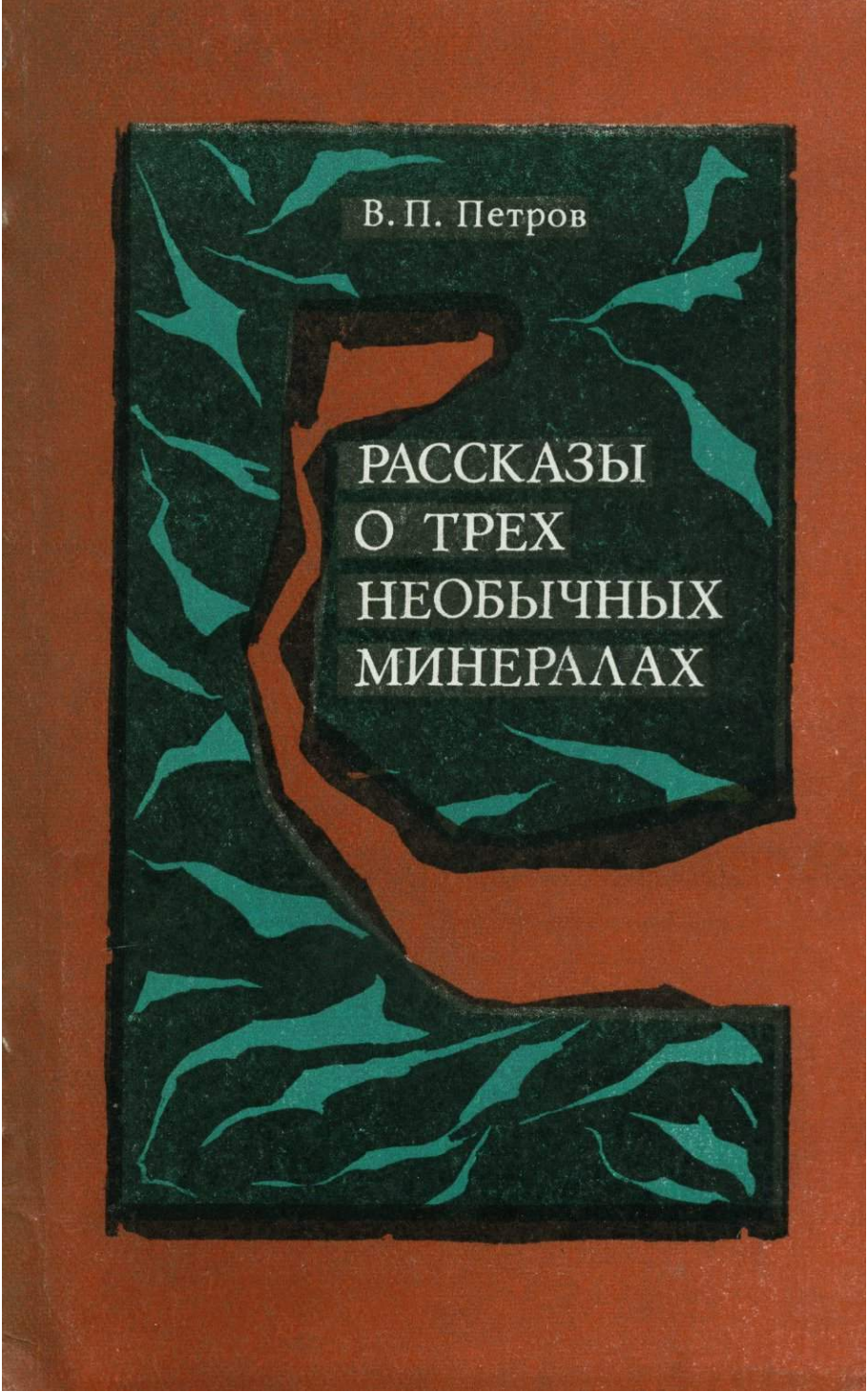




В. П. Петров

РАССКАЗЫ
О ТРЕХ
НЕОБЫЧНЫХ
МИНЕРАЛАХ

В. П. Петров

РАССКАЗЫ
О ТРЕХ
НЕОБЫЧНЫХ
МИНЕРАЛАХ

549.67



МОСКВА, «НЕДРА», 1978



2325

Петров В. П. Рассказы о трех необычных минералах. М., «Недра», 1978, 176 с.

В книге популярно описаны три группы минералов — цеолиты, асбест и слюды. Приведена история их открытия, рассмотрены свойства, строение, условия образования, места находок и возможности расширения областей их применения в недалеком будущем. Показано, что все необычные свойства этих минералов отражают всеобщие законы природы.

Книгу с большим интересом прочтут не только все любители камня — неспециалисты, но и студенты различных геологических вузов и техникумов, а также специалисты — геологи.

Ил. 52.

«Этот образец — гранит, этот — свинцовый блеск, это — колчеданная руда, а эта серо-зеленая горная порода — порфирит; остальное — обычные камни».

Такой, очень оригинальный и, конечно, неудовлетворительный ответ дала мне несколько лет назад студентка — будущий горняк — на экзамене по сокращенному курсу петрографии и минералогии, демонстрируя свое умение определять минералы и горные породы по внешним признакам.

