество кремнезема, а кроме того, незначительные примеси глинозема и извести. Огнеупорные кирпичи могут быть изготовлены из одной магнезии или из смеси ее с другими веществами — хромитом, кремнеземом или оливином. Иногда огнеупорная магнезия может быть заменена намертво обожженным доломитом (стр. 241).

Каустическая магнезия используется в нескольких целях, но наиболее важное значение она имеет как сырье для оксихлоридного цемента (цемента Сореля). Тонкомолотая магнезия в смеси с раствором хлорида магния образует вязкий плотный цемент, превосходно служащий для настила полов во внутренних помещениях, где полы должны быть особенно износоустойчивыми. Этот цемент служит связкой для таких органических добавок, как опилки и пробка, и обладает повышенной эластичностью, устойчивостью к абразивным воздействиям, маслам и кислотам, легко поддается распиловке и разделке. Оксихлоридный цемент широко применяется в железнодорожных вагонах и станциях, школах, больницах и других общественных и полубообщественных местах. Кроме того, каустическая магнезия используется в производстве огнеупоров и изоляционных материалов, а также в химической, бумажной и резиновой отраслях промышленности¹.

зом обожженного магнезита (в основном из Австрии) удовлетворялась за счет резкого увеличения производства магнезии из рассолов и морской воды. — *Прим. перев.*

¹ Каустическая магнезия применяется также в производстве абразивных изделий на холодной связке, огнестойких красок, сахара, вискозы, удобрений, как флюсующая добавка к керамике и т. д. Заметное количество магнезии используется в металлургии урана, производстве медицинских препаратов. В 1962 г. в США проводились исследования по получению керамических и изоляционных материалов из особо чистой плавлевой магнезии и монокристаллов MgO, а также по расширению использования и совершенствованию технологии магнезиальных огнеупоров и других работы. — *Прим. перев.*

Месторождения округа Стивенс, штат Вашингтон

Бейн (Ba인, 1924) выделил четыре главных типа месторождений магнезита: 1) первичноосадочные; 2) продукты изменения серпентинитов; 3) жилы выполнения и 4) метасоматические образования в карбонатных породах. В настоящее время магнезит в промышленных количествах добывается главным образом из месторождений четвертого типа. Одно из двух главных месторождений магнезита США расположено в штате Вашингтон, а другое в Неваде.

С 1916 г. в больших количествах магнезит добывается на месторождениях в округе Стивенс, в северо-восточной части штата Вашингтон (фиг. 8.5) (Bennett, 1941; Campbell, Loofbougow, 1946). Магнезитоносное поле представляет собой вытянутый в северо-восточном направлении пояс длиной 30 миль и шириной от 2 до 7 миль, расположенный в восточных предгорьях Хаклеберри. Середина этого пояса находится приблизительно в 40 милях северо-западнее Спокайна; у северо-восточного окончания пояса расположен город Чивила. Абсолютные отметки колеблются от 1700 футов у реки Колвилл близ Чивила до 5,7 тыс. футов в более возвышенной части района в нескольких милях юго-восточнее.

Месторождения магнезита приурочены к доломитам формации Стенсгар, входящей в группу Дир-Трайл позднекембрийского возраста. Группа Дир-Трайл, суммарная мощность которой составляет 5 тыс. футов, состоит преимущественно из аргиллитов, аспидных сланцев и кварцитов. Отложения этой группы несогласно перекрываются докембрийскими конгломератами и зелеными сланцами, на которые в свою очередь налагают кварциты, вероятно, кембрийского возраста. В юго-западной части пояса расположен интрузивный массив гранитов Лоон-Лейк мелового возраста.

Метаосадочные и зеленокаменные породы интенсивно смяты в складки и слагают северо-западное крыло крупной антиклинали, склоняющейся к северо-востоку. Местами пласты опрокинуты и значительное развитие получают складки волочения. Части разреза неоднократно выходят на поверхность, смещаясь по меридиональным разломам, имеющим, по данным Кемпбелла и Луфбороу (Campbell, Loofbougow, 1957), вертикальное падение. Измененность пород, связанная со складчатостью и дизъюнктивной тектоникой, в окрестностях гранитного массива Лоон-Лейк усиливается контактным метаморфизмом.

Отложения формации Стенгар мощностью около 600 футов представляют собой типичные плотные светлоокрашенные доломиты, местами перекристаллизованные в более грубозернистые метадоломиты. Формация выходит на дневную поверхность в серии вытянутых выходов, прослеживающихся на всем протяжении пояса. Магнезит образует в доломитах неправильные тела, которые по размеру колеблются от мелких линз, содержащих первые десятки тонн магнезита, до крупных залежей с запасами более 1 млн. т. Зернистость магнезита колеблется от тонкой до грубой, а окраска изменяется от белой через оттенки серого и красного цветов до черной. Примеси магнезита представлены участками незамещенного доломита, а также рассеянными зернами пирита, кварца и силикатов.

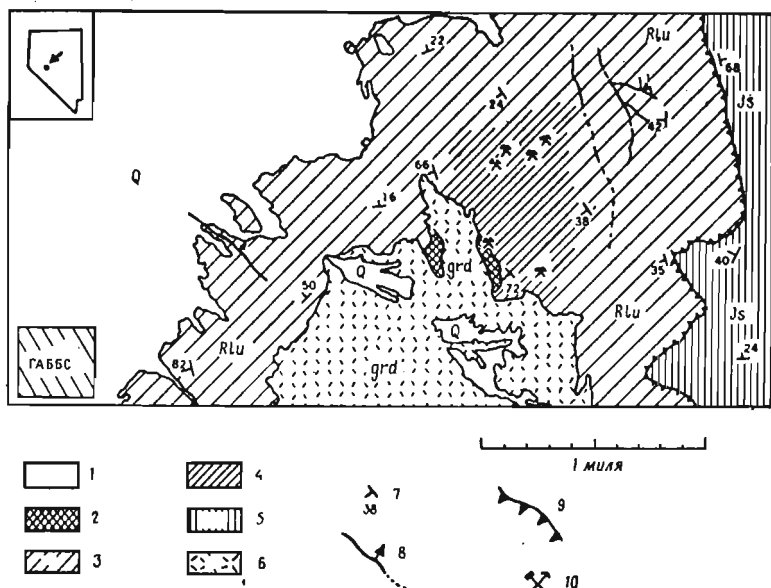
Разработке единой и общепринятой точки зрения на происхождение магнезита мешали сложные структурные и стратиграфические взаимоотношения пород, развитых в районе. В течение многих лет некоторые геологи придерживались представления о первичноосадочном образовании магнезита. Однако в результате исследований, проведенных в последнее время, со всей очевидностью выяснилось, что магнезит находится в неправильных секущих соотношениях с поверхностями напластования доломита, несет реликтовые черты структуры последнего и возник в результате его метасоматического замещения. Метасоматоз связывается с гидротермальными растворами, отщеплявшимися от гранитной магмы массива Лоон-Лейк, который внедрился после деформации осадков группы Дир-Трайл. Эти растворы проникали вдоль поверхностей напластования и по трещинам в доломитах, удаляя кальций и обуславливая его замещение магнием.

В районе эксплуатируются несколько крупных месторождений. Геологическое строение одного из них — месторождения Тёрк — описано Беннетом (Bennett, 1943), а происхождение магнезита рассматривалось Шредером (Schroeder, 1949). Геологическая карта всего горнорудного района округа Стивенс без объяснительной записи была опубликована в 1957 г. (Campbell, Loofbourow, 1957).

При добыче магнезита применяются как открытые, так и подземные способы разработки. После дробления магнезит по транспортеру направляется на обогатительные установки, где при помощи флотации и сепарации в тяжелых средах из него удаляются примеси. Затем концентрат подвергается обжигу до получения огнеупорной магнезии и отправляется на заводы огнеупоров.

Магнетитоносный район Габбс, Невада

Крупные месторождения магнетита установлены в северо-западной части округа Най, Невада, на сильно расчлененном западном склоне хребта Парадайс (фиг. 8.6) (Vitaliano, Cal-



Фиг. 8.6. Геологическая карта магнетитоносного района Габбс в округе Най, Невада. (По карте Vitaliano et al., 1957.)

1—четвертичный аллювий; 2—формация Санрайс (юра), темные глинистые известняки и известковистые глинистые сланцы; 3—верхний горизонт формации Лунинг (триас), минерализованные метадоломиты с примесью силикатов и многочисленными мелкими дайками; 4—район развития магнетитовой минерализации; 5—район развития бруситовой минерализации; 6—гранодиориты (юра?); 7—элементы залегания; 8—сбросы, стрелкой показано направление падения; 9—надвиг; 10—магнетитовые и бруситовые рудники.

laghan, 1956; Vitaliano et al., 1957). Соответствие названия гор существу дела (paradise, рай) весьма сомнительное, так как климат здесь пустынный, водоснабжение представляет сложную проблему, а растительность скудная. Месторождения расположены на высоте 5—6,5 тыс. футов, дно долины Габбс западнее месторождений имеет гипсометрическую отметку 4600 футов. В двух милях западнее рудников расположен город Габбс, выстроенный на аллювиальном конусе выноса. Месторождения связаны с Южно-Тихоокеанской

железной дорогой (у станции Лунинг) шоссеиной дорогой с твердым покрытием протяженностью 29 миль. Город Рино расположен приблизительно в 115 милях северо-западнее месторождений.

В пределах Габбского рудного поля имеются, кроме того, эксплуатирующиеся месторождения брусита, мягкие восковидные просвечивающие агрегаты которого несколько напоминают тальк. Первым промышленно интересным полезным ископаемым, обнаруженным здесь, был брусит (старателями в 1927 г.); вскоре после этого было установлено и присутствие магнезита. Содержание MgO в брусите составляет 69,0%, а в магнезите — 47,6%.

Хребет Парадайс представляет собой наклоненный тектонический блок сбросового типа (структура бассейнов и хребтов), окруженный третичными вулканическими породами и четвертичными пустынно-аллювиальными отложениями. Внутреннее строение этого блока отражает сложную историю его геологического развития. Пермские (?) и триасовые стратифицированные осадочные и вулканические породы подверглись складкообразовательным процессам, были разбиты дизъюнктивными нарушениями и регионально метаморфизованы. Затем они последовательно были интродуцированы: 1) сотнями мелких даек и силлов диабазов, аплитов, риолитов и других ассоциирующих с ними пород; 2) несколькими разобщенными телами грубозернистых гранитов; 3) штоками и дайками гранодиоритов. Под воздействием этих интрузивных тел вмещающие породы претерпевали контактный метаморфизм, наложившийся на более ранний региональный метаморфизм, а растворы, отделявшиеся от интрузивов, привели к минерализации. Доинтрузивное надвиговое движение с запада на восток имело амплитуду в несколько миль. Предполагается, что метаморфизм, интрузии и надвиговые движения имеют юрский возраст. Нормальные сбросовые движения начались до образования надвигов, а затем периодически возобновлялись вплоть до современного периода. В послетретичное время хребет был вовлечен в глыбовые движения и претерпел продолжительное поднятие.

Магнезит и брусит приурочены к верхней существенно доломитовой части формации Лунинг (верхний триас). Падение пород этой формации преимущественно западное, умеренное до крутого, хотя и имеются местные отклонения. Месторождения расположены поблизости от штока гранодиорита, вытянутого в северо-западном направлении (фиг. 8.6). Все породы рудного поля приурочены к висящему блоку надвига

Парадайс, который выходит на поверхность приблизительно на расстоянии одной мили восточнее.

Доломиты формации Лунинг подразделяются на три петрографических типа, в действительности представляющие собой различные разновидности метадоломитов. Первая из этих разновидностей — плотный темно-серый до черного тонкозернистый доломит. В нем обнаруживается параллельная ориентировка зерен карбоната и присутствуют незначительные количества тремолита; эта порода, несомненно, продукт динамического метаморфизма. Ко второму типу относится белый грубозернистый доломит, образовавшийся за счет темного в результате термического метаморфизма. Целые пласты и неправильные крупные участки претерпели перекристаллизацию такого типа. Третий тип — серые среднегрубозернистые доломиты, обладающие на выветрелой поверхности красноватобурой окраской, обусловленной присутствием соединений железа. Предполагается, что железо было привнесено гидротермальными растворами и отлагалось в форме пирита. Породы этого типа постепенно переходят в магнезитизированные доломиты и магнезиты.

Серые среднезернистые гранодиориты у Габбса слагают шток весьма неправильной формы, секущий перекристаллизованные доломиты и магнезиты. Таким образом, эти последние уже присутствовали при становлении гранодиоритов и должны были образоваться в более раннее время. Предполагается, что перекристаллизация доломитов и образование магнезита связаны с воздействием интрузии грубозернистого гранита, которая, судя по полевым взаимоотношениям, происходила раньше внедрения гранодиорита. Граниты не обнажаются в Габбском районе, но слагают шток в хребте Брокен-Хилс примерно в 7 милях севернее, а также мелкие тела в хребте Парадайс в 2,5 милях юго-западнее рудного поля.

Брусит сечет и замещает как магнезит, так и связанные с ним доломиты, развиваясь в тесном контакте с гранодиоритами. Можно полагать, что он возник под воздействием гидротермальных растворов, выделявшихся из гранодиоритов.

Гидротермальная концепция происхождения магнезита и брусита выдвинута Коллэганом (Callaghan, 1933); в последнее время она была развита и обоснована (Vitaliano, Callaghan, 1956; Vitaliano et al., 1957). Однако эта концепция оспаривается Мартином и Уиллардом (Martin, Willard, 1957), которые предполагают, что магнезит отложился «в осадочной обстановке». Мартин (Martin, 1956) поставил под сомнение существование генетической связи магнезитового оруденения с интрузиями. В свете исчерпывающих доказательств,

приведенных Виталиано и др., эту последнюю концепцию принять трудно.

Магнезит присутствует в пределах участка протяженностью в 1 милю и шириной 3 тыс. футов, расположенного северо-восточнее штока гранодиоритов, однако не все породы, развитые здесь, представляют собой руду. Фактически в этом участке наблюдаются все постепенные переходы от чистого магнезита до чистого доломита с весьма причудливыми и взаимопроникающими границами разновидностей. В связи с большим внешним сходством развитых здесь двух карбонатных минералов различать их удается только с помощью химических анализов. Для достоверного опробования месторождений необходимо располагать колонковые скважины на расстоянии всего лишь 50 футов. Различают три сорта магнезита по содержанию CaO: менее 5%, от 5 до 26% и более 26%. Эти сорта распределены как в плане, так и в разрезе весьма сложно. Магнезит прослежен скважинами на глубину 600 футов, фактическая максимальная глубина его распространения неизвестна. Подсчитанные запасы очень велики, как об этом свидетельствуют данные, опубликованные в 1956 г. (Vitaliano, Callaghan, 1956):

Менее 5% CaO	27 млн. т
От 5 до 26% CaO	. 18 млн. т
Более 26% CaO	7 млн. т

Примеси в магнезитах, помимо доломита, представлены окислами железа и некоторыми силикатными минералами. Кроме того, магнезиты пересечены дайками различных изверженных пород. Дайки очень затрудняют эксплуатационные работы.

Магнезит добывают две компании, применяя обычные методы открытой разработки. Эксплуатационная разведка производится колонковым бурением, и границы распространения кондиционной руды определяются опробованием на содержание извести и кремнезема. По данным опробования составляются планы распределения извести и кремнезема. После отпалки уступа в карьере размечаются границы кондиционного оруденения, что дает возможность производить селективную выемку материала. Обогащенный материал подвергается обжигу с получением как каустической, так и огнеупорной магнезии.

Как это показано на фиг. 8.6, брусит образует два месторождения на противоположных сторонах тела гранодиоритов. Оба эти месторождения разрабатываются, однако большая часть продукции поступает из восточного, или верхнего, ме-

сторождения. Залежь брусита здесь имеет около 1 тыс. футов длины и 200 футов ширины. В брусите присутствует огромное количество примесей и включений — реликты доломита и магнезита, дайки и линзовидные тела изверженных пород, а также обильная примесь силикатов. Трещины в брусите выполнены поздним доломитом. Методы разработки брусита описаны Холмсом (Holmes, 1949). Брусит отправляется в Огайо, где он совместно с доломитом намертво обжигается для получения высокотемпературных огнеупоров.

Во время второй мировой войны габбские месторождения были источником сырья для крупнейшего в мире завода по производству металлического магния. Этот государственный завод располагался близ Лас-Вегас, Невада, где в изобилии имелась электроэнергия от гидроэлектростанции Хувер. Магниевый завод был закрыт в ноябре 1944 г., выработав к этому времени 81 272 т металлического магния из 920 000 т руды. В печати имеется полное описание технологии этого производства (Ball, 1944).

Другие месторождения

Осадочный магнезит обнаружен близ Овертона, округ Кларк, южная Невада. Он переслаивается с доломитом в формации Хорс-Спрингс миоценового (?) возраста. Эта формация несколько дислоцирована и залегает с падением 25—40°. Как магнезит, так и доломит имеют блестящий белый цвет; оба они мягкие и обладают консистенцией глины. Руби и Коллэган (Rubey, Callaghan, 1936) считают, что эта толща отложилась в плейассовом (пустынном) озере. Примерно в 120 милях южнее, близ Нидлс, Калифорния, расположено другое пластовое месторождение магнезита (Vitaliano, 1950). Здесь магнезит слагает линзы мощностью 12 футов, шириной 600 футов и протяженностью 2400 футов в третичных осадках, которые претерпели заметную складчатость и разбиты сбросами. Предполагается, что магнезит имеет континентально-озерное происхождение. Возможным источником магния считают воды, которые генетически связаны с третичными вулканами региона и, вероятно, поступали в виде горячих источников. Осадочный магнезит в США имеет лишь потенциальное промышленное значение. Предполагают также, что осадочный генезис имеют и очень крупные месторождения северо-востока Китая (Nishihara, 1956).

Магнезит, связанный с серпентинитами, установлен во многих местах в домеловом комплексе ультраосновных пород Берегового хребта и западной части Сьерра-Невады в Кали-

форнии. Эти месторождения мелкие, но магнезит в них исключительно чистый. Благодаря последнему обстоятельству, а также в связи с близостью промышленных районов тихоокеанского побережья калифорнийские месторождения магнезита интенсивно разрабатывались в течение второй мировой войны. Большинство из них в настоящее время истощилось. Наиболее крупное месторождение этого типа расположено у горы Ред в пределах округов Санта-Клара и Станисло, в Береговом хребте, около 60 миль юго-восточнее Сан-Франциско. Здесь имеется сложное силлоподобное тело перидотитов и ассоциирующих с ними пород, измененное в серпентиниты по сколовым зонам. Магнезит также приурочен к этим зонам, где он слагает конкреционные метасоматические линзы и выполняет неправильные трещинные полости. Эксплуатационные работы производились в залежах шириной 5—10 футов и протяженностью в горизонтальном направлении и на глубину до 500 футов. Так же как и на большинстве других связанных с серпентинитами месторождениях Калифорнии, магнезит у горы Ред криптокристаллический, белый и чистый, имеет раковистый излом и в свежем сколе напоминает неглазурованный фарфор. Боденлос (Bodenlos, 1950) полагает, что магнезит образовался под воздействием восходящих гидротермальных вод, обогащенных двуокисью углерода, которые изменяли магнезиальные силикаты серпентинитов в карбонат. Первоначальные запасы магнезита оценивались приблизительно 1 млн. т. К 1950 г. было извлечено около 180 тыс. т, после чего месторождение не эксплуатировалось.

Виталиано (Vitaliano, 1951) описал магнезитовое проявление, в котором магнезит встречался в виде конкреций и жил в вулканических туфах. Минеральный состав и генезис этого месторождения (Faust, Callaghan, 1948) представляют значительный интерес, однако запасы магнезита здесь невелики, и месторождение не разрабатывалось. Жильные месторождения имеют ничтожное промышленное значение¹.

¹ **Заключительные замечания.** СССР занимает первое место в мире по добыче магнезита. У нас эксплуатируются и разведаны крупнейшие месторождения магнезита исключительной чистоты, связанные с метаморфизованными протерозойскими доломитовыми толщами (Саткинская группа на Урале, Енисейский кряж и др.). Эксплуатировались также месторождения магнезита коры выветривания гипербазитов (Халиловское на Южном Урале), близкие к калифорнийским. Наибольшее промышленное значение во всем мире имеет магнезит, приуроченный к метаморфизованным доломитам; помимо крупнейших месторождений этого типа в докембрии Китая и Кореи, сюда относятся также основные европейские месторождения в палеозойских карбонатных толщах Пиренеев, Альп и Карпат. По всем главным признакам эти месторождения — продукт

ЛИТЕРАТУРА

- Bain G. W. (1924). Types of magnesite deposits and their origin, *Econ. Geology*, **19**, 412—433.
- Ball C. J. P. (1944). The Basic Magnesium enterprise, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **159**, 285—292.
- Bennett W. A. G. (1941). Preliminary report on magnesite deposits of Stevens County, Washington, *Wash. Div. Geology Rept. Inv.*, **5**.
- Bennett W. A. G. (1943). Character and tonnage of the Turk magnesite deposit, *Wash. Div. Geology Rept. Inv.*, **7**.
- Bodenlos A. J. (1950). Geology of the Red Mountain magnesite district, Santa Clara and Stanislaus counties, California, *Calif. Jour. Mines and Geology*, **46**, 223—278.
- Bray W. T., Hilchey G. R. (1957). Magnesite deposits of Kilmar, Quebec, *Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits*, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 164—166.
- Callaghan E. (1933). Brucite deposit. Paradise Range, Nevada, *Univ. Nev. Bull.*, **27**, 1—34.
- Campbell I., Loofbourov J. S., Jr. (1946). Geology of the magnesite belt of Stevens County, Washington, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **57**, 1250.
- Campbell I., Loofbourov J. S., Jr. (1957). Preliminary geologic map and sections of the magnesite belt, Stevens County, Washington, *U. S. Geol. Survey Map MF 117*.
- Chelf C. (1941). Magnesite mining in Llano County, Texas, *Tex. Bur. Econ. Geology, Min. Res. Survey Circ.*, **40**.
- Davis R. E. (1957). Magnesium resources of the United States — a geologic summary and annotated bibliography to 1953, *U. S. Geol. Survey Bull.*, 1019-E.
- Faust G. T., Callaghan E. (1948). Mineralogy and petrology of the Currant Creek magnesite deposits and associated rocks of Nevada, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **59**, 11—74; **1958**, **69**, 353—354.
- Holmes G. H., Jr. (1949). Mining methods at the brucite deposit, Basic Refractories, Inc., Gabbs, Nye County, Nev., *U. S. Bur. Mines Inf. Circ.*, 7543.
- Holmes G. H., Jr., Matson E. J. (1950). Investigation of the magnesite deposit of the Ala-Mar Magnesium Co., Inc., and Nevada Magnesite Co., White Pine County, Nev., *U. S. Bur. Mines Rept. Inv.*, 4608.
- Martin C. (1956). Structure and dolomitization in crystalline magnesite deposits, Paradise Range, Nye County, Nevada, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **67**, 1774.
- Martin C., Willard H. P. (1957). Quality control in selective mining of magnesite, *Min. Eng.*, **9**, 425—427.
- Nishihara H. (1956). Origin of the bedded magnesite deposits of Manchuria, *Econ. Geology*, **51**, 698—711.
- Perry J. B., Kirwan G. M. (1938). The Bald Eagle magnesite mine, California, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **148**, 35—50.

метасоматического переотложения магния доломитов при метаморфизме, хотя в связи с пластообразной формой в отношении их нередко высказываются представления о первичноосадочном происхождении. Заведомо осадочный магнезит встречается в соленосных платформенных толщах в ассоциации с гипсом или в континентально-озерных отложениях (типа невадского). Эти скопления магнезита промышленного значения не имеют. — *Прим. перев.*

- Rubey W. W., Callaghan E. (1936). Magnesite and brucite, in Hewett D. F. et al., Mineral resources of the region around Boulder Dam, U. S. Geol. Survey Bull., 871, 113—144.
- Schroeder M. C. (1949). The genesis of the Turk magnesite deposit of Stevens County, Washington, *Compass*, 26, 37—46.
- Seaton M. Y. (1942). Production and properties of the commercial magnesias, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 148, 11—31.
- Ver Planck W. E. (1957). Magnesium and magnesium compounds, *Calif. Div. Mines Bull.*, 176, 313—323.
- Vitaliano C. J. (1950). Needles magnesite deposit, San Bernardino County, California, *Calif. Jour. Mines and Geology*, 46, 357—372.
- Vitaliano C. J. (1951). Magnesium-mineral resources of the Currant Creek district, Nevada, U. S. Geol. Survey Bull., 978-A.
- Vitaliano C. J., Callaghan E. (1956). Geologic map of the Gabbs magnesite and brucite deposits, Nye County, Nevada, U. S. Geol. Survey Map MF 35.
- Vitaliano C. J., Callaghan E., Silberling N. J. (1957). Geology of Gabbs and vicinity, Nye County, Nevada, U. S. Geol. Survey Map MF 52.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ

Месторождения четырех важных полезных ископаемых, представляющих собой концентрации какого-либо одного метаморфического минерала — графита, асбеста, талька и вермикулита, приурочены к гнейсам, кристаллическим сланцам, метакarbonатным породам и серпентинитам или ассоциирующим с ними породам. Происхождение этих полезных ископаемых связано с метаморфизмом нескольких типов.

Пластовые месторождения графита возникают при слабом или умеренном *динамическом метаморфизме* пластов каменного угля, тогда как графитсодержащие гнейсы и кристаллические сланцы образуются за счет обогащенных углестым материалом осадочных пород. Жилы графита, видимо, возникают в процессе необычного типа *контактного метаморфизма*, при котором интрузирующие граниты вызывают диссоциацию вмещающих известковых карбонатных пород с образованием кальциевых силикатов и CO_2 , причем последняя каким-то пока неясным способом восстанавливается до элементарного углерода. Образовавшийся затем углерод в газообразной, жидкой или твердой форме выполняет трещины в горных породах, образуя жилы графита.

Хризотил-асбест представляет собой волокнистую форму метаморфического минерала серпентина и генетически связан с процессом, известным под названием *серпентинизации*. Геологические события, приводящие к формированию хризотил-асбеста, осуществляются в такой последовательности: 1) внедрение массивов ультраосновных пород, преимущественно перидотитов; 2) частичное превращение ультраосновной породы в серпентинит в результате «автометаморфизма», происходящего под воздействием на перидотит поздних остаточных растворов той же магмы; 3) консолидация частично серпентинизированной породы и возникновение в ней интенсивной трещиноватости; 4) проникновение по трещинам растворов, отделяющихся от более поздней гранитной интрузии, и полная серпентинизация ультраосновной породы в участках, прилегающих к трещинам; 5) кристаллизация волокнистого

хризотил-асбеста в трещинах. Механизм роста волокнистого хризотила не совсем ясен; существующие на этот счет гипотезы рассматриваются в разделе, посвященном хризотил-асбесту.

Тальк связан с метаморфизмом другого типа. В большинстве случаев промышленные тальковые руды сложены не чистым тальком, а представляют собой сланцеватые породы, в которых преобладает тремолит, тальк же присутствует лишь в подчиненном количестве. В некоторых очень крупных месторождениях тремолит и ряд ассоциирующих с ним минералов сформировались при динамическом метаморфизме, вероятно, за счет метадоломитов и кварцитов. Тальк в таких случаях, видимо, образуется значительно позднее, о чем ясно свидетельствуют его псевдоморфозы по тремолиту. Таким образом, тальк — продукт метаморфизма, осуществляющегося в условиях падающей температуры и ослабления ориентированного давления, т. е. он образуется при *ретроградном метаморфизме*¹. Тремолитово-тальковые породы возникают за счет линзовидных масс серпентинитов, оторачивая их в виде сланцеватой краевой зоны. Промышленные залежи тальковых руд образуются также при контактовом метаморфизме метадоломитов в соседстве с силлами диабазов и при селективном замещении карбонатных пород под воздействием растворов, обогащенных кремнеземом. Массивные амфибол-хлорит-тальк-карбонатные породы, получившие название талькового камня (дословно мыльного камня), образуются за счет пироксенитов в результате их изменения под воздействием гидротермальных растворов. Тальк никогда не образуется при динамическом метаморфизме и не относится к так называемым «стресс-минералам».

Четвертый минерал этой группы, вермикулит, вероятно, вообще нельзя относить к истинным продуктам метаморфизма. Единичные месторождения вермикулита могли образоваться при гидротермальном изменении пироксенитов или скоплений биотита, однако экспериментальные данные и условия локализации вермикулита свидетельствуют, что он обычно возникает в зоне выветривания за счет биотита и хлорита в результате воздействия метеорных вод. Вермикулит включен в эту главу главным образом для удобства описания, так как его месторождения ассоциируют с пироксенита-

¹ В последние годы установлено, что наиболее ценные субмономинеральные тальковые руды возникают в условиях нарастания температур, т. е. при прогрессивном метаморфизме (Engel, Wright, *Industrial minerals and rocks*, N. Y., 1960; Смолин П. П., *Закономерности размещения полезных ископаемых*, т. 6, М., 1962). — *Прим. перев.*

ми, кристаллическими сланцами, серпентинитами, хлоритовыми и другими породами, и минералами типичных метаморфических толщ.

ГРАФИТ

Введение

Графит — мягкая, черная, жирная на ощупь модификация элементарного углерода. Он кристаллизуется в гексагональной сингонии и встречается иногда в шестигранных таблитчатых кристаллах. Обычно же графит образует мельчайшие чешуйки или листочки, слагая листоватые агрегаты или неправильные скрытокристаллические массы. Графит характеризуется совершенной базальной спайностью, серой чертой и блеском, от матового до металлического. Он непрозрачен даже в тончайших частичках.

Хотя графит всегда обладает кристаллическим строением, в промышленности принято различать *кристаллические* его разновидности, в которых кристаллы различимы невооружен-

Таблица 9.1

Терминология, формы выделения и условия залегания графита

Промышленные термины	Формы выделения	Преимущественные условия залегания
Кристаллический чешуйчатый, или чешуйчатый	Чешуйки	В тонкорассеянном виде в кристаллических сланцах
Кристаллический комовый («плюмбаго»)	Пластинчатые, волокнистые, игольчатые	Жилы, контактовые оторочки
Аморфный комовый	Массивные, криптокристаллические	Жилы, контактовые оторочки; метаморфизованные пласты каменного угля

ным глазом, и *аморфные* с более тонким сложением. Главнейшие промышленные разновидности графита, а также формы их выделения и условия залегания приведены в табл. 9.1. Кристаллический чешуйчатый графит — наиболее ценная разновидность сырья; добывается даже в тех случаях, когда он встречается в весьма рассеянном состоянии и должен извлекаться с применением помола и обогащения. Главные примеси этой разновидности — другие минералы вмещающих

сланцеватых пород, главным образом кварц, слюда, полевой шпат и глинистые минералы. Комовый графит, преимущественно аморфный, используется в гораздо больших количествах по сравнению с чешуйчатым, но имеет меньшую стоимость. В жильных и контактных месторождениях графита этого типа в качестве примесей присутствуют пирит, кварц и силикаты. Аморфный пластовый графит обычно бывает очень чистым.

Метаосадочные породы как тип в целом могут содержать графитистый углерод в самых различных количествах. С одной стороны этого диапазона содержания графита находятся темноокрашенные осадки типа некоторых аспидных сланцев или породы с редкими тонкими прожилочками графита, например жилковатые мраморы. Более высоким содержанием углерода в форме графита отвечает графитовые кристаллические сланцы и метаизвестняки, в которых довольно часто присутствуют прожилки и линзы графита. Такие породы могут постепенно переходить в пласты, ранее бывшие угленосными осадками, а ныне сложенные графитом высокой чистоты.

Помимо типов графита, показанных в таблице, производится также тонко молотый материал более низкого качества, известный под названием *стружки* или *пудры*. *Искусственный графит* представляет собой промышленный углеродистый материал, получаемый из низкокачественного антрацитового угля или нефтяного кокса. Используется он главным образом для изготовления электродов (для печей) и анодов в производстве хлора и каустической соды. Искусственный графит в большинстве видов применения не может быть полноценным заменителем натурального¹.

Общий обзор проблемы происхождения графита появился в 1921 г. (Clark, 1921), в краткое описание графитовой промышленности — в 1943 г. (Gwinn, 1943). Проблема запасов отечественного графита рассмотрена Камероном (Cameron, 1956).

¹ В СССР наиболее известна близкая к изложенной Бейтсом структурная классификация графитовых руд В. С. Веселовского, в которой скрытокристаллическим (аморфным Бейтса) графитам противопоставляются явно кристаллические и среди последних различаются чешуйчатые и плотнокристаллические (кристаллические комовые Бейтса). Среди искусственных графитов Бейтс забыл упомянуть чешуйчатые графиты, получаемые из доменного скрапа и при разложении карбидов в условиях высоких температур, которые во многом представляют такой же интерес, как и природный чешуйчатый графит. Сбор доменного графита в больших количествах затруднителен, и удельный вес его в структуре использования невелик. — *Прим. перев.*

Свойства и применение

Мягкая и совершенная спайность графита обуславливает его исключительную скользкость и жирность. Он легко прилипает к металлу и другим веществам, выполняет поры и обеспечивает скользкость поверхностям. Графит обладает необычайно высокой огнеупорностью, не претерпевая ни малейших изменений до температуры 3000° . Он устойчив по отношению к большинству кислот и иных реагентов. Графит легко смешивается с другими веществами, как твердыми, так и жидкими. И наконец, графит обладает хорошей электропроводностью. Подобное уникальное сочетание этих свойств обеспечивает его широкое применение.

Около 70% графита используется металлургической промышленностью, причем наиболее часто в качестве формовочного материала. Тонко измельченный графит обеспечивает гладкость литейных форм и облегчает удаление из них отливок после охлаждения. В этом случае к графиту не предъявляется требование особой чистоты, так как в формовочных материалах он смешивается с песком, глиной, тальком или слюдой. Однако в литейном деле необходим графит очень тонкого помола. Второе место по значению имеет применение графита в сталелитейном производстве. Большие количества аморфного графита используются для рекарбуризации стали. В этом случае не требуется особенно высокого содержания в используемом материале углерода и могут применяться (и фактически более широко, чем графит, применяются) менее концентрированные углеродистые вещества — каменный уголь и кокс.

Третий вид использования графита в металлургической промышленности, предъявляющий значительно более жесткие требования к сырью, — производство тиглей и связанного с ними оборудования для выплавки цветных металлов, главным образом меди и алюминия. Тигли испытывают сильные термические удары, так как в течение нескольких дней они неоднократно претерпевают нагревание от обычной температуры литейного цеха до 1500° или даже выше. Стандартный продукт для производства тиглей — грубозернистый чешуйчатый графит, импортируемый с Мадагаскара. К тигельному графиту предъявляется требование содержания углерода не менее 85%, и, кроме того, регламентируются форма и размер частиц, плотность, зольность, скорость окисления, насыпной вес (Gwіpp, 1947). При изготовлении тиглей

используются композиции, состоящие на 45—50% из чешуйчатого графита, огнеупорной глины в качестве связки и небольшого количества песка. После второй мировой войны начали применять металлургические тигли, изготовленные из карбида кремния на связке из графитового углерода. Для таких тиглей требуется лишь 18—25% графита, который может обладать меньшей величиной чешуек.

В 1957 г. около 18% графита, использованного в США, было применено для производства *смазочных материалов* различных видов. Графитовые покрытия на несущих поверхностях резко понижают коэффициент трения, а также служат антикоррозийным целям. В качестве смазочного материала предпочитается чешуйчатый графит, так как чешуйки располагаются однородным слоем на поверхности металла. Такие твердые смазки применяются в тех случаях, когда нефтяные смазочные материалы и масла могут оказаться вредными, например, в текстильных станках, а также при необходимости их работы в широком интервале температур. В смазочных материалах графит может комбинироваться с маслами или водой. Графит, используемый в производстве твердых смазок, должен быть лишен абразивных примесей.

Графит применяется для производства грифельных карандашей, гальванических батарей, углеродистых щеток для электродвигателей, защитных красок для мостов, резервуаров и тому подобных сооружений, а также для изготовления электродов, кровельных композиций и для многих других целей¹.

¹ Следует упомянуть ещё одну самостоятельную область использования графита — химически стойкие материалы для промышленной аппаратуры (электролитических ванн, бумагоделательных варочных котлов, теплообменных установок химических производств и т. д.). Важный вид применения графита — блоки и детали ядерных реакторов, где графит служит замедлителем нейтронов, вызывающих распад атомных ядер; для реакторов используются монолитные блоки искусственного графита чрезвычайной чистоты. Структура потребления графита в последние годы в основном не изменилась, однако в количественном отношении происходит рост использования всех видов природного графита. В США внедряются новые продукты на основе естественного и в значительной мере искусственного графита: графитизированные ткани, защитные покрытия в композиции с силицидом бора, металлографитовые антифрикционные, электротехнические и огнеупорные материалы, огнестойкие целлюлозно-графитовые строительные материалы и др. В 1962 г. освоено производство крупных графитовых блоков (3×9×20 футов, или 16 футов диаметром), разработаны новые методы быстрого получения особо гладких поверхностей графитовых изделий. — *Прим. перев.*

Производство

Графит — обычное полезное ископаемое, месторождения которого обнаружены почти во всех странах. Многие месторождения, однако, располагают низкокачественными рудами, с очень высокой стоимостью их добычи и обогащения или слишком удалены от рынков потребления и транспортных артерий. Главными производителями графита в 1957 г. были следующие государства (с производством в тыс. коротких тонн):

Южная Корея	163
Европа (главным образом Австрия и ФРГ)	43
Мексика	26
Мадагаскар	18
Цейлон	9
Другие страны, в том числе приблизительная оценка по СССР, КНР и другим странам демократического лагеря . . .	61
<hr/>	
Всего	320

Добыча графита в Южной Корее резко возрастает, увеличиваясь каждый раз по сравнению с предыдущим годом почти в 2,5 раза. В 1957 г. экспорт антрацита из Южной Кореи был прекращен, но вывоз аморфного графита увеличивался. Не исключена возможность, что значительная часть экспортированного «графита» в действительности была антрацитовым углем. Большая часть южнокорейского экспорта направлялась в Японию. Графит, добываемый в Европе, использовался главным образом для внутренних нужд самих добывающих его стран, хотя небольшие количества его и экспортировались, особенно из ФРГ и Норвегии. Наиболее важные источники графита, потребляемого в США, находятся в Мексике, на Мадагаскаре и Цейлоне. Потребление графита в США в 1957 г. составило 41 тыс. коротких тонн, стоимостью 5 568 000 долл¹.

¹ В 1962 г. по сравнению с 1953—1957 гг. мировое производство природного графита увеличилось более чем в 2 раза (с 275 до 570 тыс. т). В 1962 г. основными производителями графита были страны (тыс. т): Южная Корея 204, Австрия 98, КНДР 55, Китай 45, Мальгашская Республика 16, ФРГ 13, Цейлон 10. В США кристаллический чешуйчатый графит в ограниченном количестве добывался лишь в Техасе. В 1962 г. США использовали 44 383 т природного графита, в основном импортного из Мадагаскара, Цейлона, Мексики, Норвегии и ФРГ. В возрастающих количествах используется искусственный графит. Так, в США его производством в 1957 г. занималось 10, а в 1962 г. — 13 компаний. — *Прим. перев.*

Графитовая промышленность в США крайне незначительна, и добыча графита возрастает лишь при чрезвычайных обстоятельствах — при резком сокращении или отсутствии его ввоза. Это объясняется как лучшим качеством ввозимого графита, так и более низкой стоимостью его добычи в странах-экспортерах. На цейлонских графитовых рудниках, например, минимальная заработная плата мастера в 1955 г. составляла 81 цент в день, а неквалифицированного рабочего — 55 центов. Добыча графита в США в разное время производилась по крайней мере в 15 штатах, однако лишь единичные месторождения эксплуатировались сколько-нибудь продолжительный период. В 1957 г. аморфный графит добывался подле Кранстона, Род-Айленд, а кристаллический чешуйчатый графит — около Бернета, Техас.

Экспорт графита в США из трех стран объясняется тем, что в каждой из последних добывается особый тип сырья.

Мадагаскар

Наиболее крупные в мире запасы кристаллического чешуйчатого графита сосредоточены на острове Мадагаскар (Shelley, 1916). Весь остров, за исключением западной прибрежной зоны, сложен докембрийскими метаморфическими породами, выступающими на поверхность в пересеченной гористой местности с гипсометрическими отметками преимущественно 4000—4600 футов. Графит установлен в пределах пояса длиной около 400 миль, причем наиболее крупные месторождения располагаются в горах восточной части центральной области Мадагаскара. Климат в графитоносном поясе субтропический, количество среднегодовых осадков колеблется от 40 до 60 дюймов, а температура умеренная. Добыча графита здесь началась после 1907 г.

Графит встречается в виде вкрапленности или прослоев в слюдяных и хлоритовых сланцах и гнейсах. Графитоносные толщи смяты в интенсивные складки и разбиты многочисленными сбросами, в связи с чем залежи графита имеют самые разнообразные, в том числе горизонтальные углы падения. Очень большое значение имеет сильная выветрелость графитоносных пород, вследствие чего графитовые руды состоят главным образом из глинистых минералов, графита, слюды и кварца. Графит очень устойчив при выветривании и присутствует в виде блестящих чешуек в выветрелых графитоносных породах. Второстепенные минералы руд — гранат, корунд, турмалин, магнетит — свидетельствуют, что графитоносные толщи претерпели первоначально умеренный регио-

нальный метаморфизм. Предполагается, что графит возник в результате метаморфизма углистых осадочных пород.

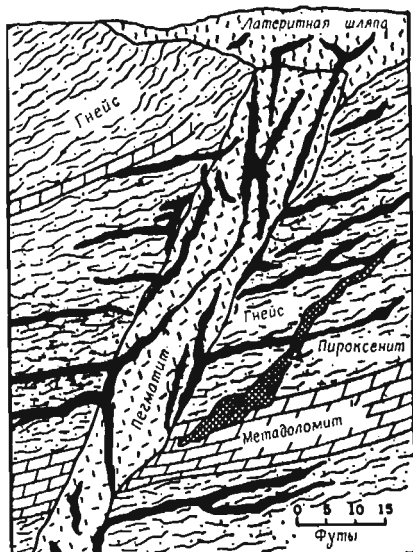
Графит встречается в тонких гибких чешуйках диаметром до $\frac{1}{8}$ дюйма, среднее содержание которых в рудах составляет 10—12%, а в наиболее богатых зонах — 25% и более. Как размеры чешуек, так и содержание графита в мадагаскарских месторождениях выше, чем в любых других месторождениях сопоставимых масштабов. Горные работы на мадагаскарских месторождениях осуществляются преимущественно открытым способом. В связи с интенсивным выветриванием графитоносных пород при добыче необходимо лишь ограниченное применение взрывных работ. Добытая руда промывается, сушится, просеивается, развеивается и подвергается грохочению с получением в конечном счете концентрата, обогащенного крупными гибкими чешуйками графита с высоким содержанием углерода и свободным от слюды и окислов железа. Из 13 т сырой руды получают в среднем 1 т графитовой чешуйки с содержанием углерода 90% и 1 т графитовой пыли с содержанием углерода 86—90%. Мадагаскарская графитовая чешуйка представляет собой высококачественное тигельное сырье и потребляется большинством промышленно развитых стран. Экспорт графита осуществляется через порт Таматаве.

Цейлон

На Цейлоне, расположенном у южного окончания полуострова Индостан, графит добывается с 1834 г. (Bastin, 1912, Wadia, 1943). Остров Цейлон вытянут в меридиональном направлении примерно на 275 миль и имеет ширину 125 миль. Южная половина центральной части острова характеризуется гористым рельефом с вершинами, достигающими высоты 8 тыс. футов. Графитовые месторождения расположены на западных склонах этих гор на расстоянии 5—10 миль от побережья. Климат района тропический, среднегодовое количество осадков составляет 100 дюймов и более.

Коренные породы юго-западного Цейлона представлены докембрийскими гнейсами, кристаллическими сланцами и метанзвестняками. Эти породы слагают смятую в складки и регионально-метаморфизованную мощную толщу, аналогичную гренвиллской серии Канады. Региональное простирание пород север-северо-западное. Листоватые породы инъецированы кварцевыми жилами, пегматитами, гранитами и пироксенитами.

Чешуйчатый графит встречается в рассеянном состоянии в сланцеватых породах, однако на главных месторождениях графит имеет иные условия нахождения и концентрируется в жилах, линзах, карманах и кавернах выполнения, главным образом в сланцеватых породах, но также и в пегматитах (фиг. 9.1). В большинстве случаев жилы графита залегают



Фиг. 9.1. Схематический разрез, иллюстрирующий обычные условия локализации и форму жил графита на месторождениях Цейлона. (По работе Wadia, 1943, фиг. 9.)

согласно с вмещающими породами, но иногда они приурочены и к секущим трещинам. Мощность жил колеблется от немногих дюймов до нескольких футов. Протяженность отдельных жил редко превышает первые десятки футов, но жильные зоны в кристаллических сланцах протягиваются на многие мили. Жилы имеют пережимы и раздувы, нередко расщепляются на серии тонких прожилков; очень часто они ограничены весьма неправильными зальбандами с отдельными вздутиями и обычно смяты в складки. Для жил типично зональное строение: у зальбандов присутствуют полосы, сложенные поперечно-волокнистым графитом, оторачивающие среднюю часть жилы, которая состоит из листоватого или пластинчатого графита. Участки мономинерального графита не представляют редкости, но обычно присутствуют многочисленные минеральные примеси, которые рассеяны в жильной массе или слагают полосы в центральных частях жил. Наиболее распространенные примеси: пирит, кварц, кальцит, пироксен и апатит. В несколько меньших количествах присутствуют известково-силикатные минералы — волластонит, тремолит и др. Графитсодержащие пегматиты постепенно переходят в жилы сплошного графита (Wadia, 1943, стр. 17).

Как во внутреннем строении жил, так и в их взаимоотношениях с вмещающими породами не удастся найти характерных признаков отложения графита из растворов. Более

основательно представление Вадия (Wadia, 1943, стр. 19), согласно которому наблюдающиеся в настоящее время формы выделения графита возникли в результате инъекций или заполнения пустот (Squirted or molded). Вадия полагает, что жилы возникли в процессе выполнения существовавших пустот под давлением графитом, «находившимся в летучем, жидком или пластическом состоянии». Бастин (Bastin, 1912, стр. 341) пришел к предварительным выводам о генезисе месторождений, связав графитизацию с поздними стадиями контактного метаморфизма. Эта концепция была принята Кларком (Clark, 1921, стр. 171) и Вадия (Wadia, 1943), предполагавшими, что в результате диссоциации известковистых пород под воздействием гранитной магмы или магматических газов возникал элементарный углерод. При этом высказывалось положение, что если окись кальция в метаизвестняках входила в состав известково-силикатных минералов, то при этом также выделялась двуокись углерода, которая при высоких давлениях и температуре диссоциировала с образованием газообразного, жидкого или твердого углерода. В процессе такого интенсивного контактного метаморфизма известковые силикаты оставались на месте их образования, а углерод был весьма подвижным. В связи с этим в силифицированных метаизвестняках графит присутствует в незначительных количествах и преимущественно концентрируется в кристаллических сланцах и гнейсах. Именно к этим типам пород, развитым вблизи метаизвестняков и гранитов, приурочены все крупные системы жил графита.

На Цейлоне существует около дюжины механизированных графитовых рудников; три наиболее крупных функционируют непрерывно. В 1943 г. горные работы на одном руднике достигли глубины 1600 футов, а на другом — 800 футов. В большинстве случаев, однако, эксплуатационные работы ведутся в простых карьерах и развиваются по простиранию отдельных жил и карманов в пределах, оправдывающих добычу с поверхности. На отдельных месторождениях изредка проходятся шахты со штреками из них длиной до 80—100 футов, но систематическое развитие эксплуатационных работ с разбивкой на блоки почти не осуществляется. Обильные осадки обуславливают сильный приток воды, однако лишь в наиболее крупных рудниках налажены системы водоотлива. Хотя добыча графита на Цейлоне началась более 100 лет назад, до сих пор не наблюдается «сколько-нибудь ощутимого истощения запасов, даже наиболее доступных к выемке» (Wadia, 1943, стр. 15). Запасы графита как по визуальной оценке в действующих карьерах и рудниках, так и по

общим геологическим соображениям могут обеспечить развитие эксплуатационных работ еще на многие десятилетия.

Добытая графитовая руда может содержать до 50% посторонних примесей, большая часть которых удаляется ручной сортировкой. В порту Коломбо графит подвергается дополнительному обогащению с применением дробления, грохочения и промывки. Затем он сортируется с учетом требований конкретных потребителей. Цейлон — единственный крупный производитель высококачественного кристаллического комового графита, который экспортируется более чем в дюжину стран, в основном в США, Великобританию и Японию.

Сонора, Мексика

Крупные месторождения аморфного графита разрабатываются с 1895 г. близ города Ла-Колорадо, штат Сонора в западной Мексике (Hess, 1909, 1910). Этот графитоносный район расположен на расстоянии около 180 миль южнее Ногалес, Аризона, и приблизительно в 60 милях от побережья Калифорнийского залива. Район находится на высоте около 1300 футов. Здесь развита лишь скудная пустынная растительность; этот район представляет собой южное продолжение провинции Бассейнов и Хребтов западной части США.

Графит слагает пласты, приуроченные к триасовым песчанникам, которые обнажаются на дневной поверхности в виде холмистых гряд. Эта толща смята в резкие складки и интродирована дайками, силлами и мелкими инъекциями белого гранита. В районе имеется не менее семи пластов графита, круто падающих в северном и северо-восточном направлениях. Мощность графитовых пластов колеблется от 1 до 24 футов в участках их раздува, возникших в результате складкообразования; средняя мощность главного пласта составляет 9—10 футов. Пласты имеют раздувы и пережимы, а местами выклиниваются и секутся мелкими поперечными разрывными нарушениями.

Залежи состоят из сплошного агрегата мягкого графита с полуметаллическим серовато-черным блеском. В некоторых пластах имеется тонкая плитчатость. Жилы и выделения чешуйчатого графита отсутствуют. Пластовый характер месторождений, наличие в них линз песчаника и тонкая плитчатость почти не вызывают сомнений в том, что графит возник в результате изменения пластов каменного угля. Этот вывод согласуется и с «присутствием в разных участках, видимо в пределах одного и того же пласта, различных фаз — графита,

антрацита, кокса и каменного угля» (Hess, 1910, стр. 20). Предполагается, что метаморфизм углей был вызван интрузией гранитов, которые представлены здесь многочисленными мелкими инъекциями.

Эксплуатационные работы ведутся подземным способом. Сырая добытая руда содержит в среднем 80—85% углерода в форме графита; за счет ручной отборки можно получить материал с содержанием графита до 95%. Сырье отправляется для переработки в Сагино, Мичиган. Сонорские месторождения в связи с очень высоким содержанием в них графита играют важную роль среди наиболее существенных мировых источников графита.

Другие месторождения

Среди типов концентраций графита наиболее распространены скопления рассеянной его вкрапленности в кристаллических сланцах и гнейсах. К этому последнему типу относятся крупные европейские месторождения в ФРГ, Австрии и Чехословакии, в которых добывается как чешуйчатый, так и аморфный графит. Чешуйчатый графит спорадически добывается в Онтарио и Квебеке (Spence, 1920), где он встречается в кристаллических сланцах и метанизвестняках гренвиллской серии (докембрий). Мелкие прожилки, карманы и рассеянная вкрапленность чешуйчатого графита известна в гренвиллских породах на восточном склоне гор Адирондак, штат Нью-Йорк (Alling, 1917; Bastin, 1910). Чешуйчатый графит добывался (Sanford, Lamb, 1949) из докембрийских гнейсов формации Пикеринг в юго-восточной Пенсильвании (Miller, 1912 а,б). Крупные, но не эксплуатировавшиеся месторождения графита известны в Северной Каролине (Harrington, 1947). В период второй мировой войны чешуйчатый графит тигельного сорта добывался (Pallister, Smith, 1947) в восточной части центральной Алабамы (Brown, 1925; Prouty, 1917). В Техасе, в округе Бернет, в пределах нагорья Льяно, месторождения графита приурочены к докембрийским кристаллическим сланцам формации Паксэддл (Chelf, 1943; Paige, 1911). В литературе имеются описания методов разработки и помола графита техасских месторождений (Needham, 1946). Запасы графита в США и возможности его использования в качестве отечественного сырья чешуйчатого типа кратко рассмотрены Камероном (Cameron, 1956).

Жильные месторождения графита, сопоставимые с цейлонскими (Bastin, 1912), известны близ Диллона, округ Биверхед в юго-западной Монтане (Ford, 1954; Winchell,

1911 а, б). В этом районе развиты докембрийские гнейсы, метадоломиты и пироксениты, интродуцированные согласными телами пегматитов. Графитовые жилы мощностью от $\frac{1}{8}$ до 2 футов приурочены к метадоломитам. В ассоциирующих с метадоломитами породах присутствует рассеянная вкрапленность чешуйчатого графита. По данным Форда (Ford, 1954), графитовая минерализация здесь моложе регионального метаморфизма и гранитной интрузии; графит приурочен к микротрещинам разрыва и не содержит посторонних включений и продуктов изменения. Видимо, эти концентрации графита относятся к эпитермальному типу и возникли за счет газообразных эманаций, содержащих углерод или углеводороды, в близкоповерхностных условиях при низких давлениях. Диллонские месторождения временами разрабатывались.

Главный тип графита, добывающегося в Южной Корее (Overstreet, 1947), относится к сырью типа пластовых месторождений, образовавшихся за счет метаморфизма каменных углей. Графит Род-Айленда в действительности представляет собой высокосортный метаантрацитовый каменный уголь (Quinn, Glass, 1958). Мелкие пластовые месторождения графита известны в юго-восточной части Нью-Мексико (Lee, 1913).

Запасы графита в США

Для США имело бы большое значение выявление новых крупных жильных и пластовых месторождений графита, что освободило бы страну от зависимости от иностранных источников сырья, особенно Цейлона и Мексики. Известные описания проявлений жильного графита в сложных метаморфических комплексах непосредственно свидетельствуют о потенциальных районах и направлениях поисков и разведок. Обнаружения пластовых месторождений можно ожидать в таких районах, где пласты каменного угля претерпели метаморфизм, особенно контактный. Темный цвет, субметаллический блеск и жирность графита, а также его устойчивость к выветриванию позволяют обнаружить этот минерал даже в том случае, если он присутствует в незначительном количестве. Следовательно, любое проявление нуждается в изучении даже с применением буровых работ, так как только в этом случае возможна достоверная его оценка.

США располагают собственными ресурсами кристаллического чешуйчатого графита. По Паллистеру и Тоенену (Pallister, Thoenen, 1948), в Алабаме имеется не менее 11 млн. т

выветрелых пород, содержащих около 60 фунтов на тонну извлекаемой графитовой чешуйки всех сортов, т. е. здесь сосредоточены запасы чешуйчатого графита до 330 тыс. т. Поскольку годовое потребление такого графита в США не превышает 10 тыс. т, эти запасы можно считать весьма значительными. Однако в течение многих лет для производства тиглей, твердых смазочных и набивочных материалов, а также для многих других целей используется в качестве стандартного сырья мадагаскарский чешуйчатый графит (Сатенгоп, 1956). Мадагаскарский графит отличается высокой кристаллическостью, жесткостью, однородностью и высоким содержанием углерода, он выдерживает все более жесткие год от года требования потребителей. Потребители с трудом переходят на другие виды сырья, требующие изменений в технологических процессах. Короче говоря, ломать сложившиеся соотношения в области потребления графита весьма трудно. Однако открытие крупных месторождений крупночешуйчатого графита в США или в Северной Америке в целом могло бы радикально изменить эту картину¹.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР известны и эксплуатируются месторождения всех главных типов графита: кристаллического чешуйчатого (в докембрийских гнейсах Украинского щита — Завальевское, Старокрымское, Петровское и др.; Сибирской платформы — Тамгинское, Безьянское близ Байкала; Малою Хингана — Союзненское), плотнокристаллического комового (Ботогольское в Восточном Саяне); огромны месторождения скрытокристаллического графита — Курейское и Ногинское в бассейне Нижней Тунгуски, Боевское и Брединское — на Урале и др. Отечественные чешуйчатые и плотнокристаллические графиты уступают по качеству мадагаскарскому и цейлонскому. У нас заметно развилось использование их заменителя — доменного графита. Большим достижением отечественного графитового производства была разработка новой методики тонкого помола графита на вибрационных мельницах, так как помол графита на мельницах истирающего действия вследствие его скользкости очень затруднителен.

В советской литературе более детально и обоснованно, чем у Бейтса, рассмотрены генетические типы месторождений графита. Так, среди плотнокристаллических графитов выделяются магматические месторождения (Ботогольское), в которых графит в виде гнезд, жил и рассеянной вкрапленности кристаллизовался из газовых составляющих магмы и локализовался непосредственно в изверженных породах, часто у захваченных блоков известняка. Этому типу противопоставляются пневматолитические месторождения плотнокристаллического графита в гнейсах (цейлонские). Чешуйчатые графиты встречаются в месторождениях: 1) метаморфического типа (в гнейсах — мадагаскарские, украинские и др.); 2) контактово-метасоматического типа (жилы и вкрапленность в графитоносных скарнах и мраморах на контакте с интрузиями — Онтарио и Квебек в Канаде, Карелия) и 3) в пегматитах (Канада). Промышленные скопления скрытокристаллического графита относятся преимущественно к типу контактово-метаморфизованных каменных углей. — *Прим. перев.*

ЛИТЕРАТУРА

- Alling H. L. (1917). The Adirondack graphite deposits, N. Y. State Museum Bull., 199.
- Bastin E. S. (1910). Origin of certain Adirondack graphite deposits, Econ. Geology, 5, 134—157.
- Bastin E. S. (1912). Graphite deposits of Ceylon, Econ. Geology, 7, 419—445.
- Beverly B., Jr. (1934). Graphite deposits in Los Angeles County, California, Econ. Geology, 29, 346—355.
- Brown J. S. (1925). Graphite deposits of Ashland, Alabama, Econ. Geology, 20, 208—248.
- Cameron E. N. (1956). The domestic graphite supply problem, Min. Eng., 8, 1020—1023.
- Chelf C. R. (1943). Graphite in Llano County, Texas, Tex. Bur. Econ. Geology, Min. Res. Survey Circ., 57.
- Clark T. H. (1921). The origin of graphite, Econ. Geology, 16, 167—183.
- Clemmer J. B. et al. (1941). Flotation of weathered graphitic schists for crucible flake, Ala. Geol. Survey Bull., 49.
- Ford R. B. (1954). Occurrence and origin of the graphite deposits near Dillon, Montana, Econ. Geology, 49, 31—43.
- Gwinn G. R. (1943). Graphite—natural and manufactured, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7266.
- Gwinn G. R. (1947). Graphite for manufacture of crucibles, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 583—586.
- Harrington J. W. (1947). The origin and importance of the Raleigh graphite, Jour. Geology, 55, 516—521.
- Hess F. L. (1909). Graphite mining near La Colorada, Sonora, Mexico, Eng. Mag., 38, 36—48.
- Hess F. L. (1910). Graphite mining in Mexico, Saginaw, Mich., United States Graphite Co.
- Hornaday W. D. (1912). The Santa Maria graphite mines, Mexico, Min. and Eng. World, 37, 1041—1043.
- Lee W. T. (1913). Graphite near Raton, N. M., U. S. Geol. Survey Bull., 530, 371—374.
- Miller W. T., Sanford R. S. (1949). Investigation of Suffern graphite deposits, Rockland County, New York, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4438.
- Miller B. L. (1912a). Graphite deposits of Pennsylvania, Pa. Topog. and Geol. Survey Rept., 6.
- Miller B. L. (1912b). The geology of the graphite deposits of Pennsylvania, Econ. Geology, 7, 762—777.
- Needham A. B. (1946). Mining and milling operations of the Southwestern Graphite Co., Burnet County, Texas, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7339.
- Overstreet W. C. (1947). Graphite deposits of southern Korea, Econ. Geology, 42, 424—4235.
- Paige S. (1911). Graphite in the Llano-Burnet region, Texas, U. S. Geol. Survey Bull., 450, 77—82.
- Pallister H. D., Smith R. W. (1947). Alabama flake graphite in World War II, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 480—490.
- Pallister H. D., Thoenen J. R. (1948). Flake-graphite and vanadium investigation in Clay, Coosa, and Chilton counties, Ala., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4366.
- Perry E. S. (1948). Talc, graphite, vermiculite, and asbestos in Montana, Mont. Bur. Mines and Geology Memoir, 27, 13—21.

- Prouty W. F. (1917). Geology and distribution of graphite in Alabama, Ala. Geol. Survey Bull., 19.
- Quinn A. W., Glass H. D. (1958). Rank of coal and metamorphic grade of rocks of the Narragansett Basin of Rhode Island, Econ. Geology, 53, 563—576.
- Sanford R. S., Lamb F. D. (1949). Investigation of the Benjamin Franklin graphite mine and the Just graphite mine, Chester County, Pa., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4530.
- Shelley J. W. (1916). Graphite in Madagascar, Mining Mag., 14, 324—330.
- Spence H. S. (1920). Graphite, Canada Dept. Mines, Mines Branch Bull., 511.
- Wadia D. N. (1943). A brief account of the mineralogy of the graphite deposits of Ceylon, a note on the origin of the graphite, Ceylon Dept. Mineralogy, Records, Prof. Paper 1, 15—24.
- Winchell A. N. (1911a). A theory for the origin of graphite as exemplified in the graphite deposit near Dillon, Montana, Econ. Geology, 6, 218—230.
- Winchell A. N. (1911b). Graphite near Dillon, Mont., U. S. Geol. Survey Bull., 470, 528—532.

АСБЕСТ

Введение

Имеется несколько минеральных видов, формы выделения которых представляют собой прочное гибкое волокно. В тех случаях, когда такие волокна имеют достаточную длину, из них можно получать пряжу и ткани, подобно тому как это делается из хлопка и шерсти; короткие же разновидности минеральных волокон обладают другими ценными свойствами. Ко всем волокнистым минералам преимущественно применяется название *асбест*. Таким образом, этот последний термин имеет скорее прикладной смысл, отражая не столько минеральную природу, сколько свойство вещества. Около 95% мировой продукции асбеста приходится на волокнистый *хризотил*, который и рассматривается в настоящем разделе в геологических аспектах. Меньшее значение имеют три асбестовидных минерала из группы амфибола — амосит, крокидолит и антофиллит, которые кратко описаны на стр. 599.

Хризотил — волокнистая форма серпентина, водного силиката магния, состава которого отвечает формуле $3\text{MgO} \cdot \times 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Он слагает в темно-зеленых серпентинитах жилки мощностью преимущественно не более дюйма. Таким образом, жилки полезного ископаемого и вмещающие их породы имеют одинаковый состав, различаясь лишь физическими свойствами. Хризотил-асбест встречается в виде шелковистых волокон, и в случае их ориентировки перпендику-

лярно стенкам жилок носит название *поперечноволоконистого*, а при ориентировке волокон более или менее параллельно поверхностям скольжения на стенках жилок он называется *волоконном скольжения* (slip fiber)¹. Наиболее распространен поперечноволоконистый асбест. В плотном куске хризотил-асбест обладает зеленой или желтовато-зеленой окраской и перламутровым блеском, но после дезагрегации на отдельные волокна, или, как говорят, «фибризации» (fiberized)², он превращается в белую пухоподобную массу, похожую на хлопок. Электронно-микроскопическими исследованиями доказано, что каждое отдельное волокно хризотила представляет собой полый цилиндрический трубчатый кристалл (Vates et al., 1950)³.

В наибольших количествах хризотил-асбест добывается в канадской провинции Квебек, Южной Родезии, СССР и Южно-Африканской Республике. Большая часть канадского асбеста вывозится в США. США — крупнейший производитель асбестовой продукции, но добывают асбест в резко недостаточном для своих нужд количестве. Небольшие месторождения хризотил-асбеста США расположены в Вермонте и Аризоне.

Существует несколько весьма полезных обобщающих работ, посвященных асбесту. Детальные обзоры асбестовой промышленности были опубликованы Баулсом (Bowles, 1955, 1959). В этих обзорах приводятся история развития асбестовой промышленности, описания месторождений асбеста в США и других странах, сведения о поисках и разведке, методах добычи и обогащения, а также сортаментация сырья. В 1955 г. была опубликована сводка Строу (Straw, 1955) по месторождениям хризотил-асбеста всего мира. Все промышленные месторождения хризотил-асбеста Канады описаны в сборнике из девяти статей (Riordon et al., 1957). В 1958 г. опубликована аннотированная библиография по ресурсам асбеста США и Канады (Avery et al., 1958). Много статей по геологии асбестовых месторождений и технологии переработки асбеста публикуются в отраслевом журнале «Asbestos», выходящем ежемесячно с 1919 г.

¹ В советской литературе такой асбест носит название *продольно-волоконистого*. — *Прим. перев.*

² В отечественной практике эта операция называется *распушением* асбеста. — *Прим. перев.*

³ См. также более новую работу: Бейтс Т. Ф., Комер Дж. Дж., Новое в морфологии хризотила и галлуазита (1959), сб. «Вопросы минералогии глины», ИЛ, М., 1962. — *Прим. ред.*

Свойства

Настоящий и следующий разделы, посвященные свойствам и использованию асбеста, относятся как к хризотилловому, так и амфиболовым (стр. 599) разновидностям этого полезного ископаемого.

Наиболее важная физическая особенность асбеста — его волокнистое строение. В отличие от таких волокнистых материалов, как хлопок, шерсть и шелк, обладающих очень постоянным и довольно большим диаметром волокон, тоньше которого расщепить их не удастся, асбестовое волокно можно разделять на чрезвычайно тонкие нити. Эти тончайшие нити необычайно гибки, в связи с чем из них можно изготовлять пряжу и ткань. Каждое асбестовое волокно обладает высокой прочностью на разрыв, однако изготовление пряжи из одного асбеста без добавок других материалов затруднительно, так как длина асбестового волокна в большинстве случаев колеблется в пределах от $\frac{1}{4}$ до $\frac{3}{4}$ дюйма. С целью увеличения прочности асбестовых изделий в пряжу добавляют примеси органических волокон, например хлопка или вискозы, количество которых колеблется в зависимости от назначения асбестовых тканей.

Асбестовое волокно огнестойко и устойчиво до температуры около 260° . Ценность асбеста как теплоизоляционного материала заключается в сочетании его огнестойкости и волокнистости, что позволяет изготовлять из него пористые термоизоляционные покрытия. Амфибол-асбесты — крокидолит и антофиллит — обладают высокой кислотостойкостью. Свойства асбеста детально рассмотрены в работе Бадолле (Badollet, 1951).

Физические свойства асбестов зависят от их химического состава, и все асбестовые минералы в этом отношении ведут себя по-разному. Наиболее устойчивыми свойствами обладает хризотил-асбест, несмотря на то что небольшие количества магния в нем могут замещаться другими металлами. Наиболее характерная черта амфиболовых асбестов — взаимные замещения различных атомов, в связи с чем амфибол-асбестовые волокна из разных месторождений значительно различаются по своим свойствам.