Самое характерное в этом ответе — это разделение природных каменных продуктов на «обычные камни» и какие-то значительные материалы, руды и некоторые горные породы, получившие название. Такое деление используется в обычной жизни довольно часто. Конечно, мне тогда же пришлось разъяснить «неудачливой» студентке, что обычных камней нет. Вернее, все камни обычны и одновременно необычны; изучая их, можно узнать новое о свойствах, строении, составе и условиях их образования. Все «камни» изучены и классифицированы; все они получили особое собственное название, и открытие какого-либо нового «камня», неизвестного минерала или неизвестной ранее горной породы является большим событием в науке. Об этом пишут в научных журналах, правильность такого открытия обсуждается в специальных научных комиссиях, на научных совещаниях, а иногда и на международных встречах ученых.

Несмотря на такое противоречие, я все же решил назвать книгу — «Рассказы о необычных минералах» и выбрал самые необычные примеры.

Цеолитовые породы — настоящий камень и вдруг избирательное поглощение и последующая возможность выделения некоторых химических веществ; асбест способен распушаться на тончайшие волокна, из которых можно прясть нитки, пригодные для вязки различных изделий и изготовления тканей; слюды раскалываются на тончайшие пластинки, которые являются прекрасным изолятором. Это, конечно, совершенно необычные минералы, но главное в моих рассказах — по-

казать читателю, что для того, чтобы увидеть эту необычность, необходимо детальнейшим образом изучить свойства каждого минерала и только потом, когда изучение достигнет известного совершенства, использовать специфические свойства минерала для практических целей.

Все три минеральные группы являются сейчас важными полезными ископаемыми и добываются в больших количествах. Однако история их весьма различна. Если асбест начал использоваться еще на заре человеческой истории, то полезные свойства слюды были обнаружены гораздо позднее, и современная слюдяная промышленность — порождение усиленно развивающейся электротехники. Наконец, практическое освоение цеолитов — это результат исследовательских работ самого последнего времени.

Рассказы о цеолитах, асбесте и слюде преследуют и другую цель — показать, что все «необычные» их свойства вполне закономерны и объяснимы с точки зрения внутреннего строения вещества; в необычности этих минералов — полезных ископаемых, отражаются всеобщие законы природы.

Такая двойственность отношения к минералам и ко многим видам минерального сырья весьма характерна как в общей истории нашей науки, так и в частных открытиях. При незнании свойств того или иного минерала он кажется нам «обычным» камнем, и только тогда, когда его природа полностью познается, мы видим в нем много «необычного».

В заключение мне еще раз хочется подчеркнуть, что цеолиты, асбест и слюды являются только примерами «необычных» минералов, число которых можно значительно увеличить.

ЦЕОЛИТЫ — ЦВЕТЫ ЗЕМЛИ

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ

Я полюбил камень в старом Тифлисе, в самом начале двадцатых годов, еще будучи школьником. Сначала я и мои друзья — молодые любители камня — искали эффектные кристаллы, хвастались друг перед другом своими находками и менялись образцами. Только позднее, когда стали взрослее, мы начали понимать, что главное при изучении минералов — это расшифровка их природы и места каждого минерала в общей истории местности. Каждый образец, пускай даже самый красивый, не имеет ценности, если неизвестно его окружение. Это, пожалуй, главное, что хочется показать читателю на примере описания минералов окрестностей Тбилиси. Все минералы этого района теснейшим образом связаны между собой, с его вулканизмом и особенно с деятельностью порожденных вулканами горячих источников, которая была наиболее интенсивна 40—60 млн. лет назад, но проявляет себя и сейчас; это знаменитые горячие серные источники, давшие название городу (тбили — по-грузински теплый).

На северо-восточной окраине Тбилиси в то время (рис. 1) первой железнодорожной станцией была платформа Дидубе, от которой (вдоль железной дороги) можно было пройти к селению и оврагу Грмагеле. Здесь среди третичных песчаников и сланцев — осадков моря, существовавшего 40—50 млн. лет назад, — встречаются послойные пленочки гипса (водного сернокислого кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), иногда довольно красивые, так как они представляют собой сростки многих кристаллов. Но не эти пленки нас привлекали, мы охотились за хорошо ограненными со всех сторон прозрачными кристаллами, которые встречались в слоях мягких пластичных глин, изредка залегающих среди плотных песчаников и глинистых сланцев. Размер кристаллов гипса был всего 1—1,5 см в поперечнике, но мы особенно ценили их прозрачность и совершенство граней; а если попадался двойник в форме «ласточкина

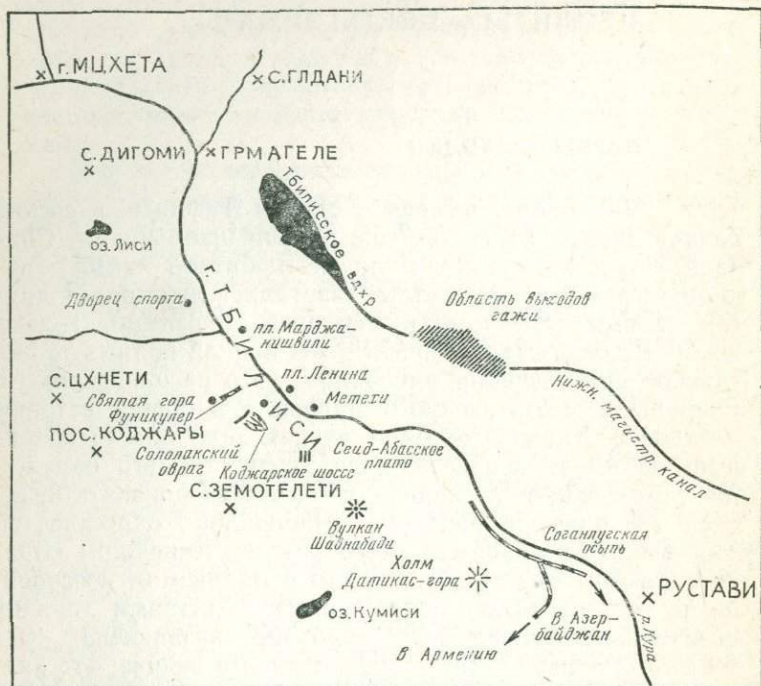


Рис. 1. Схема Тбилиси и его окрестностей

хвоста» (рис. 2), то гордости нашей не было предела.

Очень красивые розочки тонких, но далеко неправильных кристаллов гипса (рис. 3) мы находили в слоях гачи (смесь глины и гипса) в районе Авлабара, расположенного северо-восточнее Тбилиси.

Очень интересные находки делали мы в районе Майдана и главного входа в Ботанический сад, а также на расположенном восточнее Сеид-Абасском плато, где среди брекчиевидных и туфогенных пород встречаются известковые натечники. Обычно мы собирали их в каменных осыпях. Белые, игольчатые в изломе, с иглами, расположенными по радиусам, а также с концентрическими желтоватыми и красноватыми полосами и шелковистым блеском натечники очень красивы. Они образовывались в тех местах трещин, где проходили горячие воды, видимо, такие же, как и выходящие сейчас в районе сер-

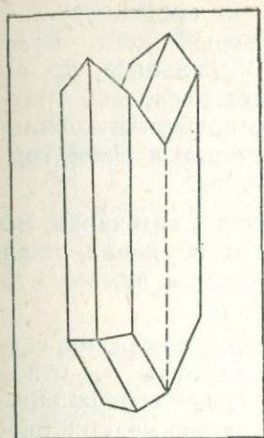


Рис. 2. Двойник гипса
«ласточкин хвост»

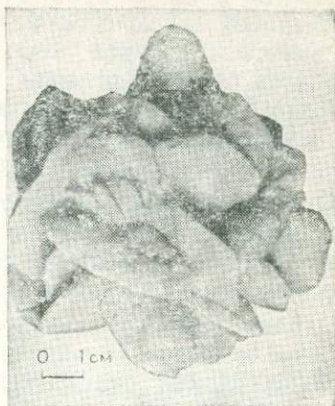


Рис. 3. Гипсовая розочка

ных бань. Кристаллы углекислой извести начинали расти от стенок трещины, где возникали первые зародыши, и расходились по радиусам.

Известковые натечники на Кавказе и в Закавказье широко распространены. В некоторых местах, например в окрестностях сел. Агамзалу в Армении, натечники добывают и используют как красивый поделочный материал, известный под названием мраморного оникса. Из агамзалинского оникса, в частности, изготовлены просвечивающие щитки для ламп на станции Белорусская кольцевая Московского метрополитена.

Изучая известковые натечники, мы сделали и одно из первых наших минералогических «открытий». Почему-то мы считали (об этом, впрочем, иногда пишется в ряде минералогических учебников), что натечники образует только углекислая известь, кристаллизующаяся в форме минерала арагонита, но оказалось, что существуют и кальцитовые натечники, причем последние встречаются гораздо чаще арагонитовых. Тбилисские натечники в основном арагонитовые, а агамзалинские кальцитовые.

Арагонит гораздо легче реагирует с различными веществами, чем кальцит, поэтому если в пробирку с раствором азотнокислого кобальта насыпать порошок

арагонита и смесь прокипятить, то он прореагирует с кобальтовой солью и окрасится в розовый цвет. Если же вместо арагонита взять порошок кальцита, то он останется белым или даже приобретет несколько голубоватый оттенок. Мы кипятили с азотнокислым кобальтом все попавшие к нам в руки натечники и очень гордились находкой кальцитовых натечников.

Пробовали мы полировать тбилисские натечники, но у нас ничего не получалось, то ли из-за неумения, то ли из-за большой пористости камня. Сейчас я думаю, что дело было именно в пористости.

Однако наиболее интересными минералами окрестностей Тбилиси, конечно, являются цеолиты — относительно редкие силикатные минералы, содержащие воду. Эти минералы иногда дают прекрасные кристаллы, служащие украшением многих музеев.

Из месторождений цеолитов нам особенно доступен был Сололакский овраг, до которого в то время можно было доехать на трамвае. Расположен овраг в той части города, откуда начиналось старое Коджарское шоссе (см. рис. 1). Первая петля шоссе пересекает овраг в самой его нижней части, и отсюда он, несколько раз пересекаемый петлями шоссе, поднимается вверх, вплоть до вершины хребта и западного входа в Ботанический сад. Наиболее интересны нижние 50—100 м оврага. Копались мы здесь каждый свободный день. Молотком и зубилом приходилось отваливать глыбы туфогенных песчаников, слагающих стенки оврага, чтобы обнажить ту или другую жилку, в которой кристаллизовались цеолиты и кальцит. При этом для нас никакого интереса не представляла сплошная цеолитовая жила. Нужно было вскрыть пустоту, и вот тогда на ее стенках открывались щеточки цеолитовых кристаллов; чем крупнее кристаллы и чем больше была поверхность, покрытая ими, тем выше нами ценился добытый образец. Иногда нам удавалось отколоть пластинку до 100—200 см², покрытую крупными кристаллами.