Применение

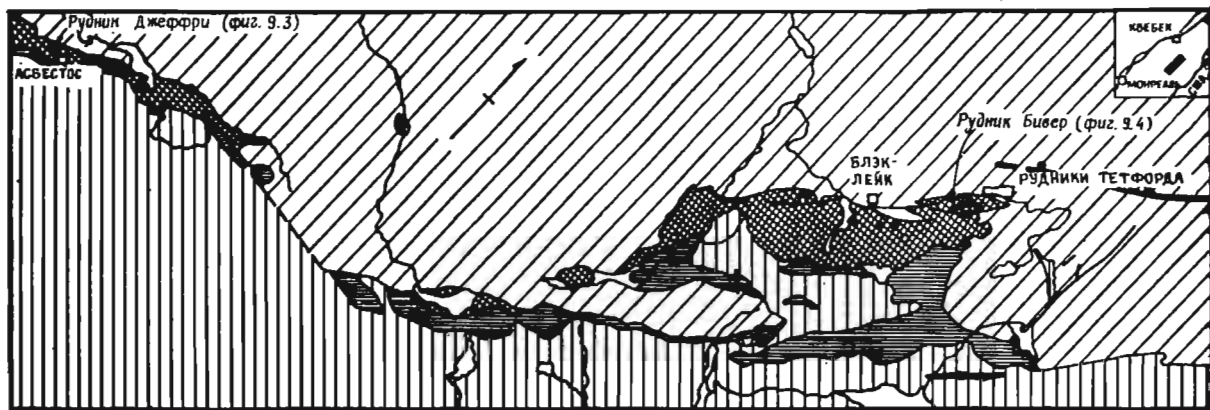
В зависимости от использования различают два класса асбестов — текстильное и нетекстильное волокно¹. Ниже

¹ В СССР нетекстильное волокно относят в группу строительных сортов. — *Прим. перев.*

кратко рассматриваются сферы использования этих двух типов асбестового сырья. Более подробно с этим вопросом можно ознакомиться в работе Баулса (Bowles, 1955, стр. 12—15).

К *текстильному волокну* относят наиболее длиноволокнистые сорта хризотил- и крокидолит-асбеста. Из него изготавливаются асбестовая нить, пряжа, тесьма и ткань. Немногие виды использования текстильного асбестового волокна представляют собой ткани фрикционных лент тормозных колодок и дисков сцепления, огнестойкие театральные занавеси и декорации, сальники, огнестойкие одежды, одеяла и драпировки, химические фильтры, термостойкие конвейерные ленты. Из скрученной и сплетенной асбестовой пряжи получают различного вида упаковочные материалы. К *нетекстильному волокну* относятся более коротковолокнистые сорта хризотил- и крокидолит-асбеста, а также все сорта амозит- и антофиллит-асбеста. В большинстве случаев этот вид асбестового волокна используется в изделиях, получаемых способами штамповки, формования и отливки, причем асбест здесь играет роль волокноподобного наполнителя в связующем веществе. Из смеси асбеста с портланд-цементом получают кровельные материалы, картон и гофрированные панели; широко используемый современный кафель для пола состоит из 35% асбеста в сочетании с асфальтом или пластмассами; в промышленный изоляционный материал, так называемую 85%-ную магнезию (стр. 241), вводится 15% асбеста (для этой цели наиболее пригоден амозит-асбест). Кроме того, коротковолокнистый асбест используется для изготовления асбоцементных труб, штампованных фрикционных лент тормозных колодок и покрытий дисков сцепления, а также бумаги, применяемой в различных целях. Использование асбестовой бумаги началось очень давно, о чем можно судить по следующему сообщению Баулса (Bowles, 1955, стр. 11): «Асбестовая бумага была известна уже в 1700 г., когда некто профессор Бракман использовал ее для своих писаний, однако реального воплощения этот «вечный» труд не нашел, так как асбестовая бумага, хотя и была огнестойкой, не воспринимала печать»¹.

¹ Использование асбеста расширяется. Ежегодно появляются десятки новых материалов и изделий в композиции с асбестом, разрабатываются новые технологические процессы его переработки. В 1962 г. были, в частности, запатентованы способы производства некоторых асбестовых изделий в неупомянутых Бейтсом видах его использования: тонких фильтров (для частиц 0,3 м и меньше), коллоидальных пленочных покрытий бумаги, улучшающих ее качество, ряда типов пластмасс, металлических отливок с упрочивающим каркасом из асбестовых мат, брусков удобрений



1



3



4



6



2



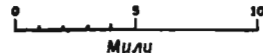
5



7



8



Мили

Фиг. 9.2. Схематическая геологическая карта центральной и южной частей Тетфордского асбестоносного пояса, восточный Квебек. Месторождения, приведенные на фиг. 9.3 и 9.4, показаны на карте стрелками. (По работе Riordon et al., 1957, фиг. 1.)

1—группа Босвиль (ордовик), глинистые сланцы, вулканические породы, брекчи; 2—группа Колдуэлл (кембрий), кварциты, глинистые сланцы, кристаллические сланцы, вулканические породы; 3—5—интрузивные породы; 3—граниты, 4—габбро и пироксениты, 5—перидотиты; 6—8—состояние рудников на 1957 г.: 6—действующие, 7—подготавливаемые, 8—недействующие.

Тетфордский пояс, Квебек

Ведущий асбестпроизводящий район мира — Тетфордский асбестоносный пояс в Канаде, охарактеризованный в работах Кука (Cooke, 1936), Фесслера и Бадолле (Faessler, Badollet, 1947), а также Риордона и др. (Riordon et al., 1957). Тетфордский пояс протягивается в северо-восточном направлении на востоке провинции Квебек на расстояние около 60 миль при ширине 5—6 миль (фиг. 9.2). Северное окончание пояса находится у Ист-Бротона, в 40 милях южнее Квебек-Сити, а юго-западное его окончание — у города Асбестос, в 90 милях на восток-северо-восток от Монреаля. Тетфордский пояс располагается в пределах Аппалачской геологической провинции, которая отграничена от располагающегося северо-западнее нее равнинного региона Сент-Лоренс надвигом Логан. Рельеф характеризуется ориентированными в северо-восточном направлении цепями невысоких антиклинальных возвышенностей с широкими долинами между ними, гипсометрические отметки которых колеблются в пределах 900—1000 футов. Район дренируется притоками реки Святого Лаврентия, текущими в северо-западном направлении.

В Тетфордском поясе имеются четыре наиболее крупных центра добычи асбеста (с севера на юг): Ист-Бротон, рудники Тетфорд, Блэк-Лейк и Асбестос. В 1957 г. функционировало двенадцать рудников, три рудника находились в состоянии подготовки и не менее двух месторождений разведывалось. К числу действующих горнодобывающих предприятий относится и знаменитый рудник Джеффри у Асбестоса, крупнейший асбестовый рудник в мире (фиг. 9.3). Добыча асбеста в районе производится почти непрерывно с 1876 г. К 1900 г. ежегодная добыча асбестового волокна составляла более 10 тыс. т, а менее чем через столетие годовая производительность Тетфордского асбестоносного района превысила 1 млн. т волокна общей стоимостью около 80 млн. долл.¹ Более 90% хризотил-асбеста, используемого в США, вывозится из месторождений Тетфордского пояса.

с асбестовым наполнителем, прокладок для аппаратуры, работающей при сверхнизких температурах, и т. д. Бейтс забыл упомянуть о различных асбестобезиновых изделиях и о сравнительно малом, но важном и специфическом виде использования крокидолит-асбеста (синего асбеста) в качестве наполнителя в картонах-фильтрах, абсорбирующих радиоактивные пыль и газы (Sinclair W. E., Asbestos, its origin, production and utilization. London, 1950). — *Прим. перев.*

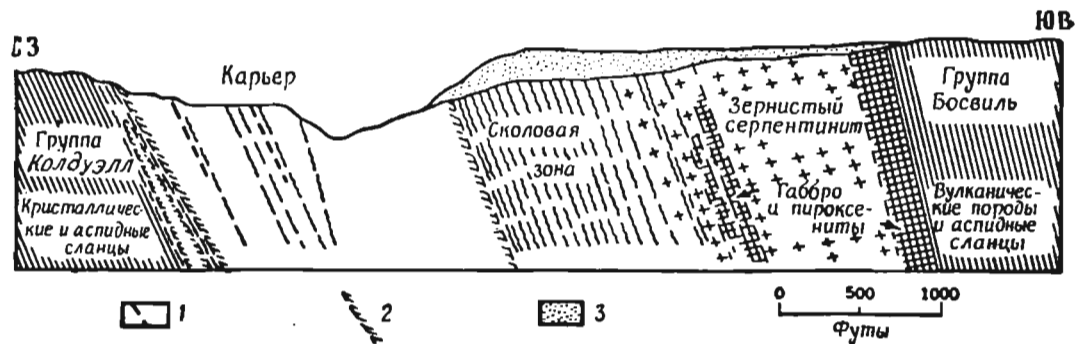
¹ В 1962 г. мировая добыча асбеста (тыс. т) — 3055 (ежегодный прирост в 1957—1962 гг. около 250 тыс. т), в том числе: Канада 1276, ЮАР 221, Федерация Родезии и Ньясаленда 142, КНР 90, Италия 61, США 53;

Геология района очень сложная, и, несмотря на многолетние исследования, единая точка зрения на последовательность геологических событий до сих пор не выработана. Опуская некоторые существующие разногласия, главные черты геологической истории региона можно охарактеризовать следующим образом.

Вслед за накоплением мощной серии кембрийских (или докембрийских) осадочных и вулканических пород в доордовикское время в районе произошло складкообразование, проявились разрывные тектонические нарушения и региональный метаморфизм, приведшие в конечном счете к формированию толщи кристаллических и аспидных сланцев и метабазальтов, получившей название группы Колдуэлл. Эти породы с резким угловым несогласием были перекрыты ордовикскими глинистыми сланцами с небольшим количеством прослоев пирокластических и излившихся вулканических пород. Вслед за этим в период таконского орогенеза вновь проявились интенсивная складчатость и метаморфизм средних ступеней, в результате чего ордовикские глинистые породы превратились в аспидные сланцы (группа Босвиль). Таконская складчатость в регионе имеет северо-восточную ориентировку. Главная ось восходящих движений — антиклиналь Саттон — представлена грядой холмов, протягивающихся параллельно асбестоносному поясу к северо-западу от него.

Также в период таконского диастрофизма толща была механически интродуцирована длинными узкими прерывистыми силлоподобными телами основных и ультраосновных пород. Эти тела в общем согласны с региональным простиранием вмещающих пород и приурочены преимущественно к главной поверхности несогласия между группами Колдуэлл и Босвиль (фиг. 9.2). Более ранние интрузии, представленные перидотитами, быстро сменились во времени последующей интрузивной фазой, главным образом пироксенитами и габбро. Местами все эти типы пород, очевидно, представляют собой интрузивные фации, постепенно переходящие друг в друга. Асбестовые месторождения приурочены к перидотитам, наиболее распространенным изверженным породам в пределах большей части Тетфордского пояса. Вскоре после

более 10 тыс. т также Свазиленд, Франция, Кипр, Бразилия, Австралия, Япония, Финляндия. В ЮАР добывался преимущественно амозит- и крокидолит-асбест, в Финляндии — антофиллит-асбест. В США в последние годы заметно оживилась добыча хризолит-асбеста в Калифорнии, однако по-прежнему более 90% использованного в США асбеста было импортировано в основном из Канады и меньше из Южной Африки. — *Прим. перев.*



Фиг. 9.3. Разрез месторождения Джеффри Асбестос, Квебек. Расположение рудника показано на фиг. 9.2. Необычайно мощное и распространенное на глубину рудное тело сетется многочисленными сколовыми зонами и маломощными интрузивами. Общая протяженность разреза — около 1,2 мили. (По работе Allen, Gill, Koski в книге Riordon et al., 1957.)

1 — дайки гранитов; 2 — границы рудного тела; 3 — породы вскрыши и отвалы.

внедрения породы обеих интрузивных фаз были частично серпентинизированы, вероятно, под воздействием поздних гидротермальных растворов, отщеплявшихся от самой ультраосновной магмы. Это изменение проявилось в интрузивных массивах повсеместно. Наиболее чувствительны к серпентинизации были перидотиты, измененные на 40—80%. Измененные подобным образом породы получили название *серпентинизированных перидотитов* или *серпентинитов*. Они выходят на поверхность в пределах юго-восточного крыла антиклинали Саттон-Рандж, образуя так называемый *серпентинитовый пояс*.

Следующий период геологической активности в районе приходится на девонское время. В течение акадской орогении породы серпентинитового пояса были подняты и подвергались скручивающим и другим тектоническим напряжениям, в связи с чем возникли бесчисленные трещины отдельности и растяжения, сколовые зоны и разломы. По некоторым приоткрытым трещинам внедрились маломощные дайки гранитов и аплитов. После этого проявилась вторая стадия серпентинизации под воздействием растворов, связанных с гранитными интрузивами. Отличие этой стадии серпентинизации от первой заключается в том, что она преимущественно приурочена к зонам скола и трещиноватости. Растворы обуславливали полную серпентинизацию пород вдоль трещин, по которым они просачивались, и, что особенно важно, вызывали формирование жилок хризотил-асбеста. Ветвящиеся асбестовые жилки образовывали сложные штокверки в крупных телах серпентинитов.

Фесслер и Бадолле (Faessler, Badollet, 1947, стр. 167) полагают, что первичная интрузия ультраосновных пород происходила в температурном интервале 900—1200°, вторая фаза серпентинизации осуществлялась при температуре около 500°, а образование хризотил-асбеста — около 350°. В условиях понижения температуры, на завершающих стадиях акадской орогении кристаллизовались известково-магнезиальные силикаты, в том числе тальк (250°), а также цеолиты и карбонаты (менее 200°). Глубокая эрозия в последевонское время вывела асбестоносные породы на дневную поверхность.

Хризотил-асбест слагает мельчайшие невыдержанные жилки, тонкие линзочки, а также и относительно выдержанные жилы протяженностью до нескольких десятков футов. Асбестовые жилки залегают без видимой связи с региональной структурой и секут серпентиниты во всевозможных направлениях. Максимальная мощность асбестовых жил — 4 дюйма, однако более 99% волокна получают из жил мощ-

ностью менее $\frac{3}{8}$ дюйма. Асбестовое волокно имеет окраску от яблочно-зеленой до оливково-коричневой и по свойствам меняется от шелковистого и мягкого до «жесткого» и твердого. В большинстве случаев хризотил-асбест поперечно-локнистый; волокна его протягиваются непрерывно от стенки до стенки поперек жилки, либо внутри жилки имеются одна или несколько поверхностей раздела¹, параллельных зальбандам. На поверхностях раздела присутствуют тонкие неправильные прослоечки и линзочки тонкозернистого магнетита, а в участках пересечения жилок обычно развит рассеянный магнетит. В некоторых жилах имеются угловатые включения вмещающих пород. Зальбанды жилок резкие, и волокно легко от них отделяется. По простираанию линзовидные жилы или резко обрываются, или постепенно переходят во вмещающие серпентиниты. В сильно рассланцованных серпентинитах в пределах сколовых зон встречается продольноволокнистый асбест, образующий довольно беспорядочно ориентированные агрегаты. Продольноволокнистый асбест развивается на поверхностях скольжения и, таким образом, имеет посттектонический возраст².

Описанная выше жильная система отличается заметным образом от обычных систем жил, например наблюдающихся на месторождениях горного хрусталя (стр. 303) или флюорита (стр. 403). Так, в данном случае жильный материал имеет разные с вмещающими породами физические свойства, но идентичен с ними по химическому составу; в жилах почти или совершенно отсутствуют полости; отдельные жилы линзообразной формы не связаны с другими, и, очевидно, они образовывались самостоятельно в небольших закрытых системах. Эти и многие другие особенности асбестовых месторождений приводили в замешательство геологов, стремящихся уяснить генезис хризотил-асбеста. Как же возникают жилы волокнистого хризотила в серпентинитах?

В 1936 г. Кук (Сооке, 1936) рассмотрел три главные гипотезы и склонился к одной из них, как наиболее вероятной. В соответствии с первой из этих гипотез жилы асбеста воз-

¹ В советской литературе такие поверхности получили название *просечек*. — *Прим. перев.*

² Бейтс не упомянул о зональности в распределении типов жил на месторождениях хризотил-асбеста, определяющей положением в пространстве между подводящими растворами тектоническими нарушениями и слабо серпентинизированными ядрами перидотитов, расположенными между разломами. Эта зональность и типы жилкования особенно четко были описаны П. М. Татариновым и затем неизменно использовались геологами-асбестовиками; см. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6, М., Изд-во АН СССР, 1962. — *Прим. перев.*

ники в результате метасоматического замещения вмещающих пород. Однако более чем в 50% случаев в асбестовых жилах отсутствует центральная трещина или какая-либо поверхность раздела, от которой могло развиваться метасоматическое замещение, а стенки жил обычно прямолинейные и гладкие, тогда как для метасоматических образований типичны неправильные границы. Другая гипотеза рассматривает хризотил-асбест в качестве продукта выполнения открытых трещинных полостей. Представляется, однако, невероятным, чтобы столь сложная система трещинных полостей, составляющих в сумме, вероятно, 10% общего объема породы, смогла бы когда-либо приоткрыться. Кроме того, такие жилы выполнения должны были бы иметь более разнообразные мощности, нежели это наблюдается в действительности, а непрерывное поперечноволоконистое выполнение жил едва ли позволяет считать правильным предположение о росте асбеста от зальбандов жил.

Третья гипотеза, впервые выдвинутая Тейбером (Taber, 1917) и развитая Куком (Cooke, 1936), заключается в том, что хризотил-асбест начинал кристаллизоваться в мельчайших трещинах, настолько сжатых, что развиться в них могли лишь тончайшие иголки асбеста. Волокно росло в оба конца и раздвигало в процессе непрерывного роста стенки. Раздвижению стенок способствовали существовавшие во вмещающей породе напряжения, возникшие под воздействием тектонических сил. Жильный материал привносился в газообразной или очень подвижной жидкой фазе, вероятно водной, которая насыщала сжатые трещинки и поры около них. Однако образование хризотил-асбеста осуществлялось лишь в участках, где флюидная фаза истекала в приоткрытые трещины, и волоконистый хризотил в трещинах образовался из материала, удаленного из зоны изменения (серпентинизации) с какой-либо стороны от трещины.

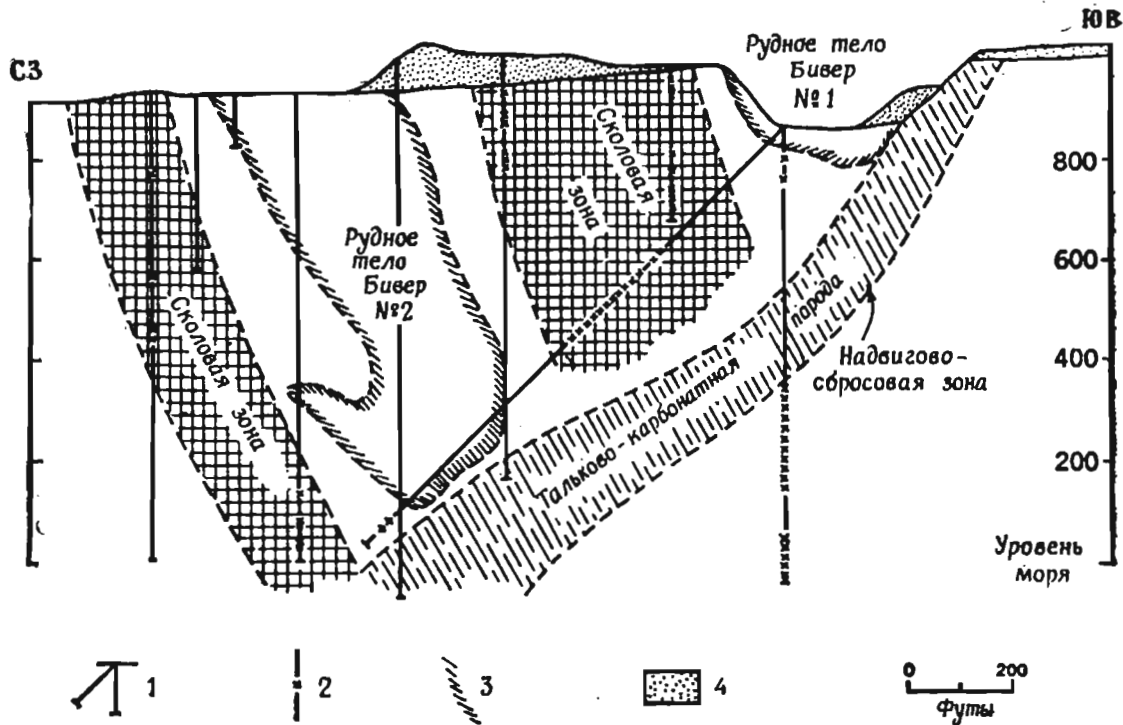
Гипотеза генезиса образования хризотил-асбеста Тейбера — Кука, вероятно, наиболее широко принята. Однако она была поставлена под сомнение Риордоном (Riordon, 1955, 1957). По мнению этого исследователя, в ультраосновных породах по многочисленным трещинам циркулировали кремнеземсодержащие растворы, обуславливающие метасоматическое возникновение за счет серпентинита узких лент коллоидального серпентина, а также переотложения такого серпентинового геля в открытых трещинных полостях. Весь этот коллоидальный материал затем кристаллизовался в виде агрегатов серпентина столбчатой формы, так называемого пикролита. В условиях контракции серпентинитовых масс в

процессе охлаждения «ориентированное давление благоприятствовало перекристаллизации пикролита в асбест» (Riordon, 1955, стр. 75)¹. Представления Риордона отличаются от гипотезы Кука не только положением о наличии стадий серпентинового геля и пикролита, но и существенно иной трактовкой времени образования хризотил-асбеста. Если причиной натяжений в ультраосновной породе было преимущественно охлаждение, а не тектонические напряжения, то образование асбеста должно было происходить на поздних этапах таконской орогении, а не много миллионов лет спустя в период акадского диастрофизма.

При добыче хризотил-асбеста производят валовую выемку асбестоносных пород. Поскольку содержание волокна в них составляет лишь немногие проценты, приходится при этом перерабатывать огромное количество горной массы. На отдельных рудниках объем вынимаемой ежедневно горной массы колеблется от 1,2 до 15 тыс. т. Наибольшая производительность достигается в карьерах, иногда имеющих гигантские размеры (фиг. 9.3, 9.4). В настоящее время, однако, наблюдается тенденция к переходу на подземные работы с применением системы отработки с маганизированием или более производительной системы с массовым поэтажным обрушением.

Как отмечает Баулс (Bowles, 1955, стр. 74), уникальное своеобразие процесса обогащения асбеста заключается в том, что при этом необходимо отделить волокнистую форму от массивного агрегата минерала того же состава. Следовательно, при обогащении асбеста нельзя воспользоваться ни особенностями химического состава, ни удельным весом выделяемого полезного компонента. При обогащении асбеста рудная масса дробится и подвергается сушке. После вторичного

¹ Аналогичные предположения о взаимоотношениях серпофита (пикролита Риордона) и хризотил-асбеста высказывались ранее Ф. В. Сыромятниковым (в книге Академику Д. С. Белянкину, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946). Иначе взаимоотношения этих серпентиновых минералов рассмотрены на детальном материале Б. Я. Меренковым (Тр. ИГЕМ АН СССР, вып. 22, 1958). Представления о коллоидной исходной природе серпентиновых минералов и хризотил-асбеста высказываются давно (например, Mügge, N. Jahrg. Min., Geol. u. Paläont., A., 1928, 58; Шелягин В. В., Мин. сырье, 1931, № 1). В последнее время эти взгляды убедительно развиты в советской литературе, и в связи с раскристаллизацией хризотил-асбеста из асбогеля в контракционных трещинах получила дополнительное объяснение зональность асбестовых месторождений (Еремеев В. П. и др., Тр. ИГЕМ АН СССР, М., вып. 31, 1959). Особенно детально этот вопрос рассмотрен в упомянутой работе Б. Я. Меренкова, где также обстоятельно обсуждаются многие гипотезы асбестообразования. — *Прим. перев.*



Фиг. 9.4. Разрез через месторождение Бивер в районе Тетфорда, Квебек. Расположение рудника показано на фиг. 9.2. Белое поле на разрезе — серпентинизированный перидотит. Инъекции снетита преимущественно приурочены к сколовым зонам и лежащему боку Тетфордской надвигово-сбросовой зоны. (По работе Riordon et al., 1957. 14.)

1 — колонковая скважина алмазного бурения; 2 — снетиты; 3 — границы рудного тела; 4 — породы вскрыши и отвала.

дробления обогащаемый материал поступает на вибрирующие сита, на которых плотные твердые частицы скапливаются в нижнем слое, а рыхлое волокно в верхнем. Затем волокно удаляется с сит посредством всасывания воздухом, осуществляющегося по принципу действия вакуумного пылесоса. Неоднократное циклическое повторение такой операции обеспечивает максимальное извлечение волокна и минимальные его потери.

Методы добычи и обогащения асбеста кратко описаны Баулсом (Bowles, 1955, стр. 71—79), а более детально с приведением иллюстраций рассмотрены в работах Райса (Rice, 1948) и Строу (Straw, 1955, стр. 612—619). Многочисленные статьи также публикуются в журнале «Asbestos».

После второй мировой войны запасы хризотил-асбеста всех сортов оказались небольшими, что способствовало развитию разведочных и эксплуатационных работ. При этом было установлено, что поиски серпентинитовых массивов можно успешно вести посредством магнитометрической съемки даже в тех случаях, когда они находятся на значительной глубине. Возможность применения аэромагнитной разведки создала предпосылки к быстрому изучению перспектив асбестоносности на больших площадях с относительно невысокими затратами средств. Геофизическими методами была опоскована большая часть Тетфордского асбестоносного пояса, а также многие другие районы. После выявления серпентинитового массива дальнейшие разведочные работы ведутся с применением алмазного колонкового бурения и других обычных способов — шурфами, канавами и подземными горными выработками. Так, в 1948 г. асбестоносные породы были обнаружены под озером Блэк-Лейк в южной части Тетфордского пояса, затем здесь было пройдено при разведочных работах 75 тыс. футов буровых скважин и около 5 тыс. погонных футов подземных горных выработок. В 1954 г. на месторождении одновременно проводились дорогостоящие и трудоемкие дренажные и землечерпательные работы. Эксплуатация месторождения началась в 1958 г.

Методы поисков и разведки хризотил-асбеста рассмотрены в работах Фостера и Боррора (Foster, Borrer, 1947), Лоу (Low, 1951), а также Мессела (Messel, 1947, 1949). Баулс (Bowles, 1955, стр. 70) приводит следующий перечень показателей, которые необходимо оценивать на новом месторождении хризотил-асбеста перед началом эксплуатационных работ.

1. Качество волокна, особенно его прочность и гибкость.
2. Длина волокна. Особенно желательно выявление текстильных сортов с длиной волокна не менее $\frac{3}{8}$ дюйма, хотя бы в сравнительно небольшой пропорции по отношению к общему количеству асбеста.
3. Содержание волокна в породе. Оно не должно быть ниже, как правило, 4,5—5% от размолотой горной массы, и лишь при особенно высоком качестве волокна допустимы меньшие его содержания.
4. Запасы волокна. Запасы хризотил-асбеста, выявленные колонковым бурением, должны оправдывать крупные капиталовложения и обеспечить прибыль не менее чем в течение 20 лет.
5. Экономические факторы. Они включают стоимость добычи, энерго- и водоснабжение, возможности транспортировки и резервы рабочей силы.

Другие месторождения

Промышленные месторождения хризотил-асбеста обнаружены на всех континентах. Все крупные месторождения приурочены к серпентинизированным перидотитам, и главная их особенность — замечательное сходство с Тетфордским асбестоносным поясом Квебека. На втором месте после Квебека по годовой добыче асбеста находится Южная Родезия (Badollet, 1950), другой важный асбестопроизводящий район в Африке — провинция Трансвааль в ЮАР, непосредственно граничащая с Южной Родезией. Третий асбестоносный район мирового значения — Баженовский на Урале в СССР (Rukeyser, 1933). В Канаде в начале 50-х годов открыты два потенциально асбестоносных района в западной части провинции Онтарио и на юге Британской Колумбии (Hendry, 1951; Riordon et al., 1957). Другие многочисленные месторождения хризотил-асбеста мира описаны в весьма полной сводке Стру (Straw, 1955).

Добыча хризотил-асбеста в США производится лишь на двух месторождениях, одно из которых расположено в северном Вермонте (Badollet, 1948), а другое — в центральной части Аризоны (Bateman, 1923; Stewart, 1955; Wilson, Butler, 1928). Более 90% отечественной продукции хризотил-асбеста США приходится на вермонтское месторождение, расположенное на южном продолжении Тетфордского асбестоносного пояса.

Аризонское месторождение относится к числу немногих известных случаев образования скоплений хризотил-асбеста в серпентинитах, возникших не за счет ультраосновных пород, а в результате изменения известняков. Здесь известняки докембрийской формации Мескал интенсивно интродуцированы силлами диабазов, от которых отделялись растворы, серпентинизировавшие некоторые пласты известняков. Поперечно-волокнистый хризотил-асбест слагает жилы, ориентированные параллельно напластованию вмещающей толщи. Бэтман

(Bateman, 1923, стр. 677—680) отмечал линзовидный характер некоторых жил, но подчеркивал при этом, что у зон серпентинитов, несущих асбестовые жилки в таких участках, мощность не увеличивается. В связи с этими наблюдениями Бэтман пришел к выводу, что в процессе роста поперечно-волоконного асбеста не происходило раздвигания стенок жил. Маловероятным также представляется возникновение хризотил-асбеста в результате выполения открытых полостей, так как вес вышележащей толщи должен был препятствовать приоткрыванию каких-либо горизонтальных трещин. Бэтман полагает, что хризотил-асбест должен был расти метасоматически за счет серпентинита вверх и вниз от тонких трещин. При незначительных изменениях состава, давления или температуры гидротермальных растворов, поступавших из диабазов, серпентин становится неустойчивым и вместо него кристаллизовался стабильный в новых условиях хризотил-асбест. При объяснении происхождения жил хризотил-асбеста в серпентинитовых массивах квебекского типа даже в первом приближении не удается получить таких же доказательств как в части проявления напряжений и признаков увеличения объема породы, так и по поводу возможного существования открытых полостей. Хотя содержание асбеста на аризонском месторождении незначительно и он здесь никогда не добывался в больших количествах, этот тип хризотил-асбеста представляет ценность в связи с исключительной длиной волокна, низким содержанием железа и высокими придильными качествами¹.

¹ **Заключительные замечания.** СССР занимает первое место в мире по запасам и производству хризотил-асбеста. В течение длительного периода добыча асбеста у нас была почти целиком сосредоточена на крупнейшем в мире Баженовском месторождении в Свердловской области, приуроченном к крупному массиву гипербазитов. Недавно начали действовать еще два очень крупных асбестовых комбината — Актотракский в Туве и Джетыгаринский в Кустанайской области, — также на месторождениях хризотил-асбеста, связанных с гипербазитами. Из амфибол-асбестов в СССР в заметных количествах добывается антофиллит-асбест на месторождениях Сысертского района Свердловской области. Хризотил-асбестовая промышленность СССР — одна из самых передовых по уровню механизации. В последнее время усилия исследовательских организаций направлены на изучение методов полного извлечения короткого волокна, значительная часть которого уходила до сих пор в отвалы, а также на совершенствование технологии распушения волокна. Так, в 1962 г. был запатентован новый отечественный способ распушения асбеста при повышенной температуре и насыщении кусков асбеста подкисленной водой под давлением 30—32 атм. Проведены значительные работы по расширению сырьевой базы амфибол-асбеста, обладающего рядом свойств, отсутствующих у хризотила. Выявлены (в значительной мере в результате исследований Ю. К. Андреева) и частично эксплуатируются месторождения

ЛИТЕРАТУРА

- Avery R. B., Conant M. L., Weissenborn H. F. (1958). Selected annotated bibliography of asbestos resources in the United States and Canada, U. S. Geol. Survey Bull., 1019-L.
- Badollet K. (1948). The geology of asbestos deposits, I, Vermont, Asbestos, 29, № 9, 4—10.
- Badollet K. (1948). The geology of asbestos deposits, II, Arizona, Asbestos, 30, № 3, 4—10.
- Badollet K. (1950). Geology of asbestos deposits in Southern Rhodesia, Asbestos, 32, № 2, 4—8.
- Badollet M. S. (1951). Asbestos, a mineral of unparalleled properties, Can. Min. and Met. Bull., 44, 237—246; Can. Inst. Min. and Met. Trans., 54, 151—160.
- Bain G. W. (1932). Chrysotile asbestos, II, Chrysotile solutions, Econ. Geology, 7, 281—296.
- Bateman A. M. (1923). An Arizona asbestos deposit, Econ. Geology, 18, 663—680.
- Bates T. F., Sand L. B., Mink J. F. (1950). Tubular crystal of chrysotile asbestos, Science, 111, 512—513.
- Bowles O. (1955). The asbestos industry, U. S. Bur. Mines Bull., 552.
- Bowles O. (1959). Asbestos, a materials survey, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7880.
- Bromfield C. S., Shride A. F. (1956). Mineral resources of the San Carlos Indian Reservation, Arizona, U. S. Geol. Survey Bull., 1027-N.
- Cooke H. C. (1936). Asbestos deposits of Thetford district, Quebec, Econ. Geology, 31, 355—376.
- Faessler C., Badollet M. S. (1947). Epigenesis of the minerals of the serpentinite belt, Eastern Townships of Quebec, Can. Min. Jour., 68, № 3, 157—167.
- Foster G. K., Borrer C. D. (1947). Asbestos-fiber exploration and production forecasts by core drilling, Jeffrey mine, Asbestos, Quebec, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 85—93.
- Frankel J. J. (1953). South African asbestos fibers, Min. Mag., 89, 73—83, 142—149.
- Graham R. P. D. (1917). Origin of massive serpentinite and chrysotile asbestos, Black Lake-Thetford area, Quebec, Econ. Geology, 12, 154—202.
- Hall A. L. (1930). Asbestos in the Union of South Africa, Union of South Africa, Geol. Survey Mem., 12, 2nd. ed.

новых видов амфибол-асбеста; магнезиоарфведсонит-асбеста, приуроченного к контактам апогипербазитовых серпентинитов и даек кислых пород, родусит-асбеста, связанного со слабо измененными пестроцветными отложениями засоленных лагуи, актинолит-асбеста, приуроченного к региональнометаморфизованным (фашия зеленых сланцев) основным эффузивам (Кокчетавский антиклинорий в Казахстане).

В течение длительного периода успешно развиваются начатые еще в 20-х годах П. М. Татариновым исследования геологических закономерностей формирования и размещения месторождений асбеста различных типов. В решении этой проблемы советские геологи идут своими путями и в значительной мере опередили зарубежную науку. См. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6, М., 1962 (и библиографию в этой книге). — *Прим. перев.*

- Hendry N. W. (1951). Chrysotile asbestos in Munro and Beatty townships, Ontario, Can. Min. and Met. Bull., 44, 29—36; Can. Inst. Min. and Met. Trans., 54, 28—35.
- Hess H. H. (1933). The problem of serpentinization and the origin of certain chrysotile asbestos, talc, and soapstone deposits, Econ. Geology, 28, 634—657.
- Keith S. B., Bain G. W. (1932). Chrysotile asbestos, I, Chrysotile veins, Econ. Geology, 27, 169—188.
- Low J. H. (1951). Magnetic prospecting methods in asbestos exploration, Can. Min. and Met. Bull., 44, 610—617; Can. Inst. Min. and Met. Trans., 54, 388—395.
- Messel M. J. (1947). Examination and valuation of chrysotile asbestos deposits occurring in massive serpentine, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 79—84.
- Messel M. J. (1949). Recent trends in asbestos mining and milling practice, Min. Eng., 1, pt. 2, 52—55.
- Rice H. R. (1948). Asbestos industry in Quebec, Can. Min. Jour., 69, № 10, 148—161.
- Rice S. J. (1957). Asbestos, Calif. Div. Mines Bull., 176, 49—58.
- Piordon P. H. (1955). The genesis of asbestos in ultrabasic rocks, Econ. Geology, 50, 67—81.
- Riordon P. H. et al. (1957). Asbestos: Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 3—53.
- Shride A. F. (1952). Localization of Arizona chrysotile asbestos deposits, Bull. Geol. Soc. Amer., 63, 1344.
- Sinclair W. E. (1954). The production of asbestos in South Africa. Inst. Min. and Met. Bull., 566, 159—178; Trans., 63, 159—178.
- Stewart L. A. (1955). Chrysotile-asbestos deposits of Arizona, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7706; 1956, Inf. Circ., 7745.
- Straw D. J. (1955). A world survey of the main chrysotile asbestos deposits, Can. Min. and Met. Bull., 48, 610—630; Can. Inst. Min. and Met. Trans., 58, 340—360.
- Taber S. (1917). The origin of chrysotile veins, Econ. Geology, 12, 476—479.
- Wilson E. D., Butler G. M. (1928). Asbestos deposits of Arizona, with an introduction on asbestos minerals, Univ. Ariz., Bur. Mines Bull., 126.

ТАЛЬК

Введение

Минерал тальк — водный магнезиальный силикат состава $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Хорошо известны такие его свойства, как мягкость, жирность на ощупь, перламутровый блеск и белая до зеленой окраска. Тальк обладает совершенной базальной спайностью и встречается в плотных листоватых или массивных агрегатах.

Крупные промышленные существенно тальковые рудные тела редки, и в промышленном обиходе применение термина «тальк» совершенно отлично от минералогического. В этом случае тальком называют различные горные породы, состоящие из магнезиальных силикатов. В этих породах тальк мо-

жет преобладать, присутствовать в значительном или малом количестве или даже совершенно отсутствовать. Наиболее обычная минеральная примесь в тальковых рудах — тремолит $2\text{CaO} \cdot 5\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Он встречается в волокнистых и тонкопластинчатых выделениях, обычных для тремолитово-тальковых кристаллических сланцев. Другие обычные составляющие тальковых руд — антофиллит и серпентин. Кроме этих примесей, наиболее часты кальцит и кварц. Пределы колебаний состава промышленных тальковых руд из наиболее крупного талькпроизводящего района США приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Минеральный состав тальковых руд из района месторождений Гавернур, штат Нью-Йорк

Минерал	Номера образцов						
	1	2	3	4	5	6	7
Тремолит	17	78	38	29	15	38,0	47,6
Антофиллит	20	—	—	45	78	7,0	38,4
Тальк	63	4	—	—	7	24,0	5,4
Серпентин	—	18	54	26	—	12,0	4,1
Кварц	—	—	—	—	—	3,6	3,5
Карбонаты	—	Сл.	4	—	—	14,4	3,0
Окислы железа и марганца, слюда, диопсид, пирит	—	—	4	—	—	0,5	Сл.
	100	100	100	100	100	99,5	102,0

Примечание к табл. 9.2:
Образцы 1—5 заимствованы у Энгеля (Engel, 1949), 6—7 из работы Брауна и Энгеля (Brown, Engel, 1956).

1 — тускло-серый до белого волокнистый тальк, Тальквилл. 2 — серпентинизированный тремолит, рудное тело 10А, Тальквилл. 3 — серпентинизированный тремолит, «рядовая руда», Тальквилл. 4 — серая волокнисто-чешуйчатая тремолитовая тальковая руда, рудник Онтарио, Фаулер. 5 — «арнольдское волокно», рудник Арнольд, Фаулер. 6 — средний состав тальковой руды пятого горизонта рудника Вудкок близ Балмата. 7 — промышленная слонстая тальковая руда, рудник Вудкок близ Балмата.

Термин «стеатит», в течение многих лет применявшийся к любой массивной тальковой или тальксодержащей породе, в настоящее время относится только к очень чистой мономинеральной тальковой породе, которая может быть использована в качестве ингредиента изоляторов в электронной аппаратуре. Стеатит не должен содержать более 1,5% CaO и Fe_2O_3 и более 4% Al_2O_3 . Тальковым камнем (мыльным камнем) называют массивные мягкие тальковые породы, из которых

изготавливаются цельнопильные химически стойкие детали — раковины, крышки лабораторных столов, а также электроштитки и другие разновидности цельнопильных изделий специального назначения¹.

В этих же отраслях промышленности наряду с тальком и тальковым камнем используют пирофиллит. Этот минерал близок к тальку по свойствам и использованию, но отличается от него по составу и условиям распространения в природе. В 1957 г. на долю пирофиллита приходилось 14% от общей стоимости продукции всех трех материалов (стеатита, талькового камня и пирофиллита). Пирофиллит вкратце описан на стр. 607.

Почти весь тальк используется в молотом виде. В 1957 г. производство молотого талька составляло 471 тыс. коротких тонн стоимостью 11,5 млн. долл. Ведущими производителями талька являются штаты Нью-Йорк, Калифорния и Вермонт. Кроме того, тальк добывается в штатах Невада, Джорджия, Техас и Вашингтон. Наиболее значительная добыча талькового камня производится в Виргинии. Импорт талькового сырья, главным образом стеатита из Италии, составляет в целом 30 тыс. коротких тонн стоимостью 700 тыс. долл.².

¹ Номенклатура талькового сырья в СССР несколько отличается от принятой в США. У нас грубо выделяют два основных промышленных типа тальковых руд: «тальк» — существенно тальковые породы, получившие в петрографической литературе также название «талькит» (жолчественные границы которых по нижнему пределу содержания минерала талька в разных классификациях колеблются от 70 до 90%), и «тальковый камень» — тальковые породы с существенной примесью других минералов, среди которых официальные требования разработаны для двух основных используемых промышленностью типов — тальково-магнезитового и тальково-хлоритового камня. В отличие от США термин стеатит в советской геологической литературе преимущественно используется для обозначения массивной очень тонкокристаллической субмономинеральной тальковой породы, тогда как в промышленности этот термин получил некоторое распространение лишь для обозначения существенно тальковой «стеатитовой» керамики (или просто «стеатита»). «Мыльный камень» американцев не вполне соответствует нашему «тальковому камню», так как это могут быть и существенно тальковые породы, и главные их признаки, как видно из определения Бейтса, — способность поддаваться механической обработке для изготовления цельнопильных изделий и в то же время менее высокое качество, чем у стеатита, разновидности которого, пригодные к изготовлению цельнопильных изделий, называются в американской литературе также «блоковым тальком», «лавой» и «блоковым стеатитом». — *Прим. перев.*

² Ежегодное мировое производство талька составляет около 3 млн. т, а ежегодный его прирост — около 100 тыс. т. В наибольшем количестве тальк добывается в США (в 1962 г. 776 918 т). Более 100 тыс. т добывается также в следующих странах (в порядке уменьшения): Франция, Италия, Норвегия, Китай, Индия. — *Прим. перев.*

Свойства и применение

Даже довольно заметно окрашенные серые или зеленоватые куски талька при помоле дают блестящий белый порошок. Молотый тальк обладает высокой кроющей способностью и благодаря мягкости и скользкости представляет хорошее смазочное вещество. Другие важные его практические свойства — низкая электропроводность, высокая температура плавления, диэлектрические свойства и химическая инертность.

Беложущийся тальк используется для производства бытовых фарфорово-фаянсовых изделий, электрофарфора, стенового кафеля и другой керамики. Например, композиции для производства кафеля (tile) состоят из 60—75% молотого талька и 40—25% глины (Wright, 1957, стр. 632). До середины 30-х годов в керамике вместо талька широко использовался полевой шпат, но в настоящее время предпочитается тальк, так как его применение позволяет фактически избежать дефекта керамических изделий, заключающегося в возникновении в них сети тонких трещин. Другие ценные керамические свойства талька — высокая теплоемкость, кислотоустойчивость, высокое содержание магнезии, действующей в качестве флюса при обжиге, незначительная усадка при обжиге. В 1931 г. в керамике было использовано не более 1% всего произведенного талька, а в 1957 г. — 37%; керамическая промышленность превратилась в самого крупного потребителя талька. Такой рост потребления талька в керамике произошел вопреки жестким требованиям этой отрасли производства в отношении однородности химического состава и физических свойств сырья, которые должны устойчиво сохраняться в поставляемых продуктах в течение длительного времени. При использовании в керамическом производстве тальк мелется до порошка с 92—99% частиц размером менее 200 меш. Высококачественный стеатит применяется для изготовления прессованных и вытачиваемых из блоков изделий для электротехнических, химических и огнеупорных целей.

Второй крупнейший вид потребления талька — использование в качестве инертного наполнителя в красках. Тальк обуславливает уменьшение скорости осаждения пигмента, повышает прочность и гладкость красочных покрытий и способствует диспергации пигмента. Помол талька для лакокрасочного производства должен быть значительно более тонким, чем для керамики: для красок, идущих на наружную окраску зданий, необходимы порошки с остатком на сите 325 меш не более 1%, а в тальковых порошках, применяемых для изготовления эмульсионных красок и промышленных

эмалей, величина частиц не должна превышать 15 μ . При использовании талька в красках обычны и допустимы значительные вариации в химическом и минеральном составе сырья. Нежелательны минералы, снижающие белизну тальковых порошков, а также сульфаты, например гипс и ангидрит. В 1957 г. красочная промышленность использовала 23% добытого талька.

Тонкомолотый стеатит или близкий к нему высококачественный тальк используется в качестве смазочного материала в бумажном производстве, как наполнитель бумаги высшего качества, в производстве пудры и фармацевтических препаратов. Тальковое сырье среднего или еще более низкого качества применяется как носитель инсектицидов, в качестве наполнителя асфальта, припудривающего средства и наполнителя в резиновом и кровельном производствах. Тальк находит также десятки других применений от литейных противопригарных красок до портновских мелков и порошков для полировки риса¹.

Промышленные тальковые руды, получаемые из различных источников, заметно отличаются друг от друга, и нет ни одного месторождения, которое поставляло бы сырье для всех потребителей. Поэтому имеются многочисленные отечественные и иностранные поставщики талька, используемого во многих отраслях промышленности.

Тальконосный район Гавернур, штат Нью-Йорк

Промышленные месторождения талька штата Нью-Йорк — наиболее продуктивные в США (Engel, 1947, 1949). Они располагаются в нескольких милях от города Гавернур, в округе Сент-Лоуренс. Группа месторождений талька находится на северо-восточном фланге гор Адирондак, в 25 милях к югу от реки Святого Лаврентия. За период после второй мировой войны здесь действовало семь рудников, но в 1955 г. функционировали лишь три из них. Ранее действовал также один рудник на небольшом месторождении талька близ Начурал-Бридж, округ Льюис, в 15 милях к юго-западу.

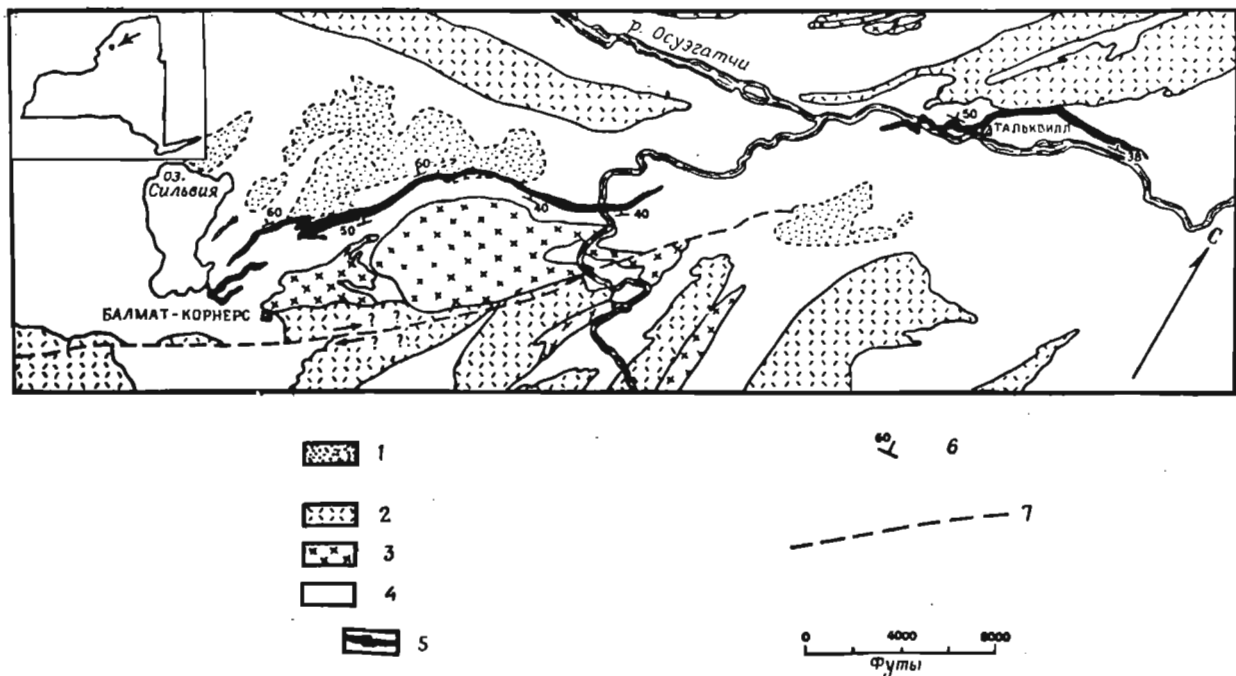
¹ По данным Горного бюро США, тальк имеет наибольшее количество самостоятельных видов применения из всех полезных ископаемых, причем ежегодно появляются новые виды его потребления. В связи с этим в структуре потребления талька в США непрерывно возрастает в абсолютном и относительном выражении доля «прочих» (многочисленных малоемких видов потребления). За период с 1957 г. были запатентованы способы производства с использованием талька: катионообменных материалов, сухих огнетушительных смесей, пигментов и огнепроницаемой мастики, жаростойких материалов и др. — *Прим. перев.*

Тальконосный район Гавернур пространственно близок с цинково-рудным поясом, известным в рудных отчетах под названием рудного района Бэлмат—Эдуардс. (Руды в этом районе представлены метасоматическими сфалеритово-пиритовыми телами в известняках.)

За исключением незначительных останцов потсдамских песчаников (верхний кембрий), уцелевших от размыва, все породы тальконосного района имеют докембрийский возраст. Тальконосный горизонт входит в состав гренвиллской серии параметаморфических пород, большая часть которых представлена загрязненными силикатами—метадоломитами («мраморами»). Как показано на фиг. 9.5, породы здесь собраны в серии сложных складок северо-восточного направления. По представлениям Брауна и Энгеля, это — несогласные с региональным планом тектонические элементы, поскольку многие из мелких подчиненных им складок и сколовые зоны обусловлены наложенной поперечной складчатостью. Вся складчатость и метаморфизм происходили в докембрийское время.

Браун и Энгель, детально изучившие гренвиллскую серию, подразделили ее на 15 горизонтов. Все эксплуатирующиеся месторождения талька приурочены к горизонту, выделенному этими авторами под названием «тремолит-антофиллит-серпентин-тальковые кристаллические сланцы, частично кальцитовые». Как это видно из самого названия горизонта и из анализов, приведенных в табл. 9.2, минерал тальк представляет лишь подчиненную составляющую промышленных руд, а иногда и вовсе в них отсутствует. Добываемые руды в большинстве случаев представляют собой смесь волокнистого тремолита и антофиллита, а собственно тальк содержится в размолотых продуктах в целом в количестве не более 25%.

Талькосодержащие кристаллические сланцы развиты в пределах узкого прерывистого пояса, участвующего в складчатой структуре (фиг. 9.5) при общей протяженности его 7,5 мили и ширине в несколько сот футов. Эта зона имеет пережимы и раздувы, но в целом грубо согласна со смежными пластами метадоломитов. Падение варьирует, но в среднем оно северо-западное под углом 45°. Протяженность талькосодержащих пород по падению составляет не менее 2 тыс. футов. Подле Тальквилла пояс имеет максимальную мощность 300 футов или более, тогда как в среднем мощность тальконосного горизонта в пределах рудников составляет около 135 футов. Значительная часть пород полосы представляет собой здесь промышленные тальковые руды, и два из трех действующих рудников, в том числе и наиболее крупный, расположены вблизи Тальквилла. Северо-западнее, в районе



Фиг. 9.5. Схематическая геологическая карта тальконосного района Гавернур, штат Нью-Йорк. Распределение выходов тремолитово-тальковых кристаллических сланцев (черное) отражает складчатую природу метосадочных пород гренвилльской серии. (По работе Brown, Engel, 1956, 1.)

1 — песчаники формации Потсдам (верхний кембрий); 2—5 — докембрий: 2 — граниты, 3 — амфиболиты, 4 — метадомиты, кристаллические сланцы и гнейсы гренвилльской серии, 5 — тремолит-антофиллит-серпентин-тальковые кристаллические сланцы; 6 — элементы залегания поверхностей напластования; 7 — прерывистая зона брекчий и сбросов.

к северу от Бэлмата, максимальная мощность тальконосного горизонта достигает 425, а средняя около 125 футов, однако здесь с промышленными рудами перемежаются прослой пустых загрязненных примесями или интенсивно окрашенных пород.

Тремолит, вероятно, образовался в течение наивысшей стадии регионального метаморфизма (Engel, 1947). Компоненты, необходимые для его возникновения, — кальций, магний и кремнезем — поступали в результате метасоматоза на границе благоприятных горизонтов кварцитов и метадоломитов. Подвижными агентами были высокотемпературные гидротермальные растворы, вероятно кремнеземсодержащие. При наивысшем метаморфизме возникли диопсид и другие безводные силикаты. Образование серпентина и талька происходило при ретроградном метаморфизме в условиях падения температуры, когда в растворах в избытке присутствовал магний. Иначе говоря, серпентин и тальк образовались за счет более ранних силикатов, преимущественно как волокнистые псевдоморфозы по тремолиту.

Тальк добывался открытым способом, но впоследствии структурные условия месторождения заставили для крупномасштабной добычи перейти на подземные работы. При этом в лежачем боку тальковых тел проходились наклонные шахты. По мере изменений в падении и склонении тальковых тел соответствующим образом меняли направление шахт. Добыча талька осуществляется с проходкой штреков и квершлагов из наклонных шахт. В целях уменьшения опасности заболеваний силикозом и фиброзом легких, которые могут возникнуть при продолжительном вдыхании кремнеземистой пыли, на рудниках применяется мокрое бурение.

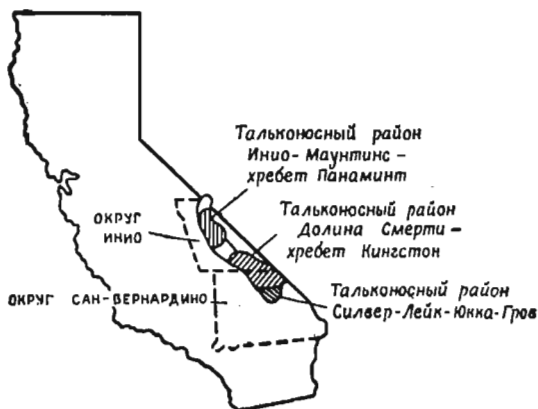
Операция помола талька состоит из крупного дробления, собственно размол и воздушной сепарации. Размол производится в шаровых мельницах, в которых в качестве мелющей среды используются гальки кварцитов. Сверхтонкий помол производится в стальных камерах; в стенках этих камер проделаны отверстия, через которые вводится пар или воздух под большим давлением. Частицы талька подвергаются интенсивной взаимной бомбардировке и разламываются, после чего их размеры колеблются от 20 до 5 и менее μ .

Тальк месторождений штата Нью-Йорк используется в керамической, красочной и других отраслях промышленности. Для стандартизации выпускаемой продукции были проведены большие работы. Чтобы добиться однородности сырья, приходится проводить его усреднение и смешивать естественные разновидности, встречающиеся в разных частях

рудных тел по падению и простиранию. Высококачественный стеатитовый тальк в этом тальконосном районе почти не добывается.

Месторождения Калифорнии

Хотя тоннаж добычи сырого талька в Калифорнии меньше, чем в штате Нью-Йорк, стоимость (Wright, 1950, 1957) его выше. Причина этого заключается в том, что в Калифор-

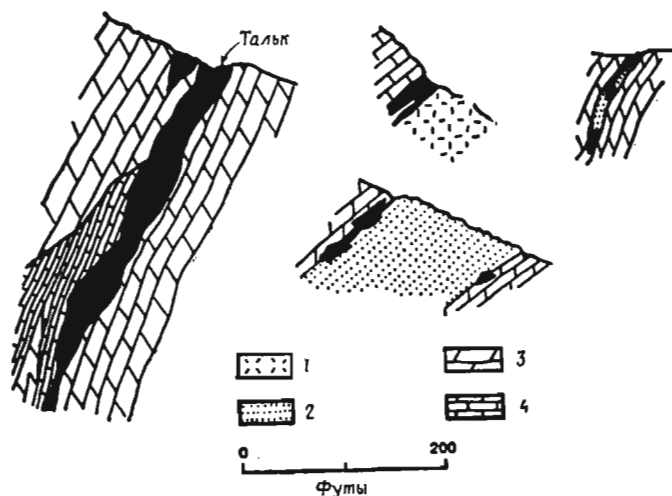


Ф и г. 9.6. Обзорная карта размещения тальконосных районов в Калифорнии. (По работе Wright, 1950, 124.)

нии добывается значительное количество талька стеатитового типа, пригодного для изготовления высокочастотных изоляторов, а также тремолитового талька, используемого в производстве кафеля для полов и стен и в других целях. Значительное развитие тальковой промышленности Калифорнии произошло в течение второй мировой войны и в послевоенный период.

Более девяти десятых калифорнийского талька добывается в трех районах, располагающихся в вытянутом в северном направлении поясе в пустынной провинции Бассейнов и Хребтов в южной части штата (фиг. 9.6). С небольшим продолжением этого пояса в штате Невада он имеет общую протяженность около 200 миль при ширине примерно 30 миль. Месторождения в пределах каждого из трех тальконосных районов геологически сходны и представлены типами сырья, характеризующимися своими особыми свойствами и применением.

Тальконосный район горы *Инио* — хребет *Панаминт* расположен в округе *Инио* у северного окончания пояса. Тальконосные зоны преимущественно приурочены к трещиноватым и сколовым зонам в крутопадающих метадоломитах и кварцитах ордовикского и силурийского возраста. Особенно часто тальковые породы располагаются вдоль контактов до-



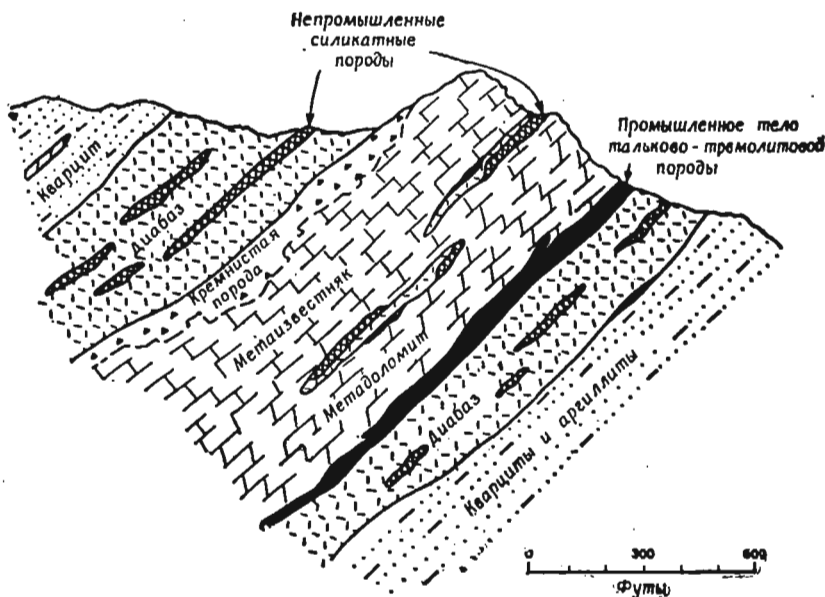
Фиг. 9.7. Схематические разрезы через некоторые типичные месторождения талька гор *Инио*, Калифорния. Значительная часть тальковых руд в этом районе представлена стеатитом. (По работе Wright, 1957, 628.)

1 — граниты; 2 — кварциты; 3 — доломиты; 4 — известняки.

ломитов с кварцитами, при этом тальк обычно замещает как доломиты, так и кварциты (фиг. 9.7). Кроме того, мелкие тальковые месторождения возникли в результате метасоматического замещения гранитов в тех случаях, когда последние расположены поблизости от контактов доломитов и кварцитов (Wright, 1948). Иногда доломиты, ассоциирующие с тальковыми телами, выщелочены и имеют трутовидный («punky») облик (типа сухого ячеистого дерева), возникший, вероятно, в результате удаления магнезии, которая пошла на образование талька (Wright, 1957, стр. 627).

Наиболее крупный и более или менее непрерывно функционирующий рудник в этом районе — Тальк-Сити, расположенный у южного конца гор *Инио*. Тальковые тела образуют здесь вытянутые крутопадающие линзы в ордовикских

доломитах (Gay, Wright, 1954). Эти линзы имеют ширину 500—1000 футов и максимальную ширину до 50 футов; глубина отработки достигает 450 футов по падению рудных тел. Кроме того, в районе имеется еще шесть рудников и несколько неразведанных месторождений, вероятно с крупными за-



Фиг. 9.8. Схематический разрез через типичные тальконосные зоны района Долина Смерти — хребет Кингстон, Калифорния. Все горизонты, показанные на разрезе, относятся к верхнедокембрийской формации Кристал-Спринг. (По работе Wright, 1957, 625.)

пасами. Тальковые руды имеют субмономинеральный характер, и при условии селективной добычи и сортировки получаемый продукт по составу почти отвечает чистому тальку. Этот тальконосный район — главный источник высококачественного стеатита в США (Page, 1951).

В тальконосном районе Долина Смерти — хребет Кингстон, расположенном южнее только что описанного района, тальковое оруденение приурочено к средней части формации Кристал-Спринг (докембрий). Эта формация имеет мощность около 4 тыс. футов и состоит из среднетемпературных осадочных пород, интродуцированных диабазовыми силами. Тальковые залежи обычно представляют собой таблитчатые тела в нижней части горизонта метадоломитов в

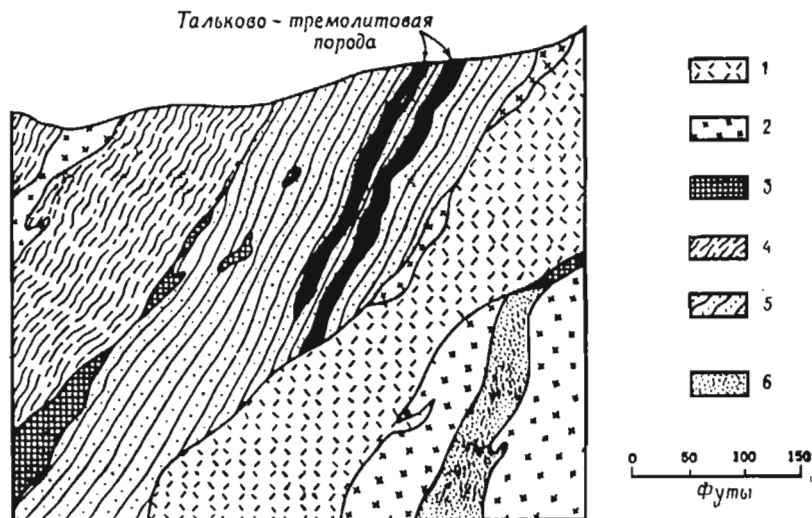
контакте с силлом в подошве (фиг. 9.8). Местами силицификация доломитов была не столь интенсивной, чтобы возникли промышленные тальковые залежи, а в некоторых случаях морфология тел талька сильно осложнена сбросами, что затрудняет добычу. Добыча осуществляется почти в 20 участках, и приблизительно две трети годовой добычи калифорнийского талька приходится на этот район.

Наиболее крупная разрабатываемая залежь тальковых руд находится на Западном руднике в северной части округа Сан-Бернардино. Эта залежь вскрыта по простиранию на 5 тыс. футов, имеет ширину 10—80 футов и изучена до глубины 350 футов. Получают три типа промышленных тальковых продуктов: 1) плотный пластинчатый тремолит; 2) почти чистый тальк; 3) смесь талька, тремолита и серпентина. Почти вся продукция используется в керамической промышленности. Другой важный источник талька района Долины Смерти — рудник Скупириор, который был описан Райтом (Wright, 1952).

У южного окончания тальконосного пояса расположен рудный район *Силвер-Лейк — Юкка-Гроув*, который находится в округе Сан-Бернардино примерно в 10 милях к северу от Бейкера. Тальково-тремолитовые линзы приурочены здесь к докембрийским параметаморфическим породам, особенно часто к полевошпатово-диопсидовым роговикам (фиг. 9.9). Эти линзы возникли в результате селективного метасоматического замещения карбонатных пород, вероятно доломитов. Тремолит образовался на раннем этапе, вероятно в период становления расположенных поблизости гранитов, а тальк возник позднее в виде сланцеватых масс в краевых частях тремолитовых тел. Как тремолитовые, так и тальковые кристаллические сланцы имеют средне- и грубозернистое сложение и свежно-белую окраску.

В эксплуатирующемся месторождении Силвер-Лейк (Wright, 1954) тальково-тремолитовые породы обнажаются в пределах узкой зоны восточного простирания протяженностью около 2 миль. Пригодная для отработки полоса в пределах этой зоны представлена участками длиной до 800 футов и шириной около 10 футов. В пределах большей части месторождения разрабатываются два параллельно расположенных рудных тела, отстоящих друг от друга на 15 футов. Максимальная глубина отработки достигает 260 футов по падению рудных тел, где тальковые тела ограничиваются снизу гранитами. На месторождении установлен ряд дизъюнктивных нарушений и развиты многочисленные интрузии

кварцевых диоритов и лампрофиров в виде даек, силлов и неправильных тел. Тальково-тремолитовые породы добы-



Ф и г. 9.9. Типичный схематический разрез тальконосного района Силвер-Лейк. Калифорния. Все породы имеют докембрийский возраст. Тальково-тремолитовые тела предположительно соответствуют селективно измененным метадоломитам. (По работе Wright, 1957, 630.)

1 — гранитоиды; 2 — кварцевые диориты; 3 — лампрофиры; 4 — кварцево-слюдаые кристаллические сланцы; 5 — полевошпатово-диопсидовые роговики; 6 — кварциты.

ваются как открытым способом, так и в подземных выработках. Используются они главным образом в керамическом производстве.

Другие месторождения

Вероятно, читатель уже заметил, что описанные выше месторождения талька имеют сходство в одном отношении — все они встречаются непосредственно в доломитах или связаны с ними¹. Несколько месторождений талька этого типа расположены, кроме того, на юго-востоке США (Stuckey,

¹ В последние годы в США еще более возросла добыча талька, связанного с доломитами. В 1962 г. 78 214 т такого талька было добыто в Техасе, который выдвинулся по производству талька на третье место. Увеличилась добыча стеатитового талька в Монтане, где, кроме того, в 1962 г. были разведаны еще два крупных месторождения. — *Прим. перев.*

1950). Тальковые месторождения обнаружены в ряде мест в пределах мраморного пояса Мерфи (докембрий) Северной Каролины и Джорджии. Главнейшие промышленные месторождения располагаются близ Мерфи, округ Чероки, в западной части Северной Каролины. По данным ван Хорна (von Horn, 1948) все промышленные концентрации тальковых руд встречаются в виде линзообразных тел, приуроченных к плотным тонкозернистым метадоломитам в средней части мраморной формации Мерфи. Важнейшие месторождения Джорджии близ Чатсуэрта в округе Марри приурочены к пластам доломитов в докембрийских кристаллических сланцах формации Кохатта (Ferguson, Teagne, Calver, 1947). В округе Талладига, Алабама, залежи талька образуют линзообразные тела в кембро-ордовикских доломитах (McMurray, Bowles, 1941; Reed, 1950). В юго-западной Монтане месторождения талька известны в кристаллических доломитах серии Черри-Крик (ранний докембрий) (Peggy, 1948). В каждом из этих районов присутствуют или предполагаются изверженные горные породы, которые считаются источником кремнеземсодержащих растворов, способствовавших превращению доломитов в тальк.

Среди важнейших тальковых месторождений, приуроченных к доломитам, необходимо отметить месторождения Коттианских Альп, подле Турина, в западной Италии. Эти месторождения представляют собой важный мировой источник стеатита наивысшего качества, который экспортируется во многие страны, в том числе в США.