В Сололакском овраге встречаются только два кальцевых цеолита — десмин и ломонтит. Обычно жилка зональна, на стене трещины кристаллизуется кальцит, образующий мелкие (3—5 мм в поперечнике) кристал-

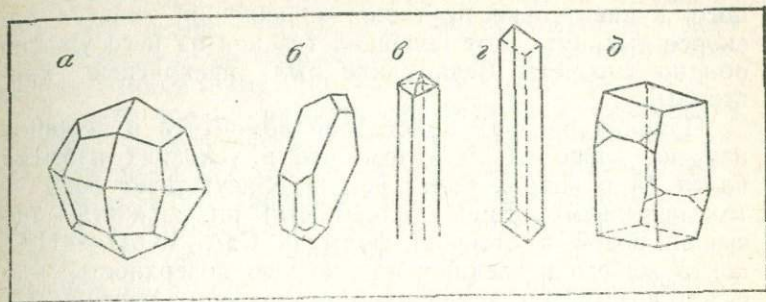


Рис. 4. Главнейшие формы кристаллов цеолитов.

а — обычная форма анальцима — трапецоэдр; *б* — наиболее частые формы десмина, встречавшиеся в Сололакском овраге; *в* — форма иголок натролита из окрестностей г. Ахалцихе; *г* — форма иголок ломонтита из Сололакского оврага; *д* — кристаллы гейландита, встречавшиеся в Соганлугской осыпи и в окрестностях г. Ахалцихе

лы, по форме напоминающие кубы — ромбоэдры. Такая форма может получиться, если растянуть (или сплющить) куб с двух противоположных трехгранных вершин. У кальцита из Сололакского оврага ромбоэдр очень мало отличается от куба — он чуть-чуть растянут; такой ромбоэдр у кальцита минералоги именуют «основным».

На кристаллах кальцита и частично совместно с ним кристаллизуется ломонтит. Трудно передать словами красоту кристаллов ломонтита в тот момент, когда их удастся извлечь из трещины в скале. Это прекрасные, полупрозрачные, почти квадратные призмочки, очень напоминающие спичку (рис. 4, *г*). Сверху такие призмочки срезаны косой ровной блестящей гранью; очень редко на вершинах кристаллов ломонтита встречается еще одна грань, притупляющая острый угол, образуемый призмой и первой гранью. В Сололакском овраге мы находили прекрасные кристаллы ломонтита — столбики до 2—3 см длиной и 2—3 мм толщиной. К сожалению, однако любоваться красотой ломонитовых кристаллов коллекционер может очень недолго: прямо на глазах, тут же около обнажения, из которого его удалось вынуть, он белеет, теряя прозрачность, а еще через некоторое время: через час или два, самое долгое — через сутки, вместо прекрасной «друзы» — сростка ломонитовых кристаллов, остается кучка бе-

лого, «удивительно противного» порошка; хочется поскорее выкинуть этот порошок, так как на него ужасно обидно смотреть. Ведь какие были прекрасные кристаллы!

Причина распада кристаллов ломонтита в порошок изучена давно. Дело в том, что в условиях избытка влаги (а в недрах почти всегда присутствует вода — так называемая горная влажность) он полностью насыщен водой и отвечает формуле $\text{CaAl}_2\text{SiO}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, когда же его извлекают на дневную поверхность — в сухой воздух, он немедленно отдает одну частицу воды, превращаясь в новый минерал — бета-леонгардит; при этом связь в кристаллической решетке, осуществлявшаяся через частицы воды, полностью уничтожается, и кристалл рассыпается.

Какие только меры не предпринимали мы, чтобы сохранить ломонитовые кристаллы. Сейчас же после извлечения из скалы добытые штуфы помещали в воду или заворачивали во влажную тряпку, которую все время поливали водой, и мчались домой, бросая все остальное на месте. Иногда, правда, удавалось донести кристаллики свежими до лабораторного стола, но что делать дальше? В старых книгах говорилось, что их можно сохранить, заливая «гуммиарабиком», столярным клеем или различными лаками. Приходилось бегать по всему городу, разыскивать знакомых, у которых с до-революционных времен сохранился клей для бумаг — гуммиарабик, или какие-то «дамаровы» лаки. Облазили все окрестные вишневые деревья в поисках «вишневого клея». Варьировали температуру и густоту столярного клея. Все было напрасно. Наши кристаллы в зависимости от характера пропитки из снежно-белых или прозрачных превращались в желтые, коричневые и даже совершенно черные; удавалось задержать распад кристаллов на месяц или два, но все равно через некоторое время в коробочке, где ранее лежали прекрасные кристаллы, оказывался мелкий порошок и совершенно невзрачный обломок туфогенной породы, на которой росли эти кристаллы, только порошок этот был не белый, как от разрушения чистого ломонтита, а грязный.

Позднее мне пришлось осматривать очень много знаменитых музеев мира, и везде я с особенным вниманием осматривал коллекции цеолитов, но нигде, никогда

я не видел хороших кристаллов ломонтита. Однако я знаю, что ломонтит прекрасно кристаллизуется и дает очень красивые кристаллы, но как их сохранить в коллекции? Видимо, этого до сих пор никто не знает.