Совершенно иной характер распространения обнаруживают залежи тальковых руд, приуроченных к измененным ультрабазитовым изверженным породам или тесно ассоциирующихся с последними. Месторождения этого типа известны во многих местах пояса кристаллических пород Аппалачей. В штате Вермонт, занимающем третье место по производству талька в США, линзовидные тела серпентинитов приурочены к мощной толще кристаллических сланцев, кварцитов и других параметаморфических пород. Большинство из этих серпентинитовых тел первоначально представляли собой перидотиты или пироксениты, но при последующих изменениях они были полностью серпентинизированы и частично превращены в тальк. В типичном случае такие серпентинитовые массивы состоят из овального ядра серпентинита, окруженного тальково-карбонатными породами, или «гритом» (grit), мощностью от нескольких футов до нескольких десятков футов. С внешней стороны тальково-карбонатная зона в свою очередь оторачивается оболочкой почти чисто талькового состава

мощностью от немногих дюймов до нескольких футов. Добываются как тальково-карбонатные породы, так и талькиты внешней оторочки. Серпентиниты и тальково-карбонатные породы в одних случаях массивные, в других сланцеватые, в то время как талькиты всегда обнаруживают отчетливо выраженную сланцеватость. В пределах тальковых залежей обычно встречаются включения кристаллических сланцев вмещающих пород.

Наиболее крупный рудник расположен у Джонсона, округ Ламойлл, в северной части центрального Вермонта (Chidester, Billings, Cady, 1951; Albee, 1957). Здесь линзы тальковых пород протяженностью около $\frac{3}{4}$ мили приурочены к кварцево-серцитовым кристаллическим сланцам группы Камелс-Хамп (кембрий). Простираение залежей северо-восточное, падение восточное, крутое. Высококачественные талькиты краевой зоны постепенно переходят в направлении к центру массива в тальково-карбонатные породы, которые содержат от 30 до 50% карбоната в виде зерен, равномерно рассеянных в тальковой основной массе. По данным рудника карбонат представлен железосодержащим магнезитом, который отделяется при помоле и представляет собой побочный промышленный продукт. Запасы тальковых руд точно не определены, но, очевидно, весьма значительны.

Тальковые месторождения, связанные с ультрабазитами, обнаружены в большинстве штатов к югу от Вермонта в пределах Аппалачей. Во многих местах они разрабатываются в незначительных масштабах. Наиболее важные месторождения расположены в округах Албемарл и Нельсон в центральной Виргинии. Эти округа являются основным источником цельнопильного талькового камня. Основные и ультраосновные породы (габбро, пироксениты, перидотиты) в пределах узкого пояса интродуцируют кристаллические сланцы и гнейсы провинции Пидмонт. Эти интрузии имеют согласное северное простираение. Ультрабазиты интенсивно изменены и содержат линзы и неправильные тела талькового камня. Тальковый камень главным образом возник за счет пироксенитов, в которые он и переходит постепенно, или непосредственно, или через зону серпентинитов. Тальковый камень — серо-зеленая тонко- или среднезернистая массивная порода, сложенная преимущественно амфиболами, хлоритом, тальком и карбонатами. Хотя в некоторых случаях тальковый камень обладает отчетливо выраженной сланцеватостью, породообразующие минералы в нем обнаруживают случайную ориентировку. В связи с этим можно считать, что данные породы образовались не в результате динамического метаморфизма, а

при воздействии горячих гидротермальных растворов. Разрабатываются преимущественно более мягкие разновидности талькового камня, содержащие выше 50% талька. Центры тальковой промышленности располагаются у городов Скайлер и Алберн, где линзы талькового камня имеют соответственно протяженность 1200 и 2000 футов при мощности 300 футов и неустановленной протяженности на глубину. Некоторые карьеры уже достигли глубины более 200 футов. Геологическое строение и происхождение этих месторождений были рассмотрены в работах Бёрфута (Burfoot, 1930, 1933) и Хесса (Hess, 1933). Описание методов добычи появилось в 1929 г. (Stuckey, 1929).

Серпентин и тальк

Большинство серпентинитовых массивов с хризотил-асбестом возникло в результате изменения ультрабазитовых изверженных пород; аналогичное происхождение имеют и некоторые месторождения талька. Как серпентин, так и тальк представляют собой водные магнезиальные силикаты. Каковы же взаимоотношения между ними?

В результате изучения породных взаимоотношений и минеральных парагенезисов измененных ультрабазитовых пород Хесс (Hess, 1933) пришел к следующим выводам: 1. Образование серпентина, а также талькита и талькового камня представляет собой самостоятельные генетически не связанные процессы метаморфических изменений. 2. Эти два процесса могут проявляться совместно или порознь. 3. При совместном проявлении обоих процессов удается установить, что серпентинизация всегда носит более ранний характер. 4. Серпентинизация представляет собой автометаморфическое изменение. Следовательно, она относится к более поздней стадии того же цикла магматической деятельности, с которым связано становление самих ультрабазитовых пород. 5. Образование талька — более поздний процесс, обусловленный воздействием кислых горячих водных растворов¹.

¹ В вопросе о взаимоотношениях серпентина и талька Бейтс опирается на устаревшие взгляды Хесса, от которых сам автор их впоследствии в значительной мере отказался под влиянием экспериментальных исследований Боуэна и Таттла. В соответствии с господствующими в настоящее время представлениями, ведущими начало еще из работ Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, автометаморфическая серпентинизация проявляется в ультраосновных породах весьма ограниченно, тогда как более интенсивная, иногда полная, наложенная аллометаморфическая серпентинизация в ряде случаев осуществляется одновременно с оталькованием. Подробнее об этом см. статьи: Т а т т а р и н о в П. М., сб. «Петрогра-

При образовании талькита и талькового камня существует следующая последовательность выделения минералов: оливин или пироксен (исходных пород), роговая обманка, актинолит, серпентин или хлорит, тальк, карбонаты. Хесс (Hess, 1933, стр. 633) различает два типа месторождений, в которых тальк образуется по серпентину и независимо от последнего. В тальковых месторождениях Вермонта ультрабазитовые породы во всей массе подверглись первичной серпентинизации, после чего в результате воздействия растворов вдоль краевых частей массивов и трещин в серпентинитах образовались талькиты и тальково-карбонатные породы. Свободная циркуляция растворов в этом случае обусловлена открытым характером системы. С другой стороны, в виргинских месторождениях талькового камня массивы ультраосновных пород целиком превращены в тальковые и ассоциирующие с ними породы. Можно полагать, что в этом случае изменения происходили в закрытой системе, приводя к незначительным изменениям валового состава. Ни для одного из этих двух типов месторождений не найдено никаких доказательств, что тектонический стресс играл сколько-нибудь важную роль в процессе образования талька¹.

фия СССР», сер. I, вып. 9; Соболев Н. Д., сб. «Магматизм и связь с ним полезных ископаемых». М., Изд-во АН СССР, 1955; Еремеев В. П. и др., Тр. ИГЕМ АН СССР, 1959, вып. 31; а также в литературе, приведенной в библиографии сб. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6, 1962. — *Прим. перев.*

¹ **Заключительные замечания.** По добыче талька СССР занимает второе место в мире после США. Однако у нас преимущественно эксплуатируются месторождения низкокачественных железистых тальковых руд, связанные с гипербазитами (Кавказ и главным образом Урал). Этим обусловлено резкое различие структуры потребления талька в СССР и США. Львиная доля талька в СССР используется в качестве наполнителя инсектицидов, затем следует кровельная промышленность, тогда как потребление талька в керамической, лакокрасочной и бумажной промышленности (кроме производства изоляционной керамики для электронной аппаратуры) по существу находится в зачаточном состоянии. В настоящее время в Сибири разведаны (и частично эксплуатируются) крупные месторождения высококачественного талька, связанные с протерозойскими доломитовыми толщами — Онотское (Восточный Саян), Киргитейское (Енисейский край), Алгуйское (Горная Шория). Установлены предпосылки выявления новых месторождений безжелезистого талька на Урале и в Сибири. Предпосылки дальнейшего расширения сырьевой базы железистых апогипербазитовых талькитов в СССР очень велики в змеевиковых поясах складчатых зон Урала, Казахстана, Средней Азии, Алтай-Саянской области, в меньшей мере — Балтийского и Украинского щитов, Приморья. Коренное изменение положения с ресурсами безжелезистого талька создает условия для радикального улучшения структуры потребления талька в СССР.

За период после подготовки учебника Бейтса к печати представления о генезисе месторождений талька заметно изменились как в США, так и

ЛИТЕРАТУРА

- Albee A. L. (1957). Bedrock Geology of the Hyde Park quadrangle, Vermont, U. S. Geol. Survey Map GQ 102.
- Barnes V. E. (1943). Soapstone and serpentine in the Central Mineral Region of Texas, Univ. Texas Pub., 4301, 55—91.
- Brown J. S., Engel A. E. J. (1956). Revision of Grenville stratigraphy and structure in the Balmat-Edwards district, northwest Adirondacks, New York, Bull. Geol. Soc. Amer., 67, 1599—1622.
- Burfoot J. D., Jr. (1930). The origin of the talc and soapstone deposits of Virginia, Econ. Geology, 25, 805—826.
- Burfoot J. D., Jr. (1933). Talc and soapstone deposits of Virginia, 16th Internat. Geol. Cong., Guidebook 11, 36—43.
- Chidester A. H. (1953). Geology of the talc deposits, Sterling Pond area, Vermont, U. S. Geol. Survey Map MF 11.
- Chidester A. H., Billings M. P., Cady W. M. (1951). Talc investigations in Vermont, U. S. Geol. Survey Circ., 95.
- Cushing H. P., Newland D. H. (1925). Geology of the Gouverneur quadrangle, N. Y. State Museum Bull., 259.
- Engel A. E. J. (1947). The talc deposits of the Gouverneur district, New York, Econ. Geology, 42, 419.
- Engel A. E. J. (1949). New York talcs, their geological features, mining, milling, and uses, Min. Eng., 1, pt. 2, 345—348.
- Furcron A. S., Teague K. H., Calver J. L. (1947). Talc deposits of Murray County, Georgia, Ca. Geol. Survey Bull., 53.
- Gay T. E., Jr., Wright L. A. (1954). Geology of the Talc City area, Inyo County, Calif. Div. Mines Bull., 170, Map 12.
- Gillson J. L. (1927). Origin of the Vermont talc deposits, with a discussion on the formation of talc in general, Econ. Geology, 22, 246—287.
- Gilluly J. (1945). Geologic map of the Gouverneur talc district, New York, U. S. Geol. Survey.

особенно в СССР. Установлена зависимость локализации промышленных тальковых руд от регионального метаморфизма толщ, содержащих магнезиально-карбонатные породы и гипербазиты. Скопления существенно мономинеральных тальцитов возникают преимущественно в условиях регионального метаморфизма определенной интенсивности (зеленосланцевая и амфиболитовая фации). При этом в первом случае они иногда формируются не при ретроградном, а при прогрессивном метаморфизме. Непосредственная локализация месторождений талька определяется тектонической структурой метаморфизованных толщ (статьи А. П. Гапеева, Н. Ф. Константинова, П. П. Смолина в сб. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6, 1962; В. К. Шаталова, в журнале «Советская геология», 1964, № 9) и сочетанием магнезиальных (доломиты, магнезиты, гипербазиты) и существенно кремнеземистых (кварциты, различные метаморфические сланцы, амфиболиты, гранитоиды) пород. За счет реакционного взаимодействия магнезиальных и кремнеземистых пород и возникают в связи с тектоническими нарушениями (путями циркуляции растворов и миграции вещества) метасоматические скопления тальцитов. Выявлены особенности возникновения парагенезисов и типов метасоматической зональности, минерального и химического состава руд в зависимости от различных условий. Уточнение факторов локализации месторождений талька создало надежную основу для прогноза их поисков на всей территории СССР («Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6, 1962). — *Прим. перев.*

- Hess H. H. (1933). Hydrothermal metamorphism of an ultrabasic intrusive at Schuyler, Virginia, *Amer. Jour. Sci.*, 5th ser., **28**, 377—408.
- Hess H. H. (1933). The problem of serpentinization and the origin of certain chrysotile asbestos, talc, and soapstone deposits, *Econ. Geology*, **28**, 634—657.
- Hughes H. H. (1932). Soapstone, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 6563.
- McMurray L., Bowles E. (1941). The talc deposits of Talladega County, Alabama, *Ala. Geol. Survey Circ.*, 16.
- Money maker B. C. (1938). Talc deposits of North Carolina, *Econ. Geology*, **33**, 461—463.
- Page B. M. (1951). Talc deposits of steatite grade, Inyo County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 8.
- Pence F. K. (1955). A commercially proved white-firing talc occurring in West Texas, *Bull. Amer. Ceramic Soc.*, **34**, 122—123.
- Perry E. S. (1948). Talc, graphite; vermiculite and asbestos in Montana, *Mont. Bur. Mines and Geology Memoir*, 27.
- Reed A. H., Jr. (1950). Investigation of the Winterboro, talc deposits, Talladega County, Alabama, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4661.
- Roff W. W. (1943). Western talcs, *Bull. Amer. Ceramic Soc.*, **22**, 292—295.
- Ryan C. W. (1929). Soapstone mining in Virginia, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub.*, 160.
- Stuckey J. L. (1937). Talc deposits of North Carolina, *Econ. Geology*, **32**, 1009—1018.
- Stuckey J. L. (1950). Talc, soapstone, and pyrophyllite in the southeastern United States, *Proc. Southeastern Mineral Symposium*, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 112—119.
- Van Horn E. C. (1948). Talc deposits of the Murphy marble belt, North Carolina, *N. C. Div. Min. Res. Bull.*, 56.
- Wilson H., Pask J. A. (1936). Talc and soapstone in Washington, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Contrib.*, 99.
- Wright L. A. (1948). White Eagle talc deposit, an example of steatitization of granite, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **59**, 1385.
- Wright L. A. (1950). California talcs, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, **187**, 122—128.
- Wright L. A. (1952). Geology of the Superior talc area. Death Valley, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 20.
- Wright L. A. (1954). Geology of the Silver Lake talc deposits, San Bernardino County, California, Calif. Div. Mines Spec. Rept., 38.
- Wright L. A. (1957). Talc and soapstone, Calif. Div. Mines Bull., 176, 623—634.

ВЕРМИКУЛИТ

Введение

Вермикулиты образуют группу минералов, близких к слюдам по свойствам и облику. Они обладают характерной слюдяной спайностью, хотя тонкие спайные пластинки вермикулита менее упруги, чем у слюд. Твердость вермикулита колеблется от 1,5 до 3,0, а удельный вес в промышленных рудах составляет около 2,5. Цвет вермикулита изменяется от бронзово-желтого до желтовато-бурого и черного, а блеск — от жирного до перламутрового. В этой группе установлено

19 минеральных видов, однако заметное распространение в природе имеют лишь два из них — вермикулит и джефферицит, причем первое из этих названий применяется обычно в качестве собирательного для обоих минералов. В промышленной практике в качестве вермикулитового сырья добываются кристаллические сростки вермикулита и биотита, иногда называемые *гидробиотитом*.

Вермикулит — водный магнезиальный силикат с переменным содержанием железа и алюминия. От биотита и флогопита он отличается главным образом отсутствием калия. Вермикулит близок не только к слюдястым минералам, но и к хлоритам, а в очень тонких чешуйках он по некоторым свойствам сходен с глинистыми минералами группы монтмориллонита (стр. 184). Сложный минералогический характер вермикулита рассмотрен Баршадом (Barshad, 1948, 1949), Матизоном и Уокером (Mathieson, Walker, 1954), Роем и Ромо (Roy, Romo, 1957), а также во многих других работах, цитируемых этими исследователями¹.

Экспериментальные исследования позволяют предполагать, что вермикулит не может иметь гидротермального генезиса, и, таким образом, эти данные вступают в противоречие с распространенными в литературе представлениями, основанными на полевых наблюдениях. Определенно установлено, что во многих случаях вермикулит образовался в результате изменения слюд или хлоритов под воздействием вадозных вод в зоне выветривания. Тем не менее для некоторых месторождений указывается происхождение вермикулита в результате гидротермального изменения биотита. Независимо от этих разногласий в вопросе о происхождении вермикулита тесная ассоциация его с ультраосновными породами побудила автора рассматривать вермикулит в той же главе, где описываются асбест и тальк².

Свойства и применение

Наиболее важное в практическом отношении свойство вермикулита (существенно отличающее его от слюд) — способ-

¹ См. также Мидгли Х. Дж., Мидгли С. М., Минералогия некоторых промышленных вермикулитов, сб. «Вопросы минералогии глин», ИЛ, М., 1962. — *Прим. ред.*

² До недавнего прошлого представления о гидротермальном генезисе вермикулита господствовали и в СССР. Однако исследованиями П. П. Токмакова (Тр. ИГЕМ АН СССР, 1960, вып. 48), видимо, наиболее четко именно по геолого-петрографическим (а не только экспериментальным) данным доказано возникновение вермикулита в коре выветривания. — *Прим. перев.*

ность вспучиваться при нагревании. При обжиге вермикулита в течение нескольких секунд при температуре 800—1100° его объем увеличивается в 6—20 раз. Этот процесс представляет собой расслоение, при котором вспучивание происходит в направлении, перпендикулярном плоскости спайности, тогда как в двух других направлениях вермикулитовой частицы имеет место лишь ничтожное изменение объема. Расслоение осуществляется за счет механического разделения спайных пластин в результате превращения воды, содержащейся в вермикулите, в пар. Механическую аналогию расслоения вермикулита можно видеть в растягивании мехов гармоника. В результате расслоения частицы вермикулита приобретают вытянутые формы и часто искривляются. Внешнее сходство таких частиц с червяками и послужило основанием для наименования минерала¹. Обычно вспученный вермикулит имеет серебристый или золотистый цвет. Посредством химического анализа нельзя предварительно установить, обладает ли вермикулит способностью к вспучиванию в практически интересных масштабах, и это главное свойство вермикулита удовлетворительно определяется лишь при обжиге в печах.

Объемный вес вспученного вермикулита составляет лишь 5—10 фунтов на куб. фут; для этого материала характерна низкая теплопроводность. Вспученный вермикулит химически инертен и довольно огнестоек. Благодаря этим свойствам он представляет собой ценный материал для многих видов термо- и звукоизоляционных изделий. Он используется как *несвязанный изоляционный наполнитель* в стенах, междуэтажных перекрытиях и кровлях жилых и промышленных зданий, а также для засыпки изоляционных полостей рефрижераторов, инкубаторов, водонагревателей и в других сходных целях. Другой главный вид использования вспученного вермикулита — *легкий наполнитель* бетона, применяющегося как в виде монолитных стен, перекрытий и кровли, так и для изготовления строительных панелей и более сложных профилированных конструкций. Вермикулитовый бетон имеет те же полезные свойства, как бетоны с пемзой (стр. 77) и перлитом

¹ От латинского *vermiculus* — маленький червяк. В литературе распространено мнение, что название «вермикулит» происходит от слова *vermiculari* — «разводить червей». Это утверждение ошибочно. Римляне не занимались разведением червей, и, следовательно, у них не было необходимости в создании специального термина для такого рода деятельности. В действительности глагол *vermiculari* означает «есть червей» и, таким образом, совершенно не может рассматриваться как основа для образования слова вермикулит.

(стр. 90); в качестве заполнителя он не представляет трудностей в использовании, заметно облегчает вес железобетонных конструкций и обладает хорошей теплоизоляционной способностью.

Вспученный вермикулит используется также в гипсово-вермикулитовых штукатурках, изоляционных цементах и различных формованных изделиях. В гранулированном виде вермикулит широко применяется в садоводстве в качестве среды для выращивания саженцев, в парниках и как улучшитель структуры тяжелых глинистых почв. Кроме того, в тонкозернистой форме он используется как агент, предотвращающий агломерацию удобрений.

В канадской сталелитейной промышленности практикуется транспортировка отливок, обложенных рыхлым вермикулитом, в состоянии красного каления от металлургических печей до прокатных станов на расстояние до 180 миль. При этом происходит потеря температуры не более чем на 9%. Вермикулит для подобных целей может использоваться неоднократно¹.

Во всех видах применения вермикулит можно заменить другими материалами. Некоторые его заменители представляют собой неметаллические полезные ископаемые в естественном виде (пемза, диатомит), другие — продукты их переработки (вспученный перлит, минеральная шерсть, стекловолокно) или, наконец, органическое вещество (пробка, торфяной мох).

Производство

После окончания второй мировой войны вермикулит добывался в США не менее чем в девяти штатах: на западе — в Монтане, Вайоминге, Колорадо, Неваде и Аризоне; на юго-востоке — в Южной и Северной Каролинах и Джорджии, а также в Техасе. Со времени возникновения вермикулитовой промышленности в 20-х годах долгое время ведущим производителем вермикулита была Монтана. В 1957 г. добыча вермикулита производилась только в Монтане и Южной Каролине. В этом году общая добыча сырого вермикулита в

¹ Применение вермикулита расширяется особенно в сельском хозяйстве (гербициды, инсектициды, пестициды). В 1962 г. были также разработаны: оборудование для классификации вермикулита, огнестойкие (в частности, краски и твердые смазки) и легкие строительные и звукоизоляционные материалы, металло-вермикулитовые легкие композиции, намечены пути использования вермикулита в качестве изоляционного материала в промышленности сверхвысоких температур. — *Прим. первое.*

США составила 184 тыс. коротких тонн стоимостью 2,6 млн. долл.¹. Стоимость транспортировки и вспучивания можно учесть, обратившись к суммарной стоимости вспученного вермикулита, которая в 1957 г. составляла 10 млн. долл. США покрывают потребности в вермикулите главным образом за счет отечественной добычи; незначительное количество вермикулита импортируется из ЮАР.

Очень низкий вес вспученного вермикулита затрудняет его рентабельную транспортировку, в связи с чем он перевозится в сыром виде и вспучивается вблизи мест потребления. В США существует более 50 заводов по вспучиванию вермикулита, расположенных в 35 штатах, в том числе и на Гавайских островах.

Общие обзоры вермикулитовой промышленности были опубликованы в 1946 г. (Goldstein, 1946) и в 1953 г. (North, Chandler, 1953).

Месторождение Либби, Монтана

Подавляющая масса вермикулита в США добывается на месторождении, расположенном близ Либби, Монтана, эксплуатационные работы на котором устойчиво ведутся начиная с 1925 г. Это месторождение располагается в округе Линкольн в северо-западном углу штата. Оно отстоит на 7 миль к северо-востоку от Либби, с которым связано шоссе и небольшим подъездным ответвлением с гравийным покрытием. Местность в округе Линкольн гористая и лесистая. Месторождение расположено на крутом склоне долины ручья Рейни-Крик, текущего в южном направлении притока реки Кутиней. Высота расположенной в 3800—4200 футах от рудника вершины горы Рейни-Крик составляет около 2100 футов. Геология планшета Либби, восточная граница которого проходит в 3 милях западнее месторождения вермикулита, описана Гибсоном (Gibson, 1948).

Район сложен кварцитами, аргиллитами и метаизвестняками серии Белт докембрийского возраста, смятыми в складки северо-западного простирания. Подле Либби эти породы образуют открытую синклиналь (фиг. 9.10), в замке которой располагается интрузив неправильной формы с максимальным поперечником 4 мили. Западная треть этого интрузивного тела представлена сиенитами, а восточные две тре-

¹ Ежегодное мировое производство вермикулита (без демократического лагеря) — около 300 тыс. т, а ежегодный прирост — около 20 тыс. т. В 1962 г в США добыто 205 747 т, в ЮАР — 85 534 т, в других производящих вермикулит странах добыча не превышала 1000 т. — *Прим. перев.*

настолько глубоко изменены выветриванием, что свободно крошатся в пальцах. Состоят они преимущественно из пироксена (диопсида), биотита и вермикулита. Преобладает пироксен, тогда как два остальных минерала обычно встречаются в рассеянном состоянии в существенно диопсидовой массе. Однако в отдельных участках порода постепенно переходит в агрегат, почти целиком состоящий из биотита и вермикулита. Акцессорные минералы представлены апатитом, полевым шпатом, титанитом и магнетитом.

Сиенит обладает средне- и грубозернистым сложением; в свежем состоянии он имеет белый цвет, но выветрелые разности окрашены железистыми потеками. Помимо калиевого полевого шпата и кислого плагиоклаза, местами в сиените присутствует до 15% мусковита. Среди многих акцессорных минералов характерны небольшие примеси диопсида и роговой обманки. Сиенит слагает не только относительно крупное интрузивное тело, но и многочисленные мелкие дайки, секущие пироксениты. Поздние стадии магматической деятельности представлены мелкими телами сиенит-пегматитов и гранитных пегматитов, а также сульфидно-кварцевыми жилами, секущими пироксениты. Среди жильных минералов присутствует ванадийсодержащий эгирин; исследование этого минерала с определением ванадия и привело в 1916 г. к открытию вермикулита.

Главное месторождение вермикулита располагается у основания крупной округлой возвышенности, несколько вытянутой в широтном направлении, неподалеку от апофизы сиенита, протягивающейся в пироксениты. Месторождение представлено несколькими неправильными скоплениями, содержащими до 95% вермикулита. Эти тела имеют грубо линзовидную форму и ориентированы почти вертикально; ширина их составляет 20—100 футов, а протяженность достигает 1 тыс. футов. Вермикулитовые тела постепенно переходят в пироксениты с рассеянными скоплениями биотита. У западной границы месторождения вермикулит сечется серией даек сиенита мощностью 5—10 футов, отстоящих друг от друга на расстоянии 10—15 футов. Наиболее крупные концентрации вермикулита установлены в восточной части месторождения на некотором удалении от главного тела сиенитов.

Парди и Ларсен (Pardee, Larsen, 1928) пришли к выводу, что биотит был первичным минералом пироксенитов, а вермикулит возникал за счет него в результате гидротермального изменения. По более поздним данным Майерса

(Myers, 1949), однако, и биотит и вермикулит представляют продукты изменения пироксенита, причем условия образования этих двух минералов определялись преимущественно химическим составом гидротермальных растворов, особенно содержанием в них калия. Результаты экспериментального изучения выветривания, проведенного Роем и Ромо (Roy, Romo, 1957), противоречат обеим этим гипотезам о происхождении вермикулита. Рой и Ромо утверждают, что вермикулит не может возникать в качестве первичного минерала даже в условиях низкотемпературного гидротермального процесса, а должен образовываться за счет слюд при низкотемпературных реакциях в зоне выветривания. Именно подобный способ образования принят для многих месторождений вермикулита. Интересно было бы проследить, какую генетическую концепцию — гидротермальную или метеорную, подтвердят будущие исследования генезиса вермикулита в Либби¹.

Возвышенность с телами вермикулита последовательно уничтожается уступами карьеров. Мощность наносов невелика, и вермикулит добывается непосредственно ковшовым экскаватором и грузится в автомашины. Лишь довольно незначительно встречающиеся дайки сиенитов приходится разбуривать и взрывать. Вермикулит добывается селективно с подразделением на три сорта по качеству. Трудности разработки месторождения заключаются в том, что мягкость и губчатый характер вермикулита осложняют процесс поддержания подошвы карьера в устойчивом состоянии, особенно в дождливое время.

После обогащения добытый сырой материал подвергается сушке в печи при температуре, необходимой для удаления свободной влаги, но недостаточной для выделения связанной воды вермикулита. Вслед за этим руда подвергается грохочению и поступает на бегуны. Мягкий чешуйчатый вермикулит свободно проходит через бегуны, тогда как твердые включения пород размалываются до пылевидного состояния и удаляются при помощи воздушной сепарации. Полученный таким образом концентрат отправляется на грузовиках к устью ручья Рейни-Крик, откуда по подвесной дороге он транспортируется через реку Кутиней до станции погрузки на Великой Северной железной дороге.

¹ См. также Бассет В. А., Образование вермикулитового месторождения Либби, Монтана; сб. «Вопросы минералогии глин», ИЛ, М., 1962. — *Прим. ред.*

Другие месторождения

Месторождения вермикулита обнаружены во многих местах в пределах пояса кристаллических пород юго-восточных штатов США, протягивающегося от Виргинии до Алабамы. Менее крупный вермикулитпроизводящий район США располагается в области Пидмонт на западе Южной Каролины на стыке округов Гринвилл, Лоренс и Спартенберг. К гнейсам и кристаллическим сланцам этого района приурочено огромное количество интенсивно измененных линз пироксенитов, представленных в настоящее время в верхней выветрелой части преимущественно вермикулитом, а на глубине — биотитом. Полевые данные позволяют представить следующую последовательность событий при возникновении этих месторождений (Buie, Stewart, 1954; Hunter, 1950): внедрение линз пироксенитов; внедрение в пироксениты пегматитовых прожилков и мелких неправильных тел гранитов; изменение пироксенитов в агрегат роговой обманки и диопсида, а затем в биотит под воздействием гидротермальных растворов; интенсивные эрозийные процессы, которые вывели скопления биотита и перемежающиеся с ними изверженные горные породы в зону выветривания; наконец, превращение биотита в вермикулит в результате воздействия циркулирующих метеорных вод. На этих месторождениях вермикулит на глубине 15—20 футов переходит в темный крепкий биотит, который в виде отдельных остаточных линз присутствует и в приповерхностной зоне. Ниже зоны интенсивного выветривания в вермикулите и биотите устанавливаются акцессорные минералы. Изменение до вермикулита наиболее интенсивно осуществляется в участках повышенной трещиноватости.

В западной части Северной Каролины хорошо обнажены очень крупные тела обогащенных оливином ультраосновных пород типа дунита и саксонита. Вермикулит в них был установлен еще в 1875 г. Эти вермикулитовые месторождения описаны Мердоком и Хантером (Murdock, Hunter, 1946). Жилы вермикулита здесь оторачивают дайки и линзы дунитов и саксонитов, причем и во внутренних частях последних вдоль мелких сбросовых зон и трещин также локализуются вермикулитовые скопления. По мнению Хантера (Hunter, 1950), происхождение вермикулита в этом районе представляется следующим: 1. Тела ультраосновных пород после внедрения подверглись ориентированному давлению, вызвавшему небольшие смещения по границам интрузивов и воз-

никновение внутри них многочисленных трещин. 2. Вдоль этих ослабленных зон произошла серпентинизация под воздействием остаточных растворов ультраосновной магмы. 3. В результате внедрения в те же зоны пегматитов и гранитов, а также под воздействием растворов, связанных с кислыми породами, серпентин переходил вначале в амфибол, а затем в хлорит. 4. Глубокая эрозия вывела эту формацию пород на дневную поверхность, и под воздействием метеорных вод за счет хлорита образовался вермикулит. Глубина распространения вермикулита обычно определяется местным уровнем стока грунтовых вод. Однако на месторождении Корундум-Хилл, округ Мейкон, поверхностные воды просачивались значительно ниже современного уровня грунтовых вод, и вермикулит здесь присутствует до глубины 150 футов. На глубине вермикулит постепенно переходит в хлорит. Сходные представления о генезисе вермикулита были высказаны Калпом и Бробстом (Kulp, Brobst, 1954) в отношении вермикулитового месторождения в округе Янси, однако в этом случае исходным минералом, за счет которого возникал вермикулит, был не хлорит, а флогопит.

Вермикулитовые месторождения, представляющие интерес в прошлом или потенциально перспективные, довольно многочисленны. Месторождения Джорджии (Hunter, 1950; Hunter, Mattocks, 1936) очень сходны по условиям локализации и происхождению с месторождениями Северной Каролины. Крупнейшие месторождения плато Льяно в Техасе, вероятно, возникли в результате выветривания докембрийских кристаллических сланцев, однако мелкие жилы вермикулита и хлорита здесь, видимо, имеют гидротермальный генезис (Clabaugh, Barnes, 1957). В происхождении вермикулитовых месторождений Колорадо Гольдштейн (Goldstein, 1946, стр. 12—17) отводит главную роль воздействию гидротермальных растворов; аналогичное мнение высказывает Хагнер (Hagner, 1944) о вермикулитовых залежах Вайоминга. Лейгтон (Leighton, 1954) полагает, что вермикулит в горах Вёрджин, Невада, имеет гидротермальное происхождение, но что «метеорные растворы продолжали процесс вермикулитизации... и, вероятно, в некоторых случаях он начинался под воздействием поверхностных вод». Вермикулитовые месторождения района Палабора в Трансваале, Южная Африка, которые относятся к числу крупнейших в мире, приурочены к серпентинизированным пироксенитам, имеющим сложную геологическую историю. По мнению Геверса (Geyvers, 1949), образование вермикулита здесь «кажется,

связано с положением современной дневной поверхности и обусловлено главным образом воздействием обычных грунтовых вод»¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Barshad I. (1948). Vermiculite and its relations to biotit, Amer. Mineralogist, **33**, 655—678.
- Barshad I. (1949). The nature of lattice expansion and its relation to hydration in montmorillonite and vermiculite, Amer. Mineralogist, **34**, 675—684.
- Bruce C. G. (1952). The Stanleyville vermiculite deposit, Can. Min. and Met. Bull., **45**, № 484, 489—493.
- Bule B. F., Stewart O. F. (1954). Origin of vermiculite at Tigerville, South Carolina, Bull. Geol. Soc. Amer., **65**, 1356—1357.
- Clabaugh S. E., Barnes V. E. (1957). Origin of central Texas vermiculite deposits, Bull. Geol. Soc. Amer., **68**, 1709.
- Gevers T. W. (1949). Vermiculite at Loolekop, Palabora, northeast Transvaal, Geol. Soc. South Africa Trans., **51**, 133—173; 174—178.
- Gibson R. S. (1948). Geology and ore deposits of the Libby quadrangle, Montana, U. S. Geol. Survey Bull., 956.
- Goldstein A., Jr. (1946). The vermiculites and their utilization, Colo. School of Mines Quart., **41**, № 4.
- Hagner A. F. (1944). Wyoming vermiculite deposits, Wyo. Geol. Survey Bull., 34.
- Hunter C. E. (1950). Vermiculite of the southeastern states, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 120—127.

¹ **Заключительные замечания.** Вермикулитовые месторождения в СССР известны давно и частично эксплуатировались еще в 30-х годах (Булдымское, Урал). Однако лишь недавно разведаны (и разведуются сейчас) крупные месторождения, позволяющие организовать широкую добычу вермикулита. Некоторые крупные месторождения СССР относятся к типу, близкому к Либби (например, Кокшаровское в Приморье), и приурочены к контактам пироксенитов с более поздними щелочными породами. Однако самое большое месторождение в СССР, Ковдорское на Кольском полуострове, приурочено к массиву субодновременных ультраосновных и щелочных пород и сходно с месторождением Палабора. Известны также месторождения других генетических типов, имеющие меньшее значение: 1) относительно мелкие месторождения, возникшие за счет биотитовых оторочек на контактах гипербазитов и пегматитов или иных кремнеземистых пород (типа Булдымского); 2) скопления вермикулита, образовавшиеся за счет флогопита регионально-метаморфизованных доломитовых толщ (Алдан, Слюдянка); 3) выветрелые слюдяные сланцы и гнейсы. Видимо, в большинстве случаев месторождения вермикулита возникают в коре выветривания, причем наиболее ценные из них формируются за счет гипергенного изменения реакционно-метасоматических скоплений слюд на контакте существенно глиноземистых (особенно щелочно-глиноземистых) и магнезиальных (гипербазиты, доломиты) пород. В таких случаях вермикулит на глубине сменяется неизменной слюдой, т. е. это комплексные вермикулитово-флогопитовые месторождения; см. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 6, М., 1962. — *Прим. перев.*

- Hunter C. E., Mattocks P. W. (1936). Vermiculites of western North Carolina and north Georgia, Tenn. Valley Authority Geol. Bull., 5, 1—21.
- Kriegel W. W. (1940). Summary of occurrence, properties, and uses of vermiculite at Libby, Montana, Bull. Amer. Ceramic Soc., 19, 94—97.
- Kulp J. L., Brobst D. A. (1954). Notes on the dunite and the geochemistry of vermiculite at the Day Brook dunite deposit, Yancey County, North Carolina, Econ. Geology, 49, 211—220.
- Leighton F. B. (1954). Origin of vermiculite deposits, southern Virgin Mountains, Nevada, Bull. Geol. Soc. Amer., 65, 1277.
- Mathieson A. McL., Walker G. F. (1954). Crystal structure of magnesium-vermiculite, Amer. Mineralogist, 39, 231—255.
- McMillan W. D., Gerhardt A. W. (1949). Investigation and laboratory testing of vermiculite deposits, Llano County, Texas, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4486.
- Murdock T. G., Hunter C. E. (1946). The vermiculite deposits of North Carolina, N. C. Div. Min. Res. Bull., 50.
- Myers J. B. (1949). Vermiculite, Industrial Minerals and Rocks 2nd. ed., New York, A. I. M. E., 1102—1110.
- North O. S., Chandler H. P. (1953). Vermiculite, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7668.
- Pardee J. T., Larsen E. S. (1928). Deposits of vermiculite and other minerals in the Rainy Creek district, near Libby, Mont., U. S. Geol. Survey Bull., 805, 17—29.
- Perry E. S. (1948). Talc, graphite, vermiculite, and asbestos in Montana, Mont. Bur. Mines and Geology Memoir, 27, 23—28.
- Prindle L. M. (1936). Kyanite and vermiculite deposits of Georgia, Ga. Geol. Survey Bull., 46, 41—46.
- Roy R., Romo L. A. (1957). Weathering studies, I, New data on vermiculite, Jour. Geology, 65, 603—610.
- Young W. A. (1952). Investigation of Encampmen' vermiculite deposits, Carbon County, Wyoming, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4857.

МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ОСАДОЧНОГО ГЕНЕЗИСА И СЕРА

В настоящей главе описываются виды минерального сырья осадочного происхождения, по способу накопления полезного ископаемого относящиеся к трем генетическим типам. Кроме того, в этой же главе описывается сера, образующаяся в основном при участии микроорганизмов.

Крупнейшие мировые россыпные месторождения алмазов возникли в результате размыва и механического переотложения материнских алмазоносных пород водными потоками. Эти месторождения иллюстрируют один из генетических типов месторождений минерального сырья осадочного генезиса. В таких условиях осадконакопления не происходит столь тщательного природного фракционирования минерального сырья, как в других типах осадочного процесса, о которых будет сказано ниже, и поэтому россыпные месторождения алмазов характеризуются большой неоднородностью и очень плохой концентрацией полезного ископаемого. В центральных районах Африки россыпные месторождения алмазов встречаются в аллювиальных галечниках триасового возраста; местами эти галечники были размыты и переотложены в карстовые полости подстилающих известняков, где к ним примешивались обломки кремня и другой материал, оставшиеся после выщелачивания известняков. Эти древние аллювиальные и карстовые алмазоносные осадки подвергаются интенсивному размыву современными реками и обнажаются в бортах их долин. В некоторых участках реки переоткладывают древние алмазные россыпи в виде современных аллювиальных осадков. Примерно таким же путем формируются некоторые россыпные месторождения золота, платины и касситерита, но ни одно неметаллическое полезное ископаемое, кроме алмаза, не образует россыпных месторождений.

Другое полезное ископаемое, которое будет описано в этой главе, формируется в стоячих водах путем накопления кремнеземистых микроскопических раковин в виде однородных осадков. Эти раковинки представляют собой остатки плавающих водных растений, называемых диатомеями, а образуя-

щиеся в результате отложения этих раковинки породы именуются диатомитами. С геологической точки зрения диатомит представляет собой породу, однако редкость и ценность промышленных месторождений этого полезного ископаемого заставляет нас рассматривать его как минеральное сырье. Самые крупные месторождения диатомита, встречающиеся в южной части штата Калифорния, возникли в мелководных морях в миоцене; более мелкие месторождения диатомита образовались в период от третичного до настоящего времени в пресноводных озерах. Для формирования крупных месторождений диатомита требовалось наличие специфических условий среды осадконакопления. Эта среда должна была быть благоприятной для роста громадного числа диатомей при наличии постоянного источника растворенного или коллоидального кремнезема, который привносился, вероятно, реками, дренирующими близлежащие вулканические районы. Кроме того, необходимым условием накопления чистых диатомовых осадков является довольно устойчивый рельеф суши, окружающей бассейн осадконакопления, чтобы в него почти не привносился терригенный материал. Подобные условия осадконакопления возникают очень редко. Однако в качестве примера аналогичных осадочных образований можно привести мел, хотя в большинстве случаев наряду с микроскопическими раковинками фораминифер он содержит чуждые примеси и кристаллический кальцит.

Наконец, путем испарения соленых вод формируются очень чистые скопления растворимых солей калия, натрия и бора. Калийные минералы осаждались в некоторых остаточных водоемах обширных бассейнов осадконакопления, в которых еще ранее образовывались залежи каменной соли (стр. 317). Для выпадения в осадок этих растворимых солей необходимо почти полное испарение бассейнов соленой воды, а это происходило не так часто в прошлые геологические периоды. В Северной Америке крупнейшие месторождения солей встречаются в среднедевонских отложениях в южной части провинции Саскачеван (Канада) и в верхнепермских породах в штате Нью-Мексико. В юго-западной части штата Вайоминг расположено важнейшее в мире месторождение троны, или природного карбоната натрия, которое образовалось в эоценовом озере. Наиболее крупные месторождения минералов борной кислоты находятся в пустыне Мохаве в штате Калифорния, где они приурочены к погребенным третичным мелководным озерам.

Месторождения каждой из этих растворимых солей формируются в исключительных, если не уникальных, условиях.

Какое-либо месторождение может быть сложено одним минералом или несколькими родственными при почти полном отсутствии других минералов; месторождения такого типа иллюстрируют чрезвычайно тщательный природный процесс фракционирования и концентрации полезного ископаемого. Здесь следует привести высказывание Брэдли¹, касающееся вайомингского месторождения троны, которое вполне можно отнести ко всем месторождениям минеральных солей, образовавшихся при испарении вод: «По-видимому, это месторождение является еще одной иллюстрацией примечательного геологического процесса, при котором определенное редкое сочетание факторов создает среду, необходимую для возникновения необычного минерала; затем эта среда остается без значительных изменений до тех пор, пока не образуются огромные скопления редкого минерала... Я сознаю, что созерцание этих природных лабораторий, где сложная динамическая система остается очень длительное время, несомненно, в совершенном равновесии, вызывает у меня искреннее удивление».

Чилийская самородная селитра встречается в виде близкоповерхностных отложений солей, цементирующих каменистые пустынные почвы и образующих своеобразные корки. В деталях природа формирования этих месторождений неизвестна. Вероятно, они возникли при испарении вод в современном физико-географическом цикле развития этого района в наиболее сухих на Земле климатических условиях.

Нет ничего сложного в образовании самородной серы на стенках вулканических жерл, где можно видеть, как этот блестящий желтый минерал сублимируется из восходящих из вулкана газов. Однако крупнейшие мировые месторождения серы, которые встречаются на глубинах несколько сот футов в породах, покрывающих соляные купола на мексиканском побережье, сформировались совершенно другим путем. С тех пор как соляные купола интенсивно начали описковываться на нефть и газ, т. е. примерно полвека назад, геологи уже смогли прийти к правильному объяснению происхождения самих куполов (пластическое течение солей из пластовых залежей их, расположенных на глубинах, которые исчисляются многими тысячами футов) и каменных шляп соляных куполов (нерастворимые остатки, представленные главным образом ангидритом, которые остались после того, как верхние части куполов соли растворились грунтовыми водами). Считалось

¹ Bradley W. H. (1948). Limnology and the Eocene lakes of the Rocky Mountain region, Bull. Geol. Soc. Amer., 59, 643.

также неоспоримым, что сера должна была возникнуть каким-то образом за счет сернокислого кальция — ангидрида. И только в течение 50-х годов стало ясно, что сера в этих случаях сформировалась путем восстановления сульфата при участии анаэробных бактерий, которые развивают бурную деятельность при наличии углеводов, связанных с нефтью. Этот микробиологический процесс обычно приводил к образованию сероводорода, который затем окислялся с выделением самородной серы. Природа этого процесса окисления сероводорода остается невыясненной до конца. Результаты экспериментальных работ наводят на мысль о том, что такое окисление заключается в реакции между H_2S и дополнительным количеством сульфата. Так на основании эксперимента становится известным природный процесс. Окончательный ответ на вопрос о генезисе серы, вероятно, будет получен из дальнейших опытов. По крайней мере ясно, что самородной сере, залегающей на соляных куполах, не присуще ни магнитное, ни осадочное, ни метаморфическое происхождение и образование ее связано с вполне своеобразным процессом.

АЛМАЗЫ

Введение

Алмаз — это самородный углерод, кристаллизующийся в кубической сингонии. Наиболее часто алмаз образует октаэдрические кристаллы размером от микроскопических до 3 тыс. карат¹ и более. Обычно встречаются сдвойникованные кристаллы. Алмаз обладает совершенной спайностью по октаэдру.

Чистые и бесцветные кристаллы, а также слабо окрашенные в голубой, бурый или желтый цвета, классифицируются как драгоценные алмазы, а разновидности, окрашенные в желто-бурый до темно-бурого и черного цвета, рассматриваются как технические алмазы. Наиболее примечательным свойством алмаза является его твердость, равная 10 по шкале Мооса. Однако алмаз во столько же раз тверже соседнего в этой шкале минерала корунда, имеющего твердость 9, во сколько раз корунд тверже минерала, занимающего в шкале первое место (например, графит). Твердость алмаза несколько меняется в зависимости от кристаллографического направле-

¹ Метрический карат, равный 200 мг, является универсальной мерой для оценки товарных алмазов. Алмаз в 3 тыс. карат весит 600 г, или около 1,32 фунта,

ния, причем выше всего она на гранях октаэдра. Хотя кристаллы алмаза очень устойчивы к истиранию, в то же время они хрупкие и их можно расколоть или раздробить. Алмаз имеет очень большой показатель светопреломления (2,42), вследствие чего драгоценные разновидности обладают высоким внутренним отражением; сильная цветовая дисперсия обуславливает разложение белого света на составные части, что дает характерную игру цветов в алмазе. Полированные грани кристаллов обладают сильным алмазным блеском (очень ярким), а неполированные — слегка жирным блеском. Удельный вес драгоценных алмазов составляет 3,50—3,52, а технических — от 2,9 до 3,3. Для алмаза характерна очень большая температура плавления. В кислотах он нерастворим. Алмаз окисляется (сгорает) на воздухе при температурах около 870°.

Алмазы наиболее высоко ценились по сравнению с другими драгоценными камнями на протяжении почти 20 столетий, и они все еще широко используются в ювелирных изделиях во всем мире. Однако в последние десятилетия сильно возросла роль технических алмазов, которые стали применяться во многих отраслях промышленности; в настоящее время более 80% мировой добычи алмазов составляют технические разновидности, которые и будут здесь рассмотрены подробнее. Описания ювелирных алмазов можно найти в руководстве по драгоценным камням Крауса и Слоусона (Kraus, Slawson, 1947), а также в работе, посвященной алмазам, Остина и Меркера (Austin, Mercer, 1948).

Среди технических алмазов выделяют три разновидности. Одна из них — это *борт*, представляющий собой сильноокрашенные, трещиноватые или разрушенные кристаллы, которые непригодны для ювелирных изделий. В течение многих лет борт добывался в качестве побочного полезного ископаемого при разработке алмазных месторождений, но в настоящее время проводятся специальные поиски и добыча борта. Количество добываемого борта составляет 99% общего тоннажа обычной ежегодной добычи технических алмазов. Борт добывается только на африканских месторождениях. Другая разновидность технических алмазов — это *карбонадо* («уголь», или «черный алмаз»), который представляет собой очень крепкий, прочно связанный агрегат мелких кристалликов алмаза. Наконец, третья разновидность — это *баллас*, представляющий собой очень прочные и крепкие зернистые агрегаты темных кристаллов с радиальной структурой. Карбонадо и большая часть балласа добываются на бразильских месторождениях. Добыча этих разновидностей составляет

только около 1% общей ежегодной добычи технических алмазов.

В результате лабораторных исследований в 1955 г. стал возможным синтез искусственных технических алмазов (Bridgman, 1955), небольшое количество которых было получено уже в следующем году. Для синтеза алмазов необходимы очень высокие температуры и давления. Сейчас проводятся дальнейшие исследования и разработка процесса производства искусственных алмазов в промышленных условиях и одновременно ведутся эксперименты с целью выявления возможных видов их применения. Вполне вероятно, что искусственные алмазы вскоре можно будет получать в промышленных количествах, при этом их стоимость будет сравнима со стоимостью природных алмазов.

В 1957 г. те же самые исследователи, которые получили искусственные алмазы, доказали, что древнейшее положение о том, что «алмаз является самым твердым из всех известных веществ», устарело. Эти исследователи синтезировали нитрид бора кубической сингонии, или «боразон» («borazon»), который имеет твердость того же порядка, что и алмаз, и он очень близок к алмазу по своей кристаллической структуре и плотности. Однако боразон значительно устойчивее алмаза к окислению при высоких температурах. Он может противостоять температурам до 1900°, т. е. температурам, в два раза большим, чем температура сгорания алмаза. Благодаря этому свойству боразон, возможно, найдет применение в качестве каменных резцов в токарных станках, что позволит обрабатывать детали на больших скоростях. Однако, несмотря на такие замечательные свойства боразона, вероятно в течение некоторого времени, он все еще будет оставаться в сфере лабораторных исследований. Для синтеза боразона требуется давление более 1 млн. фунт/кв. дюйм и температура более 1650°; до сих пор получали кристаллики боразона размером не более $\frac{1}{32}$ дюйма в диаметре.

Свойства и применение

Алмаз — самый дорогой среди всех других видов минерального сырья, причем цена за фунт составляет почти 10 тыс. долл., и она продолжает неуклонно возрастать. Благодаря своей твердости алмаз занимает исключительное место среди других веществ, применяемых в качестве абразивов, намного превосходя по своим свойствам такие искусственные абразивы, как карбид кремния, карбид вольфрама и другие. Можно говорить о том, что современные высокоскоростные

методы точной обработки промышленных деталей почти полностью основаны на применении алмазов в качестве резцов. Однако способность алмаза к окислению при повышенных температурах несколько сокращает сферу его использования в промышленности. Несжимаемость алмаза и его нерастворимость в кислотах также обуславливают некоторые применения алмаза в промышленности.

Алмаз используется в качестве *основного абразивного материала* во многих областях производства. Алмазные резцы, вправленные в ручные или механизированные инструменты, применяются для гравирования по драгоценным камням, металлам и стеклу, а также для формовки и механической обработки твердых легированных сталей, применяемых в самолетостроительной, автотракторной и других отраслях промышленности. Сыпучий алмазный порошок используется для резки драгоценных камней, алмазных штампов и кварцевых осцилляторных пластинок (стр. 389). Однако алмазы в значительно больших количествах, чем для резцов и абразивных порошков, применяются для изготовления алмазных кругов и пил, причем на эти цели идет 75% всей продукции борта. Борт дробится на небольшие кусочки или порошок, которые затем тщательно фракционируют по размеру и равномерно перемешивают с пластмассой, металлическим порошком или керамической массой, играющими роль связующего вещества. Затем эта смесь спекается под высоким давлением и наплавляется на металлические круги и пилы. При помощи алмазных кругов и пил можно стачивать, фрезеровать и шлифовать до требуемых размеров другие абразивные материалы, особенно карбиды. Иначе говоря, алмазные пилы и круги являются абразивами для всех других материалов, применяемых в промышленности в качестве абразивов. Кроме того, алмазные круги используются для шлифовки стекол, а пилы — для резки камня.

Не менее важно в практическом отношении применение алмаза в качестве буровых коронок. Впервые алмазными буровыми коронками воспользовались в 1870 г., а в настоящее время алмазное бурение широко применяется при проходке твердых пород. Первоначально в качестве буровых коронок употреблялся карбонадо, но сейчас для этих целей гораздо шире используется менее дорогостоящий борт. Почти до 2 тыс. кусочков алмаза укрепляется на металлическом алмазодержателе коронки бура. В бурении применяются алмазные коронки разнообразных размеров и форм. Алмазные коронки небольших размеров широко используются при бурении скважин для взрывных работ на подземных рудни-

ках и карьерах. Применение в бурении коронок больших размеров, имеющих форму пустотелого цилиндра, позволяет получать керновые образцы пород диаметром от $\frac{1}{2}$ до $3\frac{1}{2}$ дюймов и более. Алмазное колонковое бурение является основным поисковым методом при всех видах горных работ на металлические и неметаллические полезные ископаемые. Кроме того, алмазным колонковым бурением пользуются при подготовке строительства плотин, туннелей и других подобных сооружений. В нефтепромысловой практике применяются алмазные коронки больших диаметров для увеличения нефтеотдачи из таких прочных пород, как кварцевые песчаники и кремнистые породы (Johnson, Long, 1958; Rombosek, Long, 1958), а также для извлечения керна трещиноватых пород и вообще в тех случаях, когда по какой-либо причине трудно производить бурение алмазными коронками малых размеров.

С развитием электроламповой промышленности, начиная примерно с 1900 г., алмаз стал широко применяться в качестве фильер для волочения проволоки. При помощи алмазных фильер можно получать проволоку диаметром менее 0,08 дюйма. Для изготовления фильеры прочный кристалл качественного борта (весом от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{3}$ карата) просверливается с противоположных сторон иглой с помощью оливкового масла с примесью алмазного тонкого порошка. С одной стороны кристалла полученное отверстие имеет форму воронки, а с другой — чашеобразную форму. Если эти отверстия точно отцентрировать по отношению друг к другу, то между ними можно получить отверстие диаметром не более 0,0003 дюйма. Тонкую проволоку, идущую на изготовление электроламп и точных инструментов, получают путем протягивания заготовки через серию фильер, причем диаметр отверстия каждой последующей фильеры меньше диаметра отверстия предыдущей; таким образом можно получить нити накала толщиной с человеческий волос. Алмазные фильеры очень медленно снашиваются и сохраняют свою калибровку весьма продолжительное время.

Описания трех главных применений алмаза в различных отраслях промышленности в качестве абразивов, в бурении и для изготовления фильер можно найти в трудах симпозиумов по алмазам, выпущенных под редакцией Крауса (Kraus, 1942, 1943, 1946).

Производство

Мировая добыча всех алмазов, используемых в промышленности в 1957 г., достигла 20 800 тыс. карат, самой высокой цифрой по сравнению с предыдущими годами. На долю место-

рождений Конго, которые являются главными источниками алмазов на протяжении более 25 лет, из этого количества приходится 15 100 тыс. карат, или 72% мировой добычи. Остальную часть мировой добычи практически полностью составляет добыча алмазов на других африканских месторождениях, главным образом месторождениях Ганы и Южно-Африканской Республики. На месторождения, расположенные за пределами африканского континента, главным образом на бразильские, приходится около 1% общей мировой добычи алмазов¹.

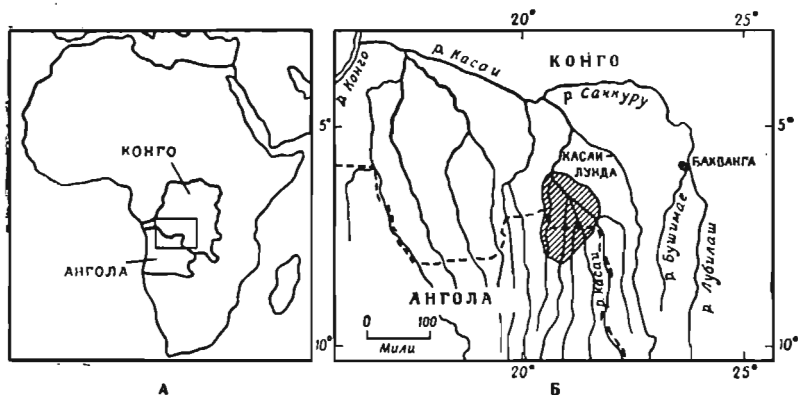
Промышленность США является самым крупным потребителем технических алмазов. В 1957 г. в США было импортировано около 12 млн. карат алмазов на сумму почти 50 млн. долл., причем стоимость алмазов за один карат составила 4,17 долл., а за 1 фунт — 10 тыс. долл. Ввиду того что алмазы представляют собой стратегическое сырье, а США полностью зависят от иностранных месторождений, правительство расширяет государственные запасы алмазов.

Месторождения Конго

Всемирно известные ювелирные алмазы связаны с изверженными породами и встречаются в широко известных кимберлитовых «трубках» в Южной Африке, однако технические алмазы в основном добываются из осадочных отложений в районе, расположенном примерно в 1500 милях севернее этих трубок, в южной части Конго (фиг. 10.1, А) (Colonna, Fisher, 1947; Veatch, 1935). Этот алмазоносный район представляет собой плато, занимающее южное крыло огромного водосборного бассейна Конго. Плато имеет слабый наклон к северу и спускается от высоты 3000 футов у границы Конго с Анголой до 1700 футов у северной границы алмазоносного района. Оно частично изрезано серией параллельных рек, текущих в северном направлении и впадающих в реку Касаи. На севере описываемого района река Касаи поворачивает к западу и впадает в реку Конго. Река Касаи — главный приток реки Конго (фиг. 10.1, Б).

¹ В 1962 г. мировая добыча технических алмазов составила 26 700 тыс. карат (ювелирных — 6200 тыс. карат). Почти вся продукция получена в Африке (25 952 тыс. карат технических и 5800 тыс. карат ювелирных алмазов), при этом львиная доля технических алмазов добыта в Республике Конго (Леопольдвиль) — 14 400 тыс. карат, а наибольшее количество ювелирных — в ЮАР (1634 тыс. карат). Искусственные технические алмазы производились в США (около 4 млн. карат) и ЮАР. — *Прим. ред.*

Район месторождений расположен всего в нескольких градусах южнее экватора и характеризуется теплым влажным климатом. Долины заросли глухими лесными массивами с густым подлеском, а пологие водоразделы покрыты лугами с редкими низкими деревьями. В противоположность тропическим лесным зарослям с дождливым климатом централь-



Фиг. 10.1. Промышленные месторождения алмазов Африки.

А — обзорная карта; Б — карта участка бассейна реки Конго. Два крупнейших месторождения алмазов показаны штриховкой. Хотя месторождение Бакуванга меньше по площади, чем Касаи-Луанда, оно имеет большее практическое значение.

ных районов Конго, расположенных к северу, климат описываемого района вполне благоприятен для европейских жителей.

В геологическом строении этого алмазоносного района участвуют четыре главные толщи пород (сверху вниз):

4. *Поверхностные пески и галечники.* В долинах рек распространены плейстоценовые и современные террасовые и долинные галечниковые отложения, из которых добываются алмазы. В некоторых местах водораздельные участки сложены мощной толщей горизонтально лежащих песков и галечников олигоценного возраста.

3. *Серия Верхний Карру* (триас); по Витчу (Veatch, 1935) — *пласты Лубилаш*. Эта толща представлена главным образом мягкими красноцветными песчаниками мощностью 1500—2000 футов. Среди песчаников, особенно в нижней части толщи, встречаются линзы и невыдержанные пласты крупнообломочных алмазоносных конгломератов. Отложения серии Карру представляют собой эоловые поверхностные и речные песчаные осадки сухого климата. Они имеют очень слабое региональное падение к северу по направлению к цен-

тральной части бассейна Конго и представляют собой материнский материал большей части более молодых отложений песка и гравия.

(Перерыв.)

2. *Протерозойские отложения.* Эти отложения разделяются на различные толщи, которым даны местные наименования. Протерозойские породы представлены неизменными или слабометаморфизованными осадочными отложениями, среди которых встречаются известняки, доломиты, глинистые сланцы и красноцветные полевошпатовые песчаники. В них не встречается никаких ископаемых организмов, кроме водорослей.

1. *Комплекс кристаллических пород фундамента* (ранний докембрий).

Отложения серии Карру выполняют современный бассейн Конго, но это не древний бассейн осадконакопления, а одна из структур, образовавшихся значительно позднее. Согласно Витчу (Veatch, 1935, стр. 158—164), поверхность докембрийских пород, на которой происходило накопление осадков серии Карру, имела пологий наклон в юго-восточном направлении от приподнятых участков, расположенных далее к северо-западу от района месторождений. Поэтому триасовые реки текли в ином направлении, чем современные, а именно в поперечном или почти в обратном. Относительные превышения поверхности докембрийских пород составляли тогда по меньшей мере 600 футов. Триасовые реки протекали по вполне зрелым долинам, в которых происходило накопление крупнообломочных, неотсортированных алмазоносных гравийных осадков. На южном склоне водосборного бассейна Конго современные реки местами размывают эту тонкую кромку отложений серии Карру и переоткладывают их вновь в виде русловых осадков. Таким образом, современные аллювиальные россыпные месторождения алмазов произошли за счет алмазоносных триасовых конгломератов, однако первоначальный источник триасовых алмазов остается неизвестным. Витч (Veatch, 1935, стр. 164) предполагает, что первоначальным источником алмазов, вероятно, являются в основном «докембрийские породы, залегающие севернее и западнее современных месторождений». Как будет показано ниже, имеются данные о том, что такие первичные источники алмазов, возможно, расположены в пределах самого алмазоносного района и, по видимому, они по возрасту значительно моложе докембрия.

Наибольшее практическое значение имеют два алмазоносных участка (фиг. 10,1, Б), Западный участок, известный под

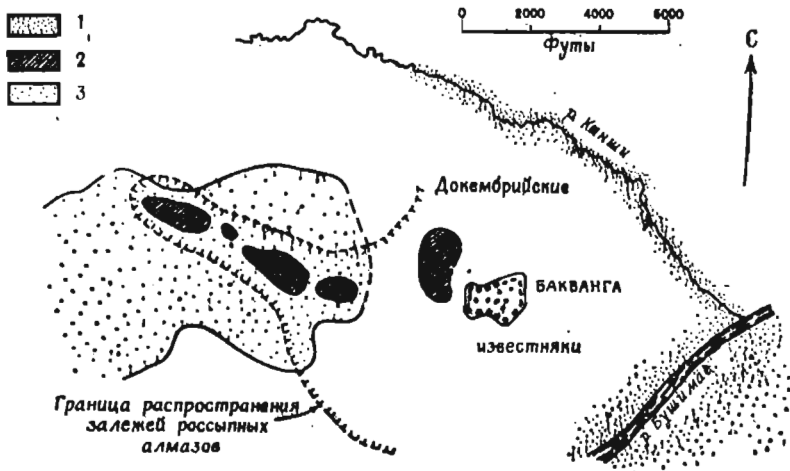
названием Касаи — Лунда, представлен россыпными месторождениями, расположенными в низинах и на террасах притоков реки Касаи, которые впадают в нее в среднем течении. Алмазонасный участок Касаи — Лунда расположен частично на территории республики Конго, а частично на территории Анголы. На этой площади в несколько тысяч квадратных миль разбросано около 30—35 рудников. Более половины всех добываемых алмазов в районе Касаи — Лунда представлено ювелирными разновидностями, но они небольшие по размеру и не самого лучшего качества. Второй алмазонасный участок, имеющий большое практическое значение, расположен в 200 милях восточнее первого. Он известен как концессия Бесека. Этот участок расположен на реке Бушимае, а в центре его находится поселок Бакванга. Большая часть дробленого борта импортируется в США именно с этого месторождения, которое представляет собой вообще главнейший источник алмазов, используемых в промышленности капиталистических стран. Поэтому ниже приводится более детальное описание этого месторождения.

Месторождение Бакванга

Рудничный поселок Бакванга построен на выложенной стрелке, называемой Диселе, которая расположена между рекой Бушимае и ее притоком Канши (фиг. 10.2). Поселок расположен на высоте 300 футов от уровня реки Бушимае. В долинах обеих рек встречаются аллювиальные россыпи алмазов, разработка которых началась в 1921 г. (Colonna, Fisher, 1947; De Magnee, 1949; Murdock, 1955).

Вскоре после 1921 г. обнаружили алмазные россыпи на склонах долин рек, которые также стали разрабатывать. Склоны долин сложены базальными гравийными отложениями серии Карру, перемешанными с угловатыми обломками кремня и известняка, происшедшими из коренных протерозойских известняков. Эти залежи месторождения Бакванга, очевидно, представляют собой часть русла реки триасового возраста, которая размывала подстилающие известняки и закарстовывала их. Гравийные осадки с брекчиями обрушения, сложенными обломками известняка и кремня, накапливались в депрессиях и карстовых воронках среди известняков. В результате образовывались алмазонасные брекчированные породы, представленные смешанными переотложенными и остаточными отложениями. Считают, что эти отложения исключительно богаты алмазами.

В 1946 г. на стрелке Диселе были заложены глубокие разведочные шурфы с целью установления границ распространения алмазонасных брекчий. Неожиданно некоторые шурфы вскрыли породы, похожие на «желтую землю» кимберлитовых алмазонасных полей в Южной Африке. «Желтая земля» пред-



Фиг. 10.2. Схематическая геологическая карта района месторождения Бакванга, Конго (см. обзорную карту, фиг. 10.1). Составлена по работам Мердока (Murdock, 1955, U. S. Bur. Mines, Mineral Trade Notes, 40, № 6, Spec. supplement, 46) и Полинара (Polinard, 1951, Institut Royal Colonial Belge, Section des Sciences Naturelles et Medicales, Memoires, Collection in 4°, 7, f. 6).

1 — аллювиальные галечники; 2 — кимберлитовые брекчии; 3 — песчаники серии Карру.

ставляет собой сильно выветрелую и разложенную разновидность кимберлитов, близких к перидотитам и характерных для интрузивных некков или «трубок». Обычно кимберлитовые породы сильно брекчированы, и они описывались как «инъекционные брекчии ультрабазитов» (Wilson, 1948, стр. 329). Кимберлитовые породы в районе Бакванга, как было установлено, содержат угловатые обломки известняков и доломитов, обломки кристаллических сланцев и прочно сцементированных песчаников (вероятно, происшедших из протерозойских отложений, которые залегают ниже известняков и обломков гранитов. Кроме того, были найдены обломки **эклогита** — пироксеново-гранатовой породы, типичной для кимберлитов из месторождений Южной Африки. В этих породах обычно присутствуют также в больших количествах минералы тяжелой фракции, особенно алмаза, черный ильменит и красный гранат. На основании результатов, полученных при

электропрофилировании в районе Бакванга по всем залежам кимберлитовых пород, геофизик де Манье (De Magnee, 1949) пришел к выводу о том, что эти породы выполняют истинную кимберлитовую «трубку», подобную «трубкам» классических алмазных месторождений Южной Африки. Однако по возрасту она значительно древнее последних.

В результате дальнейшей детальной разведки месторождения компанией «Бесека» было вскрыто еще четыре такие залежи кимберлита, которые расположены на одной линии, протягивающейся к западу от трубки в районе поселка Бакванга. Эти залежи кимберлита перекрываются мягкими песчаниками серии Карру мощностью почти до 60 футов, которые заходят на стрелку Диселе с западной стороны (фиг. 10.2).

Хотя эти брекчированные породы имеют явное сходство с кимберлитами, они все же, по-видимому, не являются истинными кимберлитами, как предполагалось сначала. Согласно сообщению Мердока (Murdock, 1955), такие залежи, вероятно, приурочены к карстовым провалам и широким глубоким воронкам в подстилающих известняках, а местами они даже переслаиваются с базальными песчаниками серии Карру. Очевидно, эти залежи кимберлитоподобных пород представляют собой просто расширенные участки осадочных отложений (перестолженных кимберлитов), которые отличаются от обычных осадочных пород наличием несомненных признаков кимберлитовых интрузий. Если картина палеогеографии времени отложения осадков серии Карру, нарисованная Витчем, верна, то предполагаемые кимберлитовые трубки должны находиться преимущественно северо-западнее этого месторождения, в тех местах, откуда текли реки триасового возраста (Veatch, 1935). В середине 1955 г. в районе месторождения Бакванга была произведена аэромагнитная съемка, с помощью которой пытались выяснить природу этих кимберлитовых залежей.

Добыча технических алмазов на месторождении Бакванга в 1948 г. составила 5300 тыс. карат, а в 1957 г. — 14 млн. карат. Столь резкое увеличение добычи обусловлено двумя причинами. Одна из них заключается в открытии кимберлитовых брекчий на стрелке Диселе, которые оказались очень богатыми алмазами со средним содержанием извлекаемых алмазов 8—9 карат на кубометр породы. Вторая причина заключается в повсеместной механизации горных работ. Для удаления вскрыши и переработки алмазоносных пород стали применяться экскаваторы, механические лопаты, скреперы и тракторные скреперы. Почти все эти машины приводятся в

действие электричеством, которое дает новая гидроэлектростанция, расположенная на реке Лубилаш примерно в 15 милях северо-восточнее поселка Бакванга. К 1954 г. было удалено почти 94% вскрышных пород и переработано 80% залежей алмазоносных брекчий.