Гораздо больше радовал нас десмин. В трещинах и пустотах Сололакского оврага он кристаллизуется последним, нарастая как на кальцит, так и на ломонтит. Десмин образует красивые, прочные пластинчатые кристаллы, у которых очень сильно развиты две боковые грани с не очень ровной поверхностью, но по краям имеются идеально блестящие косые (призматические) грани, а на самой вершине четыре косые грани срезаются маленькими, также идеально блестящими ромбиками — гранью, почти перпендикулярной к боковым граням (см. рис. 4, б).

Свое название десмин получил от греческого слова *δασμῖν* — пучок, сноп, за свою способность в процессе роста расщепляться и образовывать сростки, стянутые в середине и расщепленные по краям. Кристаллы обычно окрашены в розовый цвет и действительно напоминают сноп пшеницы. Но кристаллы десмина Сололакского оврага не таковы; они белые, идеально правильные, совершенно такие же, как на рисунке в учебнике, очень похожие на кристаллографические модели.

Кристаллы десмина в Сололакском овраге невелики, самые большие из встречавшихся здесь достигали 1—1,5 см в высоту и редко 1 см в ширину; толщина таких кристаллов около миллиметра. Они густо, как щетина в щетке, покрывают поверхность стенки жилы, срастаясь внизу, и образуют свободные кристаллы вверху. Обычно кристаллы десмина очень плотно прирастают к кальциту и к вмещающей породе, поэтому при отбивании образца (совместно с породой) кристаллы хорошо сохраняются. Часто десмин нарастает на ломонтит, и тогда, если это не отдельные кристаллы, а их сростки и если эти сростки достаточно прочны, их удается отделить от породы по слою рассыпающегося ломонтита. Нам тогда не было дела до того, что мы уничтожали важную генетическую особенность образца — у него не была видна последовательность выделения минералов, что является важнейшим фактором для понимания природы месторождения. Но образец получался исключительно эффектным — тонкая пла-

стинка, вся усыпанная прекрасными кристаллами почти водяно-прозрачного десмина.

Иногда встречались корочки десмина, сложенные мельчайшими, в доли миллиметра, кристалликами; отдельные кристаллы можно разглядеть только в лупу, но корочка в целом исключительно красива — на солнце грани мелких кристалликов сияли как алмазы и вся она светилась. Однажды удалось найти штуф, где крупные, до 2,5 см, столбики кристаллов ломонтита вместе с вмещающей породой были покрыты корочкой десмина. Она не давала ломонтиту рассыпаться, и штуф долго лежал в моей коллекции.

Много раз мы бродили в окрестностях Тбилиси, стремясь найти места, подобные Сололакскому оврагу, но так и не нашли. Западнее оврага, на склоне «Святой горы» (горы Святого Давида), среди более тонкослойных туфогенов и глинистых сланцев очень много цеолитов, но они представлены только ломонтитом. Местами ломонтит образует довольно мощные «прослои», хорошо видные даже из вагона фуникулера, связывающего вершину «Святой горы» с городом. Если же идти от оврага вверх по Коджарскому шоссе, то в трещинах горных пород, совершенно подобных породам, развитым в овраге, полностью отсутствуют цеолиты, но встречается не попадавшийся нам в овраге минерал — кварц. Его шестигранные призмочки иногда переполняли трещины. Кристаллы кварца были идеально прозрачны и прекрасно образованы, обычно в длину они имели 1—2 см при ширине 2—3 мм. Для меня кварц был мало интересен, я охотился за десмином, но моим друзьям удавалось найти кристаллы кварца, сросшиеся по редкому закону двойникования, и кристаллы с включением нефти, что, вообще говоря, представляет большую редкость.

Сейчас я примерно представляю себе причину своеобразия Сололакского оврага: в момент отложения минералов он находился на границе двух разных по составу потоков горячих вод. С запада поступал мощный поток очень щелочных, отлагавших ломонтит, горячих вод, а с востока шли, видимо, гораздо менее мощные струи кремнекислых горячих растворов. Смешение щелочных и кислых растворов создавало по границе (как раз в зоне Сололакского оврага) рас-

творы, промежуточные по составу, из которых мог кристаллизироваться десмин. То, что для выделения десмина нужны менее щелочные растворы, чем для кристаллизации ломонтита, видно из формулы этих двух минералов: в десмине на один атом кальция и два алюминия приходится шесть атомов кремнекислоты, а в ломонтите — четыре.

Маршруты более далеких экскурсий вели к вершинам Телетского хребта (см. рис. 1). Это относительно небольшой, длиной не более 10—15 км горный отрог, представляющий собой крайнее восточное окончание Триалетской горной системы. Телетский хребет исключительно интересен своими многочисленными вулканическими проявлениями. Здесь много мелких, относительно древних, очень неглубоких внедрений жидкой магмы, некоторые из них были, возможно, настоящие вулканы, но вулканы «моногенные», т. е. образовавшиеся в один прием — в одно краткое извержение. Скорее всего это было выдавливание магмы из трещин, чем настоящий вулкан с взрывной деятельностью и с излиянием потоков лавы, как у Везувия, Этны, Ключевской сопки и других «полигенных» вулканов. Но в те годы нас мало интересовали вулканы, мы искали красивые минералы, и Телетский хребет представлял для нас большой интерес.

Прежде всего должен быть упомянут кальцит. На Телетском хребте, среди туфогенных пород залегают многочисленные, иногда очень мощные (до 1 м) жилы, выполненные в основном кальцитом. По краям этих жил, или, как говорят геологи, по «зальбандам», часто встречается тонкая пленка ломонтита, позволяющая говорить о связи жил с теми же горячими растворами, которые образовали цеолиты Сололакского оврага. Как и в описанных ранее известковых натечниках, кальцит в жилах отлагался из горячих растворов, но на значительно больших глубинах, где давление было несколько больше, а охлаждение растворов шло медленнее; в результате кристаллизация кальцита из них происходила медленнее, и могли образовываться крупные кристаллы.

Кристаллы кальцита, имеющие форму основного ромбоэдра (рис. 5, а), встречались очень редко, гораздо чаще попадались кристаллы в форме скалено-

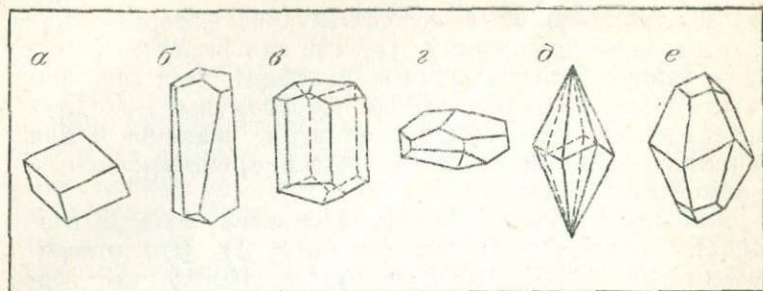


Рис. 5. Форма кристаллов кальцита, наиболее часто встречающихся в районах развития цеолитов.

а — «основной» ромбоэдр; *б* — комбинация «острого» и «тупого» ромбоэдров; *в* — то же, призмы и «тупого» ромбоэдра; *г* — то же, при очень малом развитии призмы (такие кристаллы называются папиршпатом); *д* — идеальный скаленоэдр; *е* — комбинация скаленоэдра и «основного» ромбоэдра

эдра (рис. 5, *д*), причем простой скаленоэдр, имеющий 12 граней, встречался исключительно редко. Обычно на кристалле можно было найти грани и многих других форм и иногда мы насчитывали до нескольких десятков граней (рис. 5, *е*). Особую нашу гордость вызывали кристаллы необычных для этих мест форм — «призматические», где шестигранную, но неправильную призму (дитригональную) венчали по вершинам шесть граней «сплющенного» (тупого) ромбоэдра (рис. 5, *в*), и, наконец, очень редко попадавшиеся кристаллы в виде тонкой линзочки, где распознавался только один такой ромбоэдр — без призмы или с очень маленькой призмой. Такие кристаллы (рис. 5, *г*), называемые «бумажным шпатом» (нам, конечно, больше нравилось называть их немецким термином — «папиршпат» — это звучало более «научно»), мы усиленно искали, но находили крайне редко.

Различие в форме кристаллов кальцита, по-видимому, связано с различием температур его кристаллизации. Немецкий ученый Кальб еще в 1928 г. составил шкалу для определения температур кристаллизации кальцита по форме кристаллов. Впоследствии высказывалось много сомнений о точности этой шкалы, но, видимо, основная мысль Кальба о связи формы кристаллов с температурой — справедлива. В настоящее время ведутся большие исследовательские работы по

искусственному получению кристаллов кальцита и можно надеяться, что после того, как процесс кристаллизации кальцита будет хорошо изучен в лаборатории, можно будет синтезировать кристаллы, различные по форме, и тогда удастся подтвердить или опровергнуть шкалу Кальба. Если она справедлива, то температура растворов, давших триалетские кальцитовые жилы, была порядка 100—300°C. Можно поэтому предполагать, что температура растворов, породивших минералы в жилах Сололакского оврага, была около 300°C и выше.

Кальцит, как и многие другие кристаллические вещества, обладает «спайностью» — замечательным свойством, всегда поражающим человека, впервые с ним сталкивающегося. Если ударить по кристаллу кальцита молотком, то получившиеся обломки будут далеко не случайными, все они будут обязательно иметь совершенно ровные блестящие грани, а если на обломках будут встречаться двугранные или трехгранные углы, то они обязательно будут соответствовать таким же углам «основного» ромбоэдра. Если аккуратно ударять по лишенному граней кристаллу кальцита, то из него можно выбить «спайный» обломок, вполне отвечающий «основному» ромбоэдру.

Конечно, все найденные неправильные зерна или плохие кристаллы мы разбивали, стремясь выбить правильные «спайные» обломки; местами попадались очень чистые кристаллы и получаемые нами обломки были совершенно прозрачные; более того, такой обломок удваивает изображение вследствие двупреломления света. Это замечательное явление свойственно очень многим кристаллическим веществам, но особенно отчетливо проявляется у кальцита. Прозрачные кусочки кальцита — исландского шпата (по месту первой находки этого минерала, в Исландии) — нами тщательно собирались и были украшением наших коллекций.