Суммарная добыча алмазов на месторождении Бакванга к концу 1953 г. достигла более 150 млн. карат, или около 30 т алмазов. Свыше 95% этого количества приходится на долю технических алмазов. Запасы месторождения, по данным 1955 г., оцениваются в 300 млн. карат (Murdock, 1955). Они были подсчитаны тремя компаниями, разрабатывающими месторождения Касаи — Лунда и Бакванга, на основании данных трехгодичных геологических исследований в бассейне реки Касаи выше места впадения в нее реки Санкуру (фиг. 10.1, Б).

Добытые алмазоносные породы сначала промываются в карьерах. Обогащенное таким образом сырье собирается в запломбированные стальные баки емкостью 1 м³ и отправляется на центральную обогатительную фабрику, расположенную около поселка Бакванга. На этой фабрике сырье фракционируют в тяжелых средах (см. стр. 151), причем в качестве тяжелой среды используется эмульсия ферросилиция с плотностью 2,9. Полученный концентрат тяжелых минералов подвергается магнитной сепарации. Немагнитная фракция распределяется на восковых столах, с которых алмаз отбирается уже вручную. Алмазы прилипают к воску, тогда как другие минералы не прилипают к нему и смываются водой.

Прочие месторождения

Уилсон (Wilson, 1948) разделил алмазные месторождения мира на три группы, причем в первую группу он включил месторождения, связанные с кимберлитами. В кимберлитах, главным образом на месторождениях Южной Африки и Южной Родезии, встречаются как ювелирные, так и технические алмазы. Кимберлитовые трубки таких же размеров, как и в Южной Африке, встречаются в Восточной Сибири, и добыча алмазов из этих трубок, а также из связанных с ними россыпных месторождений удовлетворяет потребности промышленности СССР (Alexandrov, 1958). Единственным потенциальным источником алмазов в США, могущим представлять промышленный интерес, является группа небольших перидотитовых интрузий в округе Пайк, штат Арканзас (Thoenen, 1949). Хотя эти породы изучались более 100 лет и временами даже разрабатывались, алмазов было добыто очень мало.

Приуроченность алмазов к кимберлитам естественно наводит на мысль о том, что они могут быть обнаружены в родственных основных и ультраосновных породах. Второй тип месторождений по классификации Уилсона включает месторождения, приуроченные к удлиненным полусогласным телам ультраосновных пород. Возможно лучшими примерами месторождений этого типа служат тела серпентинизированных перидотитов и пироксенитов, в которых встречаются асбест (стр. 460) и тальк (стр. 485), расположенные в полосе кристаллических пород, простирающейся от восточной части Канады до штата Алабама. Установлено, что эти породы не имеют никакого практического значения в качестве источников алмазов, хотя в гравийных отложениях, образовавшихся за счет этих пород, в штатах Теннесси, Алабама, Джорджия, Северная Каролина и Виргиния встречаются рассеянные кристаллы алмазов. Уилсон (Wilson, 1948, стр. 335) сообщил, что алмазы были обнаружены в перидотитах около озера Блэк-Лейк в асбестоносном поясе в провинции Квебек (Канада). Мелкие алмазы подобного происхождения были встречены в Британской Колумбии и в золотоносных гравийных отложениях в горах Сьерра-Невада, штат Калифорния.

Третий тип месторождений включает россыпные месторождения или гравийные алмазоносные залежи. Хотя проследить непосредственную связь месторождений этого типа с коренным источником алмазов очень трудно и даже невозможно, ясно, что гравийные осадки в общем отложились в тех реках, которые размывали районы распространения ультраосновных пород. Помимо месторождений Конго, гравийные алмазоносные россыпи встречаются в Индии и Бразилии (Draeger, 1950), в Гане (Junper, 1943), в провинции Трансвааль в Южно-Африканской Республике (Cooke, 1947) и в СССР (Alexandrov, 1958). В Юго-Западной Африке имеются морские, а не аллювиальные россыпные промышленные месторождения технических алмазов. Морские россыпи алмазов залегают здесь в поднятых морских террасах и на цокольных породах ниже этих террас в виде прерывистой полосы, протягивающейся на 100 миль вдоль побережья¹.

¹ **Заключительные замечания.** В СССР лишь перед Отечественной войной были открыты небольшие россыпи алмазов на Урале. Алмазодобывающая промышленность была создана по существу лишь в послевоенное время, после открытия алмазоносного района в Восточной Сибири (россыпи — в 1948, коренные месторождения — в 1954 г.), предсказанного советскими геологами на основании прогнозных соображений. Главная масса алмазов в СССР добывается из коренных месторождений — кимберлитовых грубок. В СССР разработаны также промышленные способы

ЛИТЕРАТУРА

- Austin A. C., Mercer M. (1948). The Story of Diamonds, 3rd. ed., Los Angeles, Gemological Inst. of America.
- Beetz W. (1931). Process of concentration in alluvial and allied diamond placers of southwest, south central, and east Africa, Congrès Internat. Mines, Mét. et Géol. Appl., VI sess., Liège, 1930, sect. géol. 49—68.
- Bridgman P. W. (1955). Synthetic diamonds, Scientific American, 193, № 5, 42—46.
- Bruet E. (1952). Le Diamant, Paris, Payot.
- Colonna M., Fisher F. L. (1947). Mineral resources of the Belgian Congo and Ruanda-Urundi, U. S. Bur. Mines, Foreign Minerals Survey, 2, № 6, 50—57.
- Cooke H. B. S. (1947). The development of the Vaal River and its deposits. Geol. Soc. So. Africa Trans., 49, 243—262.
- De Magnee I. (1949). Kimberlite discovery in the diamond fields of Bakwanga, Gems and Gemology, 6, 131—135.
- Draper T. (1950). The origin and distribution of diamonds in Brazil, Gems and Gemology, 6, 298—306.
- Du Toit A. L. (1951). The diamondiferous gravels of Lichtenburg, South Africa Geol. Survey Mem., 44.
- Johnson G. H., Long A. E. (1958). Diamond-bit performance in cherty limestone and cherty dolomite, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 5403.
- Junner N. R. (1943). The diamond deposits of the Gold Coast with notes on other deposits in west Africa, Gold Coast Geol. Survey Bull., 12.
- Kraus E. H. (1942). Symposium on diamonds, Amer. Mineralogist, 27, 162—191.
- Kraus E. H. (1943). Symposium on diamonds, Amer. Mineralogist, 28, 141—150.
- Kraus E. H. (1946). Third symposium on diamonds, Amer. Mineralogist, 31, 135—167.
- Kraus E. H., Slawson C. B. (1947). Gems and Gem Materials, 5th. ed., New York, McGraw-Hill, 181—199.
- Murdock T. G. (1955). Bécéka's industrial diamond mining operations at Bakwanga, U. S. Bur. Mines, Mineral Trade Notes, 40, № 6, Spec. supplement, 46.
- Polinard E. (1951). Les gisements de diamant du bassin du Kasai au Congo belge et en Angola, Institut Royal Colonial Belge, Section des Sciences Naturelles et Médicales, Mémoires, Collection in 4°, 7, f. 6.
- Rambosek A. J., Long A. E. (1958). Diamond-bit performance in quartzite, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 5402.
- Ray H. C. (1943). The Kasai diamond fields and their minerals, Rocks and Minerals, 18, 340—341.
- Reumont L., Parmentier A. (1931). Les champs diamantifères du Kasal dans leurs rapports avec la géologie de la région, Congrès Internat. Mines. Mét., et Géol. Appl., VI sess., Liège, 1930, sect. géol., 17—24.
- Rockwell F. G. (1944). Industrial diamonds, Min. and Met., 25, 257—259.

получения синтетических алмазов. О геологии советских алмазных месторождений см.: Алмазные месторождения Якутии. М., Госгеолтехиздат, 1959, Геология алмазных месторождений. Тр. Якут. фил. АН СССР, сб. 9, 1963, — Прим. ред.

- Thoenen J. R. et al. (1949). Investigation of the Prairie Creek diamond area, Pike County, Ark., U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 4549.
- Tyler P. M. (1932). Abrasive and industrial diamonds, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 6562.
- Veatch A. C. (1935). Evolution of the Congo Basin, Bull. Geol. Soc. Amer. Memoir, 3.
- Williams A. F. (1932). The Genesis of the Diamond, London, Benn.
- Wilson N. W. (1948). The world's diamond deposits, Mining Mag., 79, 329—341.

СЕРА

Введение

Сера — неметаллический элемент с характерным ярко-желтым цветом и смолистым блеском. Самородная сера в природе встречается в виде кристаллов ромбической сингонии, но обычно образует зернистые или массивные скопления. Твердость ее 1,5—2,5; уд. вес 1,9—2,1. Минерал хрупкий, с неровным раковистым изломом. Сера плавится при 110°, т. е. немного выше температуры кипения воды. При температуре 248° она воспламеняется и горит голубым пламенем, превращаясь в газообразную двуокись серы. Минерал нерастворим в воде и почти во всех кислотах, но в сероуглероде CS_2 и четыреххлористом углероде CCl_4 хорошо растворяется. Сера — очень плохой проводник тепла и электричества.

Элементарная сера в самородной форме, которой посвящен этот раздел, встречается главным образом в кепроках соляных куполов. Промышленные месторождения серы залегают в недрах прибрежных равнин штатов Техас и Луизиана, а также в Мексике на перешейке Теуантепек, где в пределах небольшого бассейна, выполненного осадочными породами, обнаружен 41 соляной купол (Lundy, 1950). На этих месторождениях сера извлекается из недр в расплавленной форме из скважин при помощи фраш-процесса (см. стр. 592). Такая сера часто называется *фраш-серой*. Поскольку на мировых рынках преобладает фраш-сера, структуру серной промышленности определяют цена и наличие на рынке этой серы.

Самородная сера также образует пластовые залежи, из которых особенно известны месторождения острова Сицилия. В Южной Америке и Японии имеются крупные скопления вулканической серы. Небольшие месторождения серы фумарольного происхождения расположены на западе США.

Существует несколько других источников серы или ее основного производного продукта — серной кислоты. Это руды, содержащие пирит, марказит, пирротин и другие сульфиды металлов, собирательно называемые пиритами. При переработке этих руд в качестве побочного продукта получают соединения серы. Некоторые месторождения таких руд эксплуатируются главным образом для извлечения серы. Кристаллические массы пирита, встречающиеся в углях, известные под названием «угольного колчедана», служат незначительным источником получения серы. Серная кислота получается также от отходящих газов плавильных печей и нефтеперегонных заводов, а элементарная сера — из сероводородных струй. Практически неограниченные потенциальные ресурсы серы заключены в пластовых отложениях ангидрита и гипса.

Хорошо обоснованная и иллюстрированная картина современного состояния серной промышленности приведена в книге Хайнеса (Haunes, 1942). Симпозиум по сере, труды которого опубликованы в 1950 г. (Industrial and Engineering Chemistry, 1950), представлен 22 докладами по различным аспектам серной промышленности. Имеется аннотированная библиография и регистрационная карта серных и пиритовых месторождений США (Espenshade, Broedel, 1952).

Применение

Наряду с известняками, каменной солью и углем сера составляет основу химической промышленности. Большая часть добычи серы перерабатывается в серную кислоту — «королеву химических продуктов», которая столь необходима современной промышленности, что ее потребление является мерой развития национальной промышленности любой страны. Третья часть производимой в США серной кислоты используется в производстве суперфосфата (стр. 267). Остальная часть потребляется нефтеперерабатывающей промышленностью при производстве различных химических продуктов, красок и пигментов, железа и стали, искусственных волокон и пленок, взрывчатых веществ, бумаги и многочисленных других продуктов. В США годовое потребление серной кислоты на душу населения составляет около 200 фунтов.

Помимо получения серной кислоты, основными областями применения серы являются производство инсектицидов, целлюлозы и бумаги, красителей, резины и взрывчатых веществ, а также обработка пищевых продуктов.

Производство

До начала XX в. мировое потребление серы покрывалось главным образом за счет месторождений Сицилии. В течение свыше 100 лет Сицилия была монополистом на мировом рынке серы, подобно Чили в производстве нитратов. Американская серная промышленность ведет начало с 1904 г., когда на месторождениях побережья Мексиканского залива был успешно применен новый тогда фраш-процесс. В течение десятилетия серная монополия Сицилии была нарушена, цены на серу сильно упали и фраш-сера приобрела ведущее положение на мировом рынке, которое она занимает и в настоящее время.

Хотя серная промышленность США удовлетворяла потребности в сере во время второй мировой войны, наличные запасы добытой серы значительно сократились. В послевоенное время развитие химической промышленности во многих странах мира, вызванное войной в Корею, привело к увеличению потребности в сере. К 1950 г. запасы добытой серы были исчерпаны, и потребности в сере превысили размеры добычи на месторождениях Мексиканского залива.

Возник непродолжительный, но серьезный серный кризис, в результате которого правительство США ввело распределение серы среди потребителей и сократило экспорт. В 1953 г., когда были расширены мощности добывающих предприятий, положение начало улучшаться. Были построены новые заводы по извлечению серы из кислых природных вулканических газов.

В настоящее время США не только полностью удовлетворяют собственные нужды, но и экспортируют серу по меньшей мере в 40 стран. Единственным крупным потенциальным конкурентом США на мировом рынке является Мексика, которая начиная с 1955 г. стала поставлять на мировой рынок в больших количествах серу, полученную фраш-процессом. В 1957 г. в США было добыто 5579 тыс. длинных тонн самородной серы стоимостью свыше 123 млн. долл., что составляет около 76% мирового производства серы¹.

В США получение серы и серной кислоты из других видов сырья может конкурировать с фраш-серой только в тех случаях, когда имеются какие-либо местные преимущества для

¹ Мировое производство серы в 1962 г. (тысяч длинных тонн) — 11 640, из них самородной серы 8070, в том числе: США 4984 (по фраш-методу) и 40 (рудничная); Мексика 1350 (по фраш-методу), более 100 тыс. т также Япония, Польша, Китай. Во Франции из природных газов получено 1329 тыс. длинных тонн серы. — *Прим. ред.*

такого производства. В качестве благоприятных условий можно привести: 1) близость потребляющих центров (так, самородная сера мелких месторождений Калифорнии используется на медном заводе, расположенном в нескольких милях от этих месторождений); 2) продажа побочных продуктов — обожженных железных и цинковых концентратов, получаемых при извлечении из пиритов серной кислоты; 3) дешевизна сырья, например сероводорода, получаемого в больших количествах по низкой цене из некоторых природных газовых струй.

Сера в кепроках соляных куполов

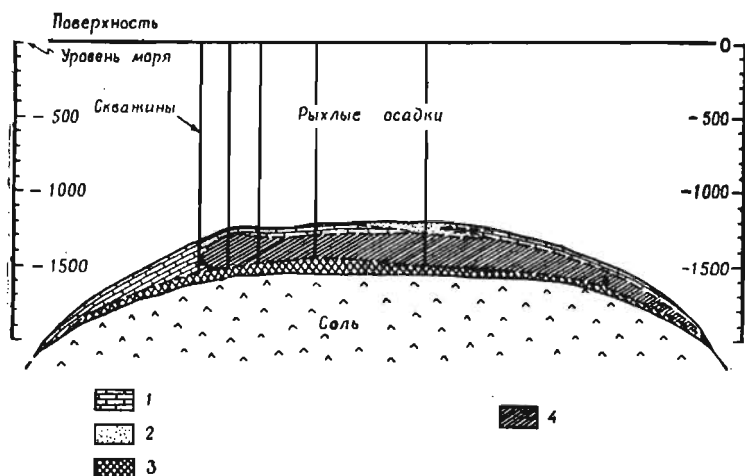
Общая характеристика соляных куполов приводилась в разделе, посвященном каменной соли (стр. 318). Сейчас более подробно будут описаны породы своеобразной шапки, венчающей соляной купол, — кепрока, образованного породами, залегающими между соляным штоком и вышележащими рыхлыми осадочными породами. Мощность кепрока колеблется от нескольких футов до 1000 и более футов. Общая площадь и форма кепрока соответствуют размерам соляного штока. Добыча серы из пород кепрока (Feely, Kulp, 1957; Taylor, 1938) экономически выгодна только в тех случаях, когда глубина залегания продуктивного горизонта не превышает 2500 футов от поверхности.

Породы кепрока представлены преимущественно серым зернистым ангидридом, причем иногда это единственный породообразующий минерал. Обычно в породах кепрока наблюдается не очень четкая зональность (фиг. 10.12). Непосредственно выше соли залегает слой ангидрита, подошва которого относительно ровная и имеет направление структурной полосчатости соляного штока. Вверх ангидрит постепенно переходит в трещиноватую и раздробленную «переходную зону», в которой ангидрит частично замещен гипсом и кальцитом. Количество кальцита увеличивается в верхних частях зоны, и верхний слой кепрока представлен кавернозными брекчированными известняками. Известняки слагают непрерывный слой или образуют серию не связанных друг с другом линз. Обычно это серые тонкокристаллические карбонатные породы с многочисленными пустотами, трещинами и полостями, которые часто выполнены кристаллическим кальцитом.

Сера приурочена главным образом к «переходной зоне» и к нижней части брекчированных известняков. Она образует зернистые массы, которые замещают в переходной зоне гипс

и кальцит, а также слагает агрегаты, состоящие из хорошо образованных кристаллов, сопровождающие в трещиноватых известняках кальцит.

Только отдельные купола содержат серу в промышленных количествах. На продуктивных куполах мощность серосодержащей зоны колеблется от 25 до 300 футов и более, и в сред-



Ф и г. 10.12. Геологический разрез сероносного кепрока на соляном куполе Гранд-Икайлл, Плакминс-Париж, Луизиана. Купол расположен на озере Вашингтон в дельте реки Миссисипи, примерно в 45 милях юго-юго-восточнее Нового Орлеана.

Вертикальный и горизонтальный масштаб одинаковы (в футах). 1 — пустые известняки; 2 — песчаники; 3 — ангидрит; 4 — трещиноватые известняки и зоны дробления в известняках, насыщенные серой.

нем, очевидно, составляет около 100 футов. Содержание серы здесь может достигать 15—25%. Содержание серы и ее количество в кепроке соляного купола не зависит от его размеров. Это хорошо видно по цифрам фактической добычи на полностью отработанных месторождениях. Купол Салфер в штате Луизиана, имевший кепрок площадью 75 акров, дал 9 млн. длинных тонн серы, а купол Палангана в штате Техас, с кепроком площадью 1800 акров, дал только 237 тыс. т серы.

Практически кепроки всех куполов содержат воду с высоким содержанием сероводорода, полисульфидов, хлористого натрия и других солей. Обычно с соляными сероносными куполами связаны нефть и газ, залежи которых приурочены к кепроку или к его краевым частям.

На основании данных, полученных геологами в течение многолетней разведки этих месторождений и обширных собственных лабораторных исследований, Фили и Калп (Feely, Kulp, 1957, стр. 1846—1851) считают, что образование типичных сероносных соляных куполов района Мексиканского залива вызвано следующей последовательностью геологических явлений. Внедрение соляных штоков начинается из соляных пластов, залегающих на глубинах, превышающих 30 тыс. футов. Когда верхушка соляного штока достигает зоны циркуляции грунтовых вод, примерно на глубине 10 тыс. футов от поверхности, происходит постепенный вынос растворимых солей и накопление шапки нерастворимого остатка ангидрита на верхушке поднимающегося купола. Мощность этой шапки на любой стадии развития купола зависит от скорости вертикального движения соли, скорости циркуляции воды через нее и от содержания ангидрита в соляной массе. Наконец, кепрок достигает глубины 5 тыс. футов от поверхности. В это время температура пород кепрока составляет 55—60°, в них накапливается нефть и создаются условия для деятельности сульфатредуцирующих бактерий. За счет энергии углеводородов нефти эти бактерии разлагают ангидрид, выделяя CO_2 и сероводород. Углекислота связывается в кальцит, что приводит к росту известняковой части кепрока. В верхней части кепрока кальцит замещает ангидрит; в верхней части зоны развития кальцита формируется переходная зона. Благодаря непрерывному поднятию соляного купола большая часть сероводорода вытесняется по трещинам в известняки и перекрывающие соль отложения.

К тому времени, когда соль выжимается до глубины 500—1500 футов от поверхности, кепрок приобретает грубую зональность и становится относительно стабильным. Резко выраженная куполовидность перекрывающих осадочных слоев, отложение кальцита и пирита в кепроке и перекрывающих породах ведет к закрытию трещин, по которым из кепрока мог бы удаляться сероводород. Накопившийся в образовавшейся ловушке сероводородный газ постепенно окисляется. Процесс, при помощи которого происходит окисление сероводорода, еще точно не известен. Фили и Калп считают, что сероводород, являющийся продуктом восстановления сульфата, может быть окислен при реакции с более сульфатным ионом до элементарной серы. Количество присутствующей в кепроке соляного штока серы в любой отрезок геологического времени зависит от того, как долго соль находилась в состоянии покроя, степени непроницаемости

перекрывающих пород и количества нефти, попавшей в кепрок.

На многих куполах, на которых когда-либо создавались условия, благоприятные для образования серных месторождений, в дальнейшем кепрок был приподнят последующими вертикальными движениями соли, что привело к трещиноватости перекрывающих отложений и удалению сероводорода и большей части серы в виде полисульфидов. При внедрении насыщенных кислородом вод сера из месторождения будет исчезать в результате окисления и растворения. Таким образом, Фили и Калп пришли к выводу, что самородная сера в истории соляных куполов представляет собой мимолетный материал, который может образоваться, исчезнуть и появиться вновь в процессе развития купола. Количество серы, которое может быть обнаружено в данном соляном куполе, зависит от той стадии развития, в которой купол находится в настоящее время. Таким образом, даже если в процессе своего геологического развития в прошлом соляной купол выходил на некоторое время на поверхность, нет никаких оснований не считать его потенциально сероносным. Хотя вся имевшаяся в куполе в то время сера была при выходе соляного купола на поверхность разрушена, после перекрывания купола более молодыми осадками в нем могла сформироваться новая серная залежь.

Изложенные выше представления основываются на данных изучения изотопного состава серных руд. Эти исследования заключаются в измерении и сравнении содержаний изотопов серы S^{32} и S^{34} и изотопов углерода C^{12} и C^{13} . Было установлено, что сероводород кепрока имеет более высокое отношение изотопов серы S^{32}/S^{34} , чем сульфат или ангидрит. Сульфатредуцирующие бактерии выделяют сероводород именно с таким более высоким отношением изотопов серы. Следовательно, сероводород образовался в результате жизнедеятельности бактерий. Более того, было обнаружено, что кальцит из известняков кепрока имеет более высокое отношение изотопов C^{12}/C^{13} , чем обычный осадочный известняк, причем такое отношение изотопов углерода очень близко совпадает с изотропным составом углерода нефти. Следовательно, кальцит кепрока образовался в результате осаждения карбоната в процессе бактериального окисления нефти, что является дополнительным доказательством биогенного происхождения серы. «Установление бактериального происхождения месторождений самородной серы района Мексиканского залива представляет собой триумф изотопной геологии» (Ault, 1959, стр. 250—251).

Из 220 соляных куполов, известных в районе Мексиканского залива, промышленная сероносность установлена на 25 куполах. Пять из этих серных месторождений было полностью отработано, причем из них получено почти 27 млн. т серы. В конце 50-х годов в США разрабатывалось 14 месторождений самородной серы и подготавливалось к эксплуатации по крайней мере 5. Большинство продуктивных сероносных куполов располагается ниже уровня плоской прибрежной равнины, которая отстоит от береговой линии в сторону суши на расстояние от нескольких миль до максимум 50 миль. Имеются месторождения, расположенные ниже уровня затопляемых в прилив болот дельты Миссисипи, и по крайней мере одно из таких месторождений лежит в море на расстоянии 6 миль от побережья штата Луизиана под 45-футовой толщей морских вод. Это месторождение, называемое куполом Гранд-Айл 18, осваивается с 1958 г. и должно было вступить в эксплуатацию в 1960 г. Запасы серы на нем оцениваются в 30 млн. т.

При добыче серы фраш-процессом вода, нагретая до 163°, нагнетается в сероносные породы кепрока через скважины, пробуренные роторным методом. Горячая вода из скважин, проходя через породы, отдает им свое тепло. Когда температура их достигнет 100°, сера начинает выплавляться из породы. Так как удельный вес серы почти вдвое больше, чем у воды, выплавленная сера скапливается в нижней части скважины. Затем сера извлекается на поверхность по обсадной трубе, внутри которой находится колонна для нагнетания в скважину воды. Эрлифт создается сжатым воздухом; воздух подается через тонкую трубу, вставленную в обсадную колонну, по которой поднимается сера. На поверхность из скважины поступает черная жидкость, содержащая 99,5% самородной расплавленной серы. Далее расплавленная сера направляется в бункеры, где она остывает и затвердевает. После остывания получают крупные монолитные блоки ярко-желтой серы высотой 30 футов и длиной в несколько сот футов. Эти блоки затем измельчаются и сера отправляется потребителям.

Основной проблемой в организации добычи серы фраш-процессом является достаточное бесперебойное снабжение скважин водой, потребление которой крупным предприятием достигает 100 млн. галлонов в день. Перед нагнетанием в скважины вода обрабатывается специальными реагентами для уменьшения коррозии металла и предотвращения образования накипи. Вода забирается из рек или специально сооруженных водохранилищ. В 1951 г. был разработан процесс

с использованием соленой воды, но этот процесс дорогой и применяется только на месторождениях, расположенных в затопляемых морским приливом прибрежных болотах, где невозможно получить достаточное количество пресной воды. Для нагревания воды в котлах высокого давления используется дешевый природный газ.

Иллюстрированное описание добычи серы фракш-процессом приводится Шероном и Паллардом (Shearon, Pollard, 1950).

Так как при добыче серы методом Фраша рядом с соляным куполом необходимо построить крупный дорогостоящий завод для обеспечения процесса, при принятии решения об освоении нового месторождения учитывается физическая реальность сооружения такого завода. Ланди (Lundy, 1934) и Хайнес (Haupes, 1942) приводят интересные иллюстрированные проекты освоения месторождения Гранд-Экайлл (фиг. 10.12), которое расположено ниже труднопроходимых болотных отложений дельты реки Миссисипи. Бартлетт и др. (Bartlett et al., 1952) описал процесс разработки на нескольких серных месторождениях, расположенных в луизианских маршах. Чтобы подготовить к эксплуатации серное месторождение Гранд-Айл, расположенное в открытом море, был сооружен стальной остров, на котором разместился завод для нагревания воды, а также другое оборудование и жилые помещения на 250 человек.

Большинство соляных куполов в районе Мексиканского залива обнаружено геофизической разведкой на нефть. Размеры купола, глубина залегания и конфигурация кепрока уточняются детальными гравиметрическими исследованиями. Сероносность купола может быть обнаружена только бурением. Применение алмазных буровых колонок обеспечивает полный выход керна и относительно точную оценку содержания серы. Промышленность никогда не была щедрой на сообщения о запасах, и положение остается здесь неясным. Однако запасы на ближайшее будущее кажутся вполне достаточными.

Другие месторождения

На юге центральной части острова Сицилия в нижней части миоценовой гипсовой формации встречаются слои и линзы сероносных известняков. Гипсы подстилаются диатомовыми землями (трепелами) и перекрываются глинами или известняками. Эти отложения выполняют небольшие, от 1 до 5 миль длиной, бассейны, не связанные друг с другом.

Осадочные породы таких бассейнов несколько нарушены сбросами и смяты в пологие складки. Максимальная мощность сероносных известняков составляет 90 футов, а в среднем их мощность обычно не превышает 10—12 футов. Сероносные слои отделены друг от друга тонкими не содержащими серы слоями битуминозных сланцев. Сера образует полосчатые или вкрапленные руды в пористых известняках коричневого и серого цвета. Содержание серы в рудах колеблется от 12 до 50%. На большей части месторождений добыча производится подземными работами. Подобные месторождения серы имеются и на прилегающей к Сицилии части Италии, но они к настоящему времени почти полностью выработаны. Хант (Hunt, 1915) считает, что генезис этих серных месторождений можно объяснить следующим образом. В результате жизнедеятельности анаэробных бактерий в замкнутых лагунных бассейнах происходило восстановление сульфатов кальция с образованием сероводорода, после окисления которого происходило осаждение самородной серы.

Осадочные месторождения самородной серы СССР описаны П. М. Мурзаевым (Murzaiev, 1937). Их генезис, вероятно, аналогичен генезису месторождений Сицилии. По Алфельду (Ahlfeld, 1937), исходным материалом осадочных месторождений серы являются «лагунные битуминозные известняки, доломиты или мергели, образовавшиеся в условиях жаркого сухого климата». Выделяемый бактериями сероводород накапливается в известняках, затем поднятия и эрозия приводят сероводородсодержащие пласты в соприкосновение с насыщенными кислородом водами, которые окисляют сероводород до самородной серы.

Огромное количество проявлений элементарной серы известно в верхних частях склонов вулканических конусов, протягивающихся вдоль западной кордильеры Анд на расстояние свыше 1 тыс. миль. Эти месторождения очень труднодоступны, так как разница в высотных отметках достигает 18 тыс. футов на коротких расстояниях. Несмотря на то что здесь известно свыше 100 месторождений, причем запасы высокосортных руд (Lundy, 1950) на некоторых из них достигают многих миллионов тонн, эти месторождения в настоящее время могут рассматриваться только в качестве потенциального источника серы. Серные месторождения Чили описаны Рудольфом (Rudolph, 1952) в хорошо иллюстрированной статье. Вулканические потенциально промышленные месторождения серы известны также на цепи вулканов,

протягивающейся через главные острова Японии. Здесь имеется по меньшей мере 40 месторождений. Вулканическая сера, по Ланди (Lundy, 1950), образовалась в результате прямой конденсации серных паров, возникших при реакции между сероводородом и SO_2 или в результате окисления сероводорода атмосферным воздухом.

Небольшие месторождения самородной серы в штатах области Скалистых гор описаны Уайдменом (Wideman, 1957). Большая часть этих месторождений фумарольного происхождения. Серусодержащие туфы добывались на речке Ков-Крик в округах Бивер и Миллард в штате Юта, примерно в 150 милях южнее Солт-Лейк-Сити. Сера здесь выполняет полости в брекчированных туфах. Местами самородная сера образует цилиндрические ядра размерами в поперечнике 10—15 футов, которые, по-видимому, представляют собой вулканические жилы. Почти все месторождения самородной серы Калифорнии (Lydon, 1957) также связаны с вулканическими породами. На месторождении Левиатан в округе Алпайн, например, расположенном почти у границы со штатом Невада, скопления и жилы серы залегают в серых измененных андезитах. Эти породы содержат около 28% серы. Здесь она используется для получения серной кислоты, которая идет на выщелачивание низкосортных медных руд на заводе в Йерингтон в штате Невада. Другое более или менее значительное серное месторождение в Калифорнии расположено в Ласт-Чанс-Рейндж в графстве Инно; здесь сера образует илы и массивные скопления в третичных риолитах¹.

¹ **Заключительные замечания.** Среди вулканогенных месторождений серы, помимо продуктов сублимации (Анды, Япония, Курильские острова) и воздействия вулканических гидротерм (Анды, Япония, Индонезия, Курильские острова, Камчатка), кратко охарактеризованных Бейтсом для США, имеются также интересные, но небольшие излившиеся месторождения (Хоккайдо) и крупные залежи в кратерных озерах (Япония). Солянокупольные месторождения серы известны лишь в Луизиане и Мексике, в других странах, помимо крупных пластовых месторождений, упомянутых Бейтсом, иногда некоторое промышленное значение имеют гнездовые и линзообразные залежи, связанные с сернокислым выветриванием в условиях аридного климата (в СССР — Средняя Азия, Средневожский район и др.). Наиболее крупные пластовые месторождения серы в СССР, связанные с карбонатными толщами, расположены в Предкарпатье, Поволжье и Средней Азии. В советской литературе высказывались представления о сингенетичном происхождении осадочных месторождений серы (ср. Д а н о в А. В., Тр. ЦНИГРИ, вып. 88, 1936), однако так же, как и в отношении солянокупольной серы, в последнее время была доказана их эпигенетическая природа (С о к о л о в А. С., Геологические закономерности строения и размещения месторождений самородной серы. Тр. Гос. ин-та горно-хим. сырья, вып. 5, 1959). — *Прим. ред.*

ЛИТЕРАТУРА

- Ault W. U. (1959). Isotopic fractionation of sulfur in geochemical processes, *Researches in Geochemistry*, New York, Wiley, 241—259.
- Banfield A. F. (1954). Volcanic deposits of elemental sulfur, *Can. Min. and Met. Bull.*, 47, № 511, 769—775.
- Bartlett Z. W., Lee C. O., Feierabend R. H. (1952). Development and operation of sulphur deposits in the Louisiana marshes, paper presented at annual meeting of Amer. Inst. Min. Met. Eng., New York, Feb. 18—21, 1952.
- Espenshade G. H., Broedel C. H. (1952). Annotated bibliography and index map of sulfur and pyrites deposits in the United States and Alaska, U. S. Geol. Survey Circ., 157.
- Feely H. W., Kulp J. L. (1957). Origin of Gulf Coast salt-dome sulfur deposits, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 41, 1802—1853.
- Forbath T. P. (1953). Sulphur recovery from low-grade surface deposits, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 196, 881—885.
- Goldman M. I. (1952). Deformation, metamorphism, and mineralization in gypsum-anhydrite cap rock, Sulphur salt dome, Louisiana, *Geol. Soc. Amer. Memoir*, 50.
- Haynes W. (1942). *The Stone That Burns*, New York, Van Nostrand.
- Haynes W. (1957). Jungle brimstone, *Sci. Monthly*, 84, 128—134.
- Hunt W. F. (1915). The origin of the sulphur deposits of Sicily, *Econ. Geology*, 10, 543—579.
- Industrial and Engineering Chemistry* (1950). Sulfur symposium, *Ind. and Eng. Chem.*, 42, 2186—2302.
- Jones G. E. et al. (1956). Biological origin of native sulfur in salt domes of Texas and Louisiana, *Science*, 123, № 3208, 1124.
- Lundy W. T. (1934). The development of the Grand Ecaille salt dome, *Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans.*, 109, 354—369.
- Lundy W. T. (1950). Known and potential sulfur resources of the world, *Ind. and Eng. Chem.*, 42, 2199—2201.
- Lydon P. A. (1957). Sulfur and sulfuric acid, *Calif. Div. Mines Bull.*, 176, 613—622.
- Lynton E. D. (1938). Sulphur deposits of Inyo County, California, *Calif. Jour. Mines and Geology*, 34, 563—590.
- Rudolph W. E. (1952). Sulphur in Chile, *Geographical Review*, 42, 562—590.
- Shearon W. H., Jr., Pollard J. H. (1950). Modern sulfur mining, *Ind. and Eng. Chem.*, 42, 2188—2198.
- Swager W. L., Sullivan J. D. (1951). Sulphur, *Min. Eng.*, 3, 403—409.
- Taylor R. E. (1938). Origin of the cap rock of Louisiana salt domes, *La. Geol. Survey Bull.*, 11.
- Wideman F. L. (1957). A reconnaissance of sulfur resources in Wyoming, Colorado, Utah, New Mexico, and Arizona, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7770.