На самом дальнем от Тбилиси конце Телетского хребта, где он переходит в равнину, расположен очень заметный холм — Датикас-гора (см. рис. 1), это так называемый вулканический купол. Лава, образовавшая его, содержит гораздо больше кремнекислоты, чем лава других мест Телетского хребта, а поэтому очень вязка; она выдавливалась из трещины, давая караваеобразное тело, расположенное прямо над трещиной. В трещинах

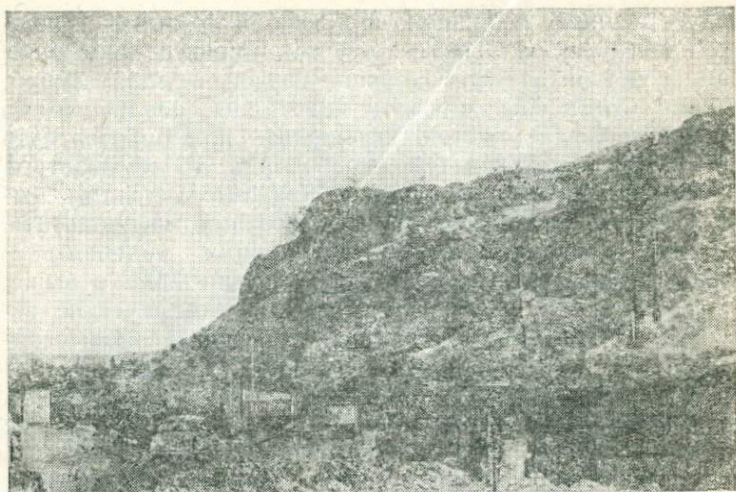


Рис. 6. Общий вид Соганлугской осыпи (снимок 1969 г.)

лавы довольно часто встречались участки яшмы и халцедона и реже гиалита *.

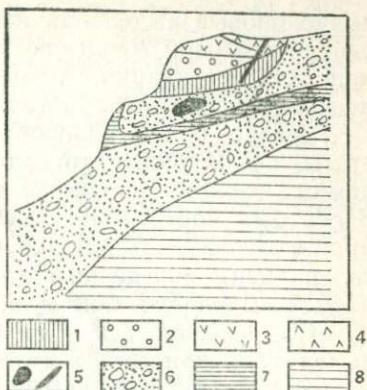
На многих вулканических образованиях Телетского хребта собирали мы лаву с пустотами, выполненными различными цеолитами, но нигде не было такого богатого сбора, как на Соганлугской осыпи (рис. 6). Осыпь расположена километрах в двух к северо-востоку от Датикас-горы, над р. Курой, близ шоссе, идущего из Тбилиси в Армению и Азербайджан.

Скала над осыпью представляет собой поперечный разрез андезито-базальтового купола, такого же, как многие горки, выделяющиеся на хребте. Образовался купол в результате внедрения жидкой лавы в толщу осадков, видимо, очень скоро после их осаждения на морском дне. Лава прорвала уже готовые осадки, частично их подняла и выдавилась вверх, застыв в виде куполообразного тела. После внедрения лавы и ее остывания на образовавшийся андезито-базальтовый

* Яшма — макрозернистый кварц, загрязненный глинистыми минералами; халцедон — натечный, более или менее чистый тонко-нольчатый кварц; гиалит — чистый, почти прозрачный халцедон.

Рис. 7. Геологическая интерпретация фото рис. 6.

1—4 — андезито-базальтовый интрузив (1 — зона со столбчатой отдельностью и жеодами агата, 2 — крупноглыбовая зона с жеодами цеолитов, 3 — мелкоглыбовая зона с мелкими жеодами, 4 — пористый цеолитизированный андезито-базальт); 5 — жилка с датолитом и выход породы с пренитом; 6 — осыпь щебня; 7—8 — туф (7 — плотный, 8 — мелкослоистый)



купол и прорванные им осадки продолжали отлагаться новые порции ила и туфа — в обнажении очень хорошо видны вулканогенные осадки, подстилающие купол, и более молодые, прикрывающие его породы.

Купол (рис. 7) имеет сложное и весьма интересное строение. Низы купола, застывавшие медленно, приобрели крупнозернистое строение; все газы в процессе застывания лавы ушли кверху, и здесь встречаются только очень редкие пустоты — газовые пузыри. На стенке площадью 3—5 м² изредка можно увидеть всего 1—2 пустотки. Выше расположенные части лавы имели меньше времени для застывания и здесь размер зерен несколько меньше, количество пустот больше, а в самой породе между кристаллами встречается еще не успевшая закристаллизоваться промежуточная жидкость — вулканическое стекло. Наконец, на самом верху массива залегает очень пористая стекловатая порода, она подобна пивной пене.

Различие в облике породы, происходящей из разных участков купола, позволило нам, собирая цеолиты, выполняющие пустоты в обломках породы в осыпи, примерно знать, из какого места скалы происходил этот обломок.

В крупнозернистой породе нижней части массива, в редких пустотах встречались только выделения халцедона, который разноокрашенными концентрическими слоями выполняет обычно всю пустоту; такие слоистые

халцедоновые выделения носят название агата. Реже в центре агатовой жеоды встречалась пустота, усаженная кристаллами кварца, и очень редко кроме кварца в центре жеоды были кристаллы кальцита.

Гораздо более разнообразными были жеоды — пустоты, выполненные кристаллами, встречавшиеся в обломках горной породы из центральной части массива. Здесь был настоящий минералогический музей. Самую крайнюю зону обычно округлой пустоты в породе слагал кальцит, иногда на него, а иногда прямо на горную породу выделялся халцедон, образующий тонкую корочку. На нее или реже на поверхность горной породы выделялись кристаллы датолита и шарики кристаллов пренита. Очень красивы оба эти минерала. Датолит образует светло-зеленые, почти бесцветные, часто совершенно прозрачные пластинчатые кристаллы. Иногда датолит заполнял пустоту полностью, но обычно в центре пустоты оставалась полость, куда выходили прекрасно ограненные головки кристаллов. Обычно кристаллы датолита имели пластинчатый облик и очень много граней.