Глава II

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ, ИМЕЮЩИЕ НЕБОЛЬШОЕ ЗНАЧЕНИЕ

В этой главе рассматривается группа минералов, играющих в промышленности значительно меньшую роль по сравнению с минералами, описанными выше. Тем не менее они имеют определенное промышленное значение. Использование нескольких из них уменьшилось за последние годы, другие сохраняют свое умеренное значение в промышленности, и только один-два стали за последнее время использоваться более широко.

Группу минералов изверженных пород представляет единственный минерал криолит — минерал пегматитов. Два минерала — представители регионального метаморфизма — составляют раздел «амфиболовый асбест». Пять других минералов являются продуктами контактного метаморфизма. Один минерал — трепел — имеет остаточное происхождение. В этой группе совершенно отсутствуют минералы осадочного генезиса. Два из описываемых в этом разделе веществ — наждак и трепел — с точки зрения петрографии являются горными породами, но по характеру использования и экономическому значению они относятся к категории промышленных минералов.

Для описываемых минералов приводятся только очень краткие сведения о распространении и происхождении. При желании читатель может получить эти сведения из цитированной литературы.

КРИОЛИТ

Криолит — фторид натрия и алюминия — имеет состав, выражающийся формулой AlF_3 . Чистый минерал бесцветный и просвечивающий до совершенно прозрачного. Он обладает стеклянным до жирного блеском и показателем преломления, очень близким к показателю преломления воды. Используется криолит главным образом в алюминиевой промышленности, где он применяется в качестве электролита в процессе восстановления глинозема до металлического алюми-

ния. Однако в этой области применения он сталкивается с возрастающей конкуренцией со стороны синтетического криолита, получаемого из флюорита. Кроме того, криолит используется в производстве стекла и эмалей и в качестве инсектицида.

Единственное в мире промышленное месторождение криолита находится близ Ивигтута, поселка на юго-западном берегу Гренландии. Вмещающими породами служат гнейсы и граниты предположительно докембрийского возраста. Месторождение представляет собой массивное тело длиной около 500 футов и шириной 60—100 футов. Криолит белого до серого цвета с хорошей спайностью. Залегаёт он в розовом порфириновом граните, но местами отделен от гранита телом пегматита мощностью до 20 футов. Следовательно, залежь криолита, по-видимому, была заключена в прерывистую оболочку пегматита. В пегматитах, окружающих криолитовое тело, встречается большое количество минералов: криолит, кварц, полевой шпат, сидерит, вольфрамит и сульфиды нескольких металлов. Болл (Ball, 1922) рассматривает криолитовое тело как пегматит, но далее пишет, что его образование вызвано «пневматолитовыми агентами». Очевидно, это метасоматическая залежь, сформулированная фторсодержащими парами или растворами в постинтрузивную или во вторую пегматитовую стадию (стр. 344). Замещенный материал мог быть сложен главным образом альбитом и кварцем, замещение которых криолитом наблюдается в краевых частях пегматитовых тел.

Месторождение расположено на берегу фиорда, настолько близко к глубокой воде, что суда могут причаливать почти прямо к месторождению. На расстоянии четверти мили от берега круто возвышаются прибрежные горы. Криолит добывается в глубоком открытом карьере, являющемся собственностью датского правительства. В 1957 г. США импортировали 14 400 коротких тонн гренландского криолита на сумму 611 тыс. долл.¹

ЛИТЕРАТУРА

- Ball S. (1922). The mineral resources of Greenland, *Meddelelser om Grønland*, 63, 17—31.
Gordon S. C. (1926). Mining cryolite in Greenland, *Eng. and Min. Jour.-Press*, 121, № 6, 236—240.
Shaw V. (1945). Mineralogy of Greenland's cryolite deposit, *Mineralogist*, 13, 422—425.

¹ В 1962 г. в Ивигтуте, по-прежнему единственном промышленном месторождении криолита, добыто около 8 тыс. т сырья. — *Прим. ред*

АМФИБОЛОВЫЙ АСБЕСТ

Три минерала группы амфиболов имеют много общих свойств с хризотилом (стр. 457), используются одинаково с ним и, следовательно, классифицируются как разновидности асбеста. Крокидолит является волокнистой формой минерала рибекита — водного силиката железа и натрия. Он встречается в поперечноволоконистых жилках и имеет серо-голубой цвет, который сохраняется после распушения. Иногда этот минерал называют «голубым асбестом» или «капским голубым» по названию страны, откуда он происходит. Амосит — волокнистая разновидность грюнерита — водного силиката магния и железа. Он встречается в жилках поперечноволоконистого строения, после извлечения из породы серый его цвет изменяется на белый. Обычная длина волокна от 4 до 7 дюймов. Третий волокнистый амфибол — антофиллит — используется в промышленности только в незначительных количествах и добыча его весьма ограничена. Он почти всегда встречается в виде продольноволокнистых выделений, или радиально-лучистых агрегатов кристаллов. Антрофиллит образует многочисленные небольшие месторождения в провинции Пидмонт в юго-восточных штатах США, особенно в штатах Северная Каролина и Джорджия.

Большую часть добычи крокидолита и почти весь амосит дает Южно-Африканская Республика. Наиболее крупные месторождения крокидолита располагаются в поясе шириной от 3 до 30 миль, протягивающемся в северном направлении через Капскую провинцию к мысу Доброй Надежды. Коренные породы представлены серией докембрийских полосчатых железистых кварцитов и кремнистых железняков, общей мощностью около 3 тыс. футов, которые подверглись интенсивной складчатости. Крокидолит образует поперечно-волоконистые жилы, параллельные слоистости, которые приурочены к нижней обогащенной железом части серии. Волокно, длина которого колеблется от менее 0,5 дюйма до 2 и более дюймов, имеет высокую прочность на разрыв и кислотоустойчиво.

Пряжа из «капского голубого» волокна преимущественно используется для изготовления тканей для фильтров, различных набивок и прокладок, а также для других специальных изделий.

Месторождения амосита и крокидолита расположены в Трансваале на северо-восточном окончании буш-велдского интрузивного комплекса, где они образуют широкую дугу

длиной около 80 миль. Этот пояс лежит приблизительно в 350 милях северо-восточнее северного окончания Капского пояса. Как и в месторождениях Капской провинции, асбест образует поперечноволоконистые жилки, параллельные слонстости в докембрийских полосчатых железняках.

Долгое время считалось, что трансваальский асбест образовался в результате отложения гидротермальными растворами, связанными с буш-велдским комплексом. После длительного изучения этих месторождений дю Тойт (DuToit, 1946) пришел к выводу, что крокидолит и амозит являются «стрессовыми минералами», которые образовались *in situ* при динамометаморфизме отдельных слоев железистых формаций. Он распространил этот вывод как на трансваальские, так и на капские месторождения, и считал, что региональные деформации происходили значительно позже буш-велдского времени, в позднем докембрии.

Производство амозита и крокидолита в Южно-Африканской Республике в 1957 г. составляло 131 650 коротких тонн¹. Из этого количества США импортировало 32 тыс. коротких тонн, или 24% всей добычи².

ЛИТЕРАТУРА

- DuToit A. L. (1946). The origin of the amphibole asbestos deposits of South Africa, Geol. Soc. South Africa Trans., 48, 161—206.
 Frankel J. J. (1953). South African asbestos fibers, Min. Mag., 89, 73—83, 142—149.
 Hall A. L. (1930). Asbestos in the Union of South Africa, Union of South Africa, Geol. Survey Memoir, 12, 2nd. ed.
 Peacock M. A. (1928). The nature and origin of the amphiboleasbestos of South Africa, Amer. Mineralogist, 13, 241—286.

ВОЛЛАСТОНИТ

Волластонит — белый волокнистый полупрозрачный минерал — представляет собой метасиликат кальция CaSiO_3 . Это обычный минерал окремнелых метаизвестняков, претерпевших контактный метаморфизм. Однако крупные скопления чистого волластонита чрезвычайно редки. Несколько месторождений волластонита известно в Калифорнии, но только

¹ В 1962 г. в ЮАР добыто более 221 тыс. т амфибол-асбеста — Прим. ред.

² Заключительные замечания. См. в разделе «Хризотил-асбест».

некоторые из них периодически разрабатываются. Основные промышленные запасы волластонита в США сосредоточены в месторождении, расположенном в противоположном Калифорнии конце страны — в районе Уилсборо, округ Эссекс в штате Нью-Йорк. Месторождение находится на западном берегу озера Шамплейн, примерно в 30 милях южнее Платсберга, в холмистом районе северо-западного склона гор Адирондак, сложенном докембрийскими породами. Впервые волластонит здесь был обнаружен еще в 1810 г., а описан Вануксемом 11 годами позже. Однако до 1938 г. месторождение не эксплуатировалось, и с этого времени на нем ведется небольшая добыча. Систематически месторождение начали осваивать только с 1952 г., когда около Уилсборо была построена современная обогатительная фабрика. Разработка месторождения ускорила исследования по обогащению и использованию волластонита в промышленности¹. В настоящее время минерал применяется в керамической промышленности, в производстве облицовочных плиток для стен и полов, фарфора, электроизоляторов, а также в качестве усилителя красок, наполнителя в асфальтовых плитках и обмазке электродов для электросварки.

Волластонит образует пластовые тела иногда длиной около 2 тыс. футов и мощностью до 30—35 футов, которые протягиваются в запад-северо-западном направлении с падением к северо-востоку под углом около 30°. Эти породы представляют собой ксенолиты гренвиллских метаосадочных пород в анортозите. Волластонит переслаивается с прослоями, сложенными красно-коричневым андрадитом мощностью до 8 дюймов и более тонкими зонками зеленого диопсида. Гранат и диопсид составляют 10—20% рудной массы. Это месторождение образовалось в результате контактного метаморфизма загрязненных примесями известняков интрузией анортозита.

Гранат и диопсид магнитны, а волластонит немагнитен, что дает возможность после дробления породы выделить магнитной сепарацией чистый волластонитовый концентрат. В качестве побочного продукта получают гранатовый концентрат. Из добытой горной массы извлекают 75% волластонита, 15%

¹ Производство волластонита в США возрастает (в 1962 г. добыча его увеличилась на 9% по сравнению с 1961 г.). Наряду с рудником в Уилсборо в 1962 г. функционировали также 4 рудника в Калифорнии.—
Прим. ред.

граната, а отходы составляют только 10%. Запасы месторождения оцениваются в 3—15 млн. т¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Broughton J. G. (1947). Occurrence and uses of wollastonite from Willsboro, New York, Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 173, 632—639.
 Ladoo R. B. (1954). Wollastonite, a new industrial mineral, Pit and Quarry, 47, № 6, 52—56.
 Troxel B. W. (1957). Wollastonite, Calif. Div. Mines Bull., 176, 693—698.

ГРАНАТ

Свойства граната позволяют использовать его в качестве хорошего абразива. Его твердость равна 7,5, и даже при тонком дроблении он дает обломки с острыми краями. Большая часть добычи граната используется для приготовления абразивной бумаги или шкурки, остальная — в виде абразивных порошков главным образом при обработке дерева. В 1957 г. в США было добыто около 9776 коротких тонн граната стоимостью несколько меньше 1 млн. долл.².

Основным поставщиком абразивного граната в США и ведущим мировым производителем этого полезного ископаемого является месторождение Бартон, расположенное в юго-восточной части гор Адирондак в штате Нью-Йорк. Месторождение находится на северном склоне горы Горе в округе

¹ **Заключительные замечания.** Необходимость и возможность организации производства волластонита в СССР были впервые указаны в 1955 г. В. П. Петровым («Разведка и охрана недр», № 3, 1955). С этого момента проведены научно-исследовательские, ревизионные, технологические, а частично и геологоразведочные работы, полностью обосновавшие целесообразность развития производства волластонита в СССР. Выявлены три главных типа скоплений волластонита: 1) скарны на контакте известняков с кислыми интрузиями; 2) в регионально-метаморфизованных толщах кристаллических сланцев, переслаивающихся с кальцитовыми мраморами; 3) в сложных ультраосновных — щелочных интрузивах. Месторождения первого типа, особенно широко представленные в рудных полях Средней Азии и Казахстана, в настоящее время представляют наиболее важный промышленный тип по масштабам, содержанию волластонита и возможностью комплексной добычи с рудами металлов. Однако стратифицированные горизонты волластонитовых пород в толщах кристаллических сланцев по некоторым показателям более интересны (региональная выдержанность, исключительно низкое содержание железа, количество которого в скарновом волластоните нередко бывает значительным). См. Материалы по геологии волластонитовых месторождений. Тр. ВСЕГЕИ, т. 113, 1964. — *Прим. ред.*

² В 1962 г. в США добыто 14 166 т граната (в 1953—1957 гг. в среднем 11 225). — *Прим. ред.*

Уоррен, примерно в 6 милях южнее деревни Норт-Ривер. Район сложен только породами докембрийского возраста. Гранатсодержащие породы образуют узкую, протягивающуюся в восточном направлении полосу длиной около 4 тыс. футов и шириной до 300 футов. Месторождение, очевидно, представляет собой линзовидную залежь, погружающуюся к западу под углом 7—9°. Карьером глубиной 90 футов подошва залежи не была подсечена. С севера залежь ограничена метагаббро, а с юга сиенитами.

Гранат представлен коричневато-красной разновидностью альмандина. Он встречается в виде округлых гипидиоморфных кристаллов диаметром от 2 дюймов до 2 футов, обильно рассеянных в среднезернистой габброидной породе, состоящей из роговой обманки и плагиоклаза. Характерной особенностью месторождения являются оболочки черной кристаллической роговой обманки, полностью окружающие каждое зерно граната. Толщина этих оболочек увеличивается на зернах граната большего размера и достигает иногда 2—3 дюймов. Стенки карьера, сложенные габбро, в которые включены красные кристаллы граната с черной роговообманковой оторочкой, представляют замечательную картину. В течение многих лет происхождение месторождения представляет загадку для геологов. Критически рассмотрев четыре возможные гипотезы генезиса, Левин (Levin, 1950, стр. 520) пришел к выводу, что гранатсодержащие породы образовались в результате прогрессивной перекристаллизации в процессе контактного метаморфизма габбро интрузией сиенитовой магмы.

На месторождении добывается порода, которая дробится, рассеивается на грохотах, а затем подвергается гравитационному обогащению ферросилициевым методом. Гранат (удельный вес 3,8—4,1) тонет, а роговая обманка (удельный вес 3,07—3,24) флотировается. Потребителям готовый продукт отгружается в виде гранатовых концентратов.

Небольшое количество граната в качестве побочного продукта производится на волластонитовом месторождении на Уилс-Крик в штате Нью-Йорк (стр. 602), а недавно начали давать продукцию два предприятия в Айдахо¹.

¹ Заключительные замечания. В СССР разведаны крупные месторождения абразивного граната (на Урале, в Карелии и др.), однако в связи с использованием кремня в качестве абразива близких свойств (правда, не во всем заменяющего гранат) они не эксплуатируются. Прозрачные цветные кристаллы граната используются в качестве полудрагоценных камней. Из отечественных ювелирных гранатов особенно известны уральские демантоиды и уваровиты. — *Прим. ред.*

ЛИТЕРАТУРА

- Krieger M. H. (1937). Geology of the Thirteenth Lake quadrangle, N. Y. State Museum Bull., 308.
 Levin S. B. (1950). Genesis of some Adirondack garnet deposits, Bull. Geol. Soc. Amer., 61, 519—565.

КИАНИТ

Три метаморфических минерала — кианит, силлиманит и андалузит — имеют одинаковый состав $Al_2O_3 \cdot SiO_2$. К этим минералам близко примыкают силикат алюминия — дюмортерит, в состав которого входят бор и гидроксил, и топаз, содержащий фтор и гидроксил. Все эти минералов используются в производстве огнеупоров. Наибольшее значение имеет кианит, главным образом потому, что он образует крупные, легкодоступные месторождения. При нагревании до температуры от 1100 до 1480° кианит переходит в муллит — тонкокристаллический очень прочный материал, стабильный до температуры 1810°. Благодаря исключительной огнеупорности муллитовые огнеупоры применяются в металлургической промышленности и стекловарении. Кианит также является основным компонентом электро- и химического фарфора.

Кианит дает удлиненно-пластинчатые кристаллы голубовато-серого цвета со стекляннм блеском. Крупные месторождения кианита разрабатываются в Индии, где минерал образует грубокристаллические массы в сланцах, близ перматитовых и кварцевых жил. В настоящее время в США разрабатывается три месторождения кианита, расположенные в юго-восточных штатах в провинции Пидмонт. На всех этих месторождениях кианит рассеян в кварцитах или замещает их¹.

Типичным примером этих месторождений может служить рудное тело на Генри-Ноб близ Кловера в округе Йорк в штате Южная Каролина. Генри-Ноб — останец, возвышающийся на 350 футов над окружающей поверхностью Пидмонта. Он представляет собой северо-восточное окончание узкого тела кварцитов длиной около 2 миль и шириной 250 фу-

¹ В 1962 г. добыча кианита в США за год возросла на 5%. Значительная часть потребности в высокоглиноземистых огнеупорных материалах удовлетворялась синтетическим муллитом (около 19 тыс. т). Крупные производители высокоглиноземистых минералов (тыс. т): ЮАР 79 (андалузит и силлиманит), Индия 30 (кианит), Австралия 2 (силлиманит). — *Прим. ред.*

тов, заключенного в высокометаморфизованных и глубоко выветрелых докембрийских гранитных породах. Как видно в карьере, мощность тела кварцитов 160 футов; залегают они вертикально. Более 100 футов из этой мощности приходится на долю собственно кварцитов, а остальное составляют хлоритово-серицитовые сланцы. Серые, массивные, тонкозернистые кварциты состоят только из трех минералов: кварца, кианита и пирита. Кианит распределен беспорядочно, и его содержание в породе достигает 20%. Как было установлено бурением до глубины 200 футов никаких изменений в содержании кианита в кварцитах не наблюдается.

Удлиненно-пластинчатые кристаллы кианита включают большое количество зерен кварца, и ясно, что кианит образовался за счет прогрессивного замещения кварца. Это хорошо согласуется с представлениями о том, что кианит данного и сходных с ним месторождений образовался после регионального метаморфизма в результате отложения гидротермальными растворами, сопровождавшими внедрение гранитов в пегматиты. Смит и Ньюкам (Smith, Newcome, 1951) считают, что источником таких растворов на месторождении Генри-Ноб являлись расположенные поблизости граниты Йорк-вилла. По их мнению, необходимый для образования кианита глинозем был принесен этими растворами. Однако Фуркрон (Furcron, 1950) считает более вероятным источником глинозема процесс силификации вмещающих пород типа серицитовых сланцев.

Примерно в 225 милях северо-восточнее Генри-Ноб расположены два других разрабатываемых месторождения кианита. Оба месторождения приурочены к кварцитам. Одно из них находится на горе Бейкер близ Каллена, в округе Принс-Эдуард в штате Виргиния, а другое на горе Уиллис близ Дилвина, в округе Бакингам. Кроме того, в штатах Северная Каролина и Джорджия известны крупные потенциально промышленные месторождения кианита¹.

¹ **Заключительные замечания.** Наиболее известные скопления кианита и силлиманита в СССР приурочены к древним метаморфическим толщам Карелии, Мамско-Витимского района и Забайкалья. Кианиты свиты кейв в Карелии технологически изучены и в опытно-масштабе эксплуатировались. Кяхтинское силлиманитовое месторождение в Забайкалье пригодно для получения силумина. В СССР известны также заслуживающие изучения скопления грейзенового топаза (Дальний Восток) и других видов высокоглиноземистого сырья этой группы. О геологии кианитового сырья см.: Бельков И. В., Кианитовые сланцы свиты кейв. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1963. — *Прим. ред.*

ЛИТЕРАТУРА

- Corriveau M. P. (1955). Kyanite recovery at Baker Mountain, Va., Va. Polytechnic Inst., Min. Ind. Jour., 2, № 4, 1—4.
- Espenshade G. H. (1953). Kyanite quartzite deposits of the southeastern states, Bull. Geol. Soc. Amer., 64, 1530.
- Furcron A. S. (1950). Kyanite and sillimanite in the southeastern states, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press, 99—111.
- Jones J. O., Ellertsen N. A. (1954). Investigations of the Willis Mountain kyanite deposit, Buckingham County, Virginia, U. S. Bur. Mines Rept. Inv., 5075.
- Smith L. L., Newcome R., Jr. (1951). Geology of kyanite deposits at Henry Knob, South Carolina, Econ. Geology, 46, 757—764.

НАЖДАК

Наждак — это кристаллический агрегат магнетита и одного или нескольких других минералов. Наждак большинства месторождений представляет собой черную породу, состоящую из магнетита и корунда или магнетита, корунда и шпинели $(\text{Mg, Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. На единственном действующем в США руднике добывается серая разновидность наждака, в состав которой входят магнетит, силлиманит, кордиерит или сапфирин. (Два последних минерала являются алюмосиликатами магния и железа.) Независимо от минерального состава наждак всегда имеет вид плотной, тяжелой породы, твердость которой равна 7,25. Он широко используется в производстве абразивной бумаги и точильных кругов, но в настоящее время главной областью применения наждака является использование его в качестве противоскользящего компонента в тяжелых бетонных покрытиях. В 1957 г. в США было добыто 12 тыс. коротких тонн наждака на сумму 184 тыс. долл.¹.

Единственное разрабатываемое месторождение наждака в США находится около Пикскилла в округе Уэстчестер в штате Нью-Йорк. Это месторождение эксплуатируется свыше 30 лет. Месторождение расположено на западном берегу реки Гудзон примерно в 35 милях севернее города Нью-Йорк. Серый наждак слагает узкое метасоматическое рудное тело в манхаттенских кварцево-сланцевых сланцах в тех местах, где эти породы были метаморфизованы расположенной рядом интрузией основных пород кортлендского комплекса. Эти сланцы относят к докембрию, а возраст интрузии считают палеозойским. Ближайшая к интрузии зона рудного

¹ Добыча наждака, вытесняемого другими абразивами, в США уменьшается и в 1962 г. составляла 4000 т. — *Прим. ред.*

тела сложена силлиманит-сапфирин-магнетитовым наждаком, а более внешняя по отношению к интрузии зона рудного тела имеет кордиерит-силлиманит-магнетитовый состав. Во вмещающих сланцах встречаются силлиманит, кианит, гранат, ставролит и другие минералы, характерные для контактно-метаморфизованных пород. Максимальная ширина зоны контактно-измененных пород не превышает 300 футов.

В штатах Нью-Йорк, Виргиния и Северная Каролина раньше добывался черный шпинелевый наждак, а в штате Массачусетс эксплуатировалось месторождение бесшпинелевого наждака. На месторождениях в этих штатах рудные тела представлены неправильными, обычно линзообразными метасоматическими залежами наждака в основных и ультраосновных изверженных породах. Месторождения наждака в Турции и на острове Наксос в Греции залегают в контактно-метаморфизованных известняках, в которых рудные тела образуют линзообразные массы.

Детальное описание месторождения Пикскилл, а также краткие сведения по другим американским и зарубежным месторождениям и библиография по наждаку приведены в работе Фридмана (Friedman, 1956)¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Friedman G. M. (1956). The origin of spinel-emery deposits with particular reference to those of the Cortlandt complex, New York, N. Y. State Museum Bull., 351.
 Friedman G. M. (1957). Emery, Min. Eng., 9, 745—746.

ПИРОФИЛЛИТ

Пирофиллит — мягкий светлый минерал, многие свойства которого близки к тальку и который в ряде случаев используется аналогично тальку. Он встречается в виде плотных, сланцеватых масс или значительно реже в виде радиально-лучистых агрегатов игольчатых кристаллов. Минерал обла-

¹ **Заключительные замечания.** Наиболее известные месторождения наждака СССР (хлоритондно-корундовые, близкие к рудам Наксоса) приурочены к мраморам палеозойских метаморфических толщ Урала. Сходное с эксплуатируемыми в США Сайгоновское месторождение магнетитового наждака расположено в Красноярском крае. В настоящее время наждак, вытесняемый другими абразивами, прежде всего искусственными, в СССР почти не используется. В ограниченных масштабах производится разработка существенно корундового месторождения Семиз-Бугу в Казахстане, приуроченного к вторичным кварцитам в палеозойских эффузивах, что связано с большей эффективностью естественного корунда по сравнению с электрокорундом в некоторых применениях, например шлифовке оптического стекла. — *Прим. ред.*

дает высокой огнеупорностью и инертностью, а в порошкообразном состоянии — высокой кроющей способностью. Пирофиллит используется в качестве носителя инсектицидов, как керамический материал и усилитель в красках. Кроме того, пирофиллит применяется в целом ряде других производств, потребляющих сравнительно небольшие количества минерала. От талька пирофиллит отличается химическим составом и условиями нахождения в природе. Пирофиллит — это водный силикат алюминия состава $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$, который встречается в метаморфизованных вулканогенных породах кислого состава. В США основным производителем пирофиллита является Северная Каролина. Месторождения пирофиллита разрабатываются, кроме того, в Калифорнии и Пенсильвании, а также на острове Ньюфаундленд. В 1957 г. в США было добыто 162 тыс. коротких тонн пирофиллита стоимостью более 2 млн. долл.¹

Пирофиллитовые месторождения Северной Каролины расположены в центральной и восточной частях провинции Пидмонт, где они приурочены к так называемому сланцевому поясу Каролины. Породы этого пояса представлены регионально метаморфизованными вулканическими брекчиями, излившимися породами и туфами докембрийского или раннепалеозойского возраста. Пирофиллит встречается только в породах кислой или риолитовой фаз этой вулканической серии. Он образует рудные тела овальной или линзовидной формы размером до 500 футов шириной и несколько сот футов длиной, расположенных вдоль зон трещиноватости в туфах или брекчиях. Чистый пирофиллит слагает центральные части этих линз; во внешних зонах он загрязнен примесями, количество которых постепенно увеличивается к периферии. Кварц и серицит — основные минералы-примеси, но не для всех областей применения пирофиллита они являются вредными. Из других примесей встречаются в небольшом количестве андалузит, кианит, диаспор, топаз, пирит и хлоритонд. По словам Штакки (Stuckey, 1950, стр. 117—118), «пирофиллит образуется в результате метасоматического замещения кислых вулканических туфов и брекчий растворами, связан-

¹ Добыча пирофиллита в США, вытесняемого тальком, несколько уменьшилась и в 1962 г. составляла 125 тыс. т. В статистических справочниках США производство и потребление пирофиллита вследствие сходства в использовании часто приводится суммарно с тальковым сырьем. По суммарному производству талька и пирофиллита второе место после США занимает Япония (в 1961 г. около 660 тыс. т), причем подавляющая часть этого минерального сырья в Японии представлена пирофиллитом. — *Прим. ред.*

ными с изверженными породами, в условиях средних температур и давлений».

Добыча пирофиллита производится открытым и подземным способами. Основная масса добычи приходится на небольшое число крупных месторождений. Запасы большинства таких месторождений довольно ограничены¹.

ЛИТЕРАТУРА

- Baird D. M. (1957). Pyrophyllite deposits of Manuels, Newfoundland, Geology of Canadian Industrial Mineral Deposits, Montreal, Can. Inst. Min. and Met., 203—204.
- Stuckey J. L. (1950). Talc, soapstone, and pyrophyllite in the southeastern United States, Proc. Southeastern Mineral Symposium, 1949, Knoxville, Univ. Tenn. Press. 112—119.
- Stuckey J. L. (1958). Resources and utilization of North Carolina pyrophyllite, Min. Eng., 10, 97—99.
- Wright L. A. (1957). Pyrophyllite, Calif. Div. Mines Bull., 176, 455—458.

ТРЕПЕЛ

Название *трепел*, или *инфузорная земля*, применяется для общего обозначения светлоокрашенных кремнистых, пористых, рыхлых, очень тонкодисперсных пород. Вначале это название применялось только для одной разновидности диатомита из Триполи в Северной Африке. Позднее трепелом стали называть мягкие породы, по виду и свойствам напоминающие диатомит, но имеющие совершенно иное происхождение, чаще всего представляющие собой остаточный продукт выветривания окремнелых известняков. В промышленности, по крайней мере в США, под названием «трепел» в настоящее время понимается именно этот последний вид кремнистых материалов. Более 70% добычи трепела используется в виде абразивов, особенно для приготовления поли-

¹ **Заключительные замечания.** На овручских месторождениях (Белоруссия) пирофиллит добывался со времен каменного века. Кроме овручских, небольшие месторождения пирофиллита известны на Урале и в Азербайджане и крупное Суранское в Казахстане. Овручские и уральские месторождения относятся к другому генетическому типу, чем месторождения США, Японии и Суранское, и связаны с кварцитами и кристаллическими сланцами. Добыча пирофиллита в СССР крайне ограничена (Овруч), используется он практически лишь для изготовления горелок маяков. Объясняется это преимущественным применением сходного по свойствам талька. Главный мировой производитель пирофиллита — Япония (в 1962 г. не менее 600 тыс. т), не имеющая собственных промышленных месторождений талька. — *Прим. ред.*

ровальных порошков и составов. Остальная часть применяется в качестве наполнителей и формовочных материалов. В 1957 г. в США произведено 44 тыс. коротких тонн обработанного трепела на сумму 1665 тыс. долл.¹

Хотя месторождения трепела известны в ряде южных штатов США, промышленная добыча трепела производится только в двух районах. Один из этих районов составляет территория площадью меньше 100 кв. миль, лежащая по обе стороны границы штатов Миссури — Оклахома; примерно в центре этой территории находится город Сенека в Миссури. Здесь на поверхность выходят горизонтально залегающие кремнистые и окремненные известняки формации Бун (миссисипского возраста). Слои трепела залегают под толщей почв и наносов мощностью всего в несколько футов на широких плоских вершинах столовых гор. Мощность залежей трепела 4—12 футов. Порода светлая, с однородной структурой, мягкая или порошокватая и очень пористая. Содержание кремнезема в ней достигает 98%, средний размер зерен 0,01 мм. В процессе добычи конкреции и пласты кремней, встречающиеся в руде, отбрасываются. Добыча производится открытым способом. Трепел образовался в результате выветривания кремнистых известняков или сильно известковистых кремней за счет выщелачивания карбонатного материала.

Второе место по добыче трепела занимает район с почти горизонтальным залеганием девонских слоев на крайнем юге штата Иллинойс. Коренные породы относятся к формации Клир-Крик и представлены кремнями и кремнистыми известняками. В этом районе добывается трепел, известный под торговой маркой «аморфный кремнезем». По сравнению с трепелом из района Миссури — Оклахома он белее, тверже и плотнее, но столь же тонкозернист. Здесь встречаются очень чистые пластовые залежи мощностью до 6 футов. Наносы довольно мощные, и месторождения разрабатываются подземным способом.

Трепел, сходный по типу с иллинойским, известен в западной части штата Теннесси и далее к югу. Месторождения штата Теннесси образовались главным образом за счет кремнистых известняков Уорсо (миссисипского возраста), которые обнажаются на юго-западном крыле купола Нашвилл².

¹ В 1962 г. добыча трепела (маршаллита) в США составила 61 732 т. — *Прим. ред.*

² **Заключительные замечания.** Из описания Бейтса следует, что в США трепелом называют совершенно иные кремнеземистые породы, чем в СССР. Такого типа халцедоновые и кварцевые рыхлые образования,

ЛИТЕРАТУРА

- Metcalf R. W. (1946). Tripoli, U. S. Bur. Mines Inf. Circ., 7371.
Metcalf R. W. (1949). Tripoli, Industrial Minerals and Rocks, 2nd. ed.,
New York, A. I. M. E., 1074—1101.
Spain E. L. (1938). Tripoli deposits of the western Tennessee Valley.
Amer. Inst. Min. Met. Eng. Trans., 129, 501—515.

возникающие при выветривании кремне-известняков, у нас называются маршаллитом и достаточно широко используются со сходной структурой потребления, особенно в литейном деле (месторождения Урала и др.). К трепелам в СССР относят опаловые осадочные тонкозернистые высокопористые породы, в общем близкие к диатомитам, но практически лишенные остатков организмов. — *Прим. ред.*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому изданию	5
От редактора	13
Предисловие	17

Часть I

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. Основные положения	21
Глава 2. Классификация	39

Часть II

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПОРОДЫ

Глава 3. Изверженные породы	49
Глава 4. Метаморфические породы	98
Глава 5. Осадочные породы	
Глава 6. Осадочные породы (продолжение)	233

Часть III

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

Глава 7. Промышленные минералы магматического генезиса	331
Глава 8. Полезные ископаемые гидротермального и метасоматического происхождения (жильные и метасоматические минералы)	387
Глава 9. Метаморфические минералы	439
Глава 10. Минеральное сырье осадочного генезиса и сера	502
Глава 11. Промышленные минералы, имеющие небольшое значение	531

Р. Бейтс
ГЕОЛОГИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Редактор *Г. П. Романович*
Художник *Л. Г. Ларский*
Художественный редактор *Е. И. Вескова*
Технический редактор *М. П. Грибова*

Сдано в производство 24/V 1965 г.
Подписано к печати 4/XI 1965 г.
Бумага 60×90^{1/8} = 17,13 бум. л.
34,25 печ. л.
Уч.-изд. л. 34,04. Изд. № 5/2329
Цена 2 р. 53 к. Зак. 1534.

*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-я Рижский пер., 2

*

Ленинградская типография № 2
имени Евгении Соколовой
Главполиграфпрома
Государственного комитета
Совета Министров СССР по печати.
Измайловский проспект, 29.