Полной противоположностью датолиту является пренит; он всегда встречается только в виде шариков — радиально-лучистых сростков. Если расколоть такой шарик, то видно, что его слагают отдельные кристаллы — лучи, идущие от центра к периферии. На поверхности пренитовый шарик блестит со всех сторон, так как на каждом луче-кристаллике, выходящем на поверхность шарика, развивается конечная грань, примерно перпендикулярная к удлинению луча. Цвет пренитового шарика обычно зеленый и темно-зеленый и только изредка белый и полупрозрачный.

Во многих жеодах, особенно в пустотах горной породы, из образцов верхней половины массива кроме пренита и датолита встречаются кристаллы различных цеолитов: натролит, мезолит или сколецит, реже анальцим. Особенно запомнилась мне одна из найденных жеод, выполненная щеткой мелких кристаллов цеолитов, среди которых, как собачий клык, ровный, плотный, блестящий и почти прозрачный торчал кристалл датолита.

В образцах горной породы из верхней части массива пустоты с датолитом и пренитом почти не встречались;

здесь особенно характерны натролит и мезолит; прекрасные иголки этих минералов, с хорошо развитыми гранями, часто выходят в пустоту, создавая порой неповторимую красоту жеоды. В некоторых пустотах встречались острые кристаллики гейландита и своеобразные, похожие на шарик или булыжник, кристаллы анальцима (см. рис. 4, а). Впрочем, каждый кристалл анальцима всегда был покрыт очень отчетливыми блестящими гранями, имевшими форму четырехгранника, приближающуюся к трапеции.

На Соганлугскую осыпь мы отправлялись рано утром и весь день проходил в переборке обломков: обычно мы искали кусочки андезито-базальта с пустотами, в которых кристаллизовались интересовавшие нас минералы, и каждый раз наши труды вознаграждались. С полными рюкзаками брели мы вечером обратно, и как приятно было дома разбирать и отмывать от грязи и песка наши драгоценные находки.

Образцы из самой верхней части массива мы не любили; пустот с кристаллами здесь, как правило, не было, и весь объем пор был заполнен волокнистым, иногда розовым цеолитом, который мы называли мезолитом.

Надо признаться, что определение цеолитов в те годы для нас представляло зачастую очень большие трудности; те простейшие химические определения, которые удавалось нам провести, и качественное оптическое изучение иногда оставляли нас в полной неопределенности, и сейчас, через пятьдесят лет, я вспоминаю некоторые найденные тогда кристаллики цеолитов, которые в те годы не удалось определить, и подобных которым я не встречал позднее в других коллекциях. Что это были за кристаллы — я не знаю и сейчас.

Следует рассказать еще об одной важной детали строения Соганлугской осыпи. В те годы, когда мы собирали образцы с пустотами и жеодами, мы этой особенности не замечали, и только позднее (после Великой Отечественной войны), когда в результате научных споров о генезисе цеолитов я усомнился в своих старых представлениях, в нижнем западном углу массива я обнаружил в контакте зону превращенных в пренит туфов и отходящую отсюда жилку мощ-

ностью около 3—5 см, содержащую датолит (см. рис. 7). Эта находка для меня была очень важна, так как убедила в том, что бор, необходимый для кристаллизации датолита, принесен растворами, проникшими в вулканический массив после его образования. Очевидно, что с этими же идущими извне растворами связано и образование всех цеолитов в пустотах, существовавших в уже застывшей лаве, образовавшей массив над Соганлугской осыпью.

УСТЬЕ РЕКИ УРАВЕЛЬ

То, о чем я хочу рассказать в этом разделе, произошло примерно через 10—12 лет после описанных сборов камня в окрестностях Тбилиси. В то время мой отец — инженер-путеец — строил дорогу между сел. Минадзе, расположенным в нескольких километрах от г. Ахалцихе, при впадении р. Уравель в р. Куру, и рудником Кисатиби (рис. 8).

Следует напомнить читателю, что хотя район Ахалцихе знаменит находками цеолитов, однако в составленной еще до 1914 г. сводке А. Е. Ферсмана по цеолитовым месторождениям России р. Уравель, вдоль которой должна была строиться дорога, не упоминалась.

Уже во время первого посещения устья р. Уравель мне удалось разобраться в геологическом строении местности. 40—50 млн. лет назад в районе Ахалцихе существовало относительно мелкое море, на дне которого и, видимо, на островах интенсивно действовали вулканы, дававшие огромные количества вулканического пепла. Этот пепел частично выпадал в море, частично на сушу, откуда сносился в море дождями и временными потоками. Накопление рыхлого материала вело к образованию в море слоистых толщ вулканогенных отложений. Временами из подводных или островных вулканов извергались лавы, растекавшиеся по дну моря. После остывания лав на их поверхности, как и на поверхности морского дна, не залитого лавой, вновь оседал морской ил и туфовый или пелловый материал, выбрасываемый вулканами. После своего образования осадки с включенными в них лавовыми потоками подверглись складкообразованию и сейчас стоят под углом к горизонту. Река Уравель у своего устья распилила



Рис. 8. Общий вид устья р. Уравель.

Выступы скал в середине и в низу снимка — выходы шаровых лав у сел. Минадзе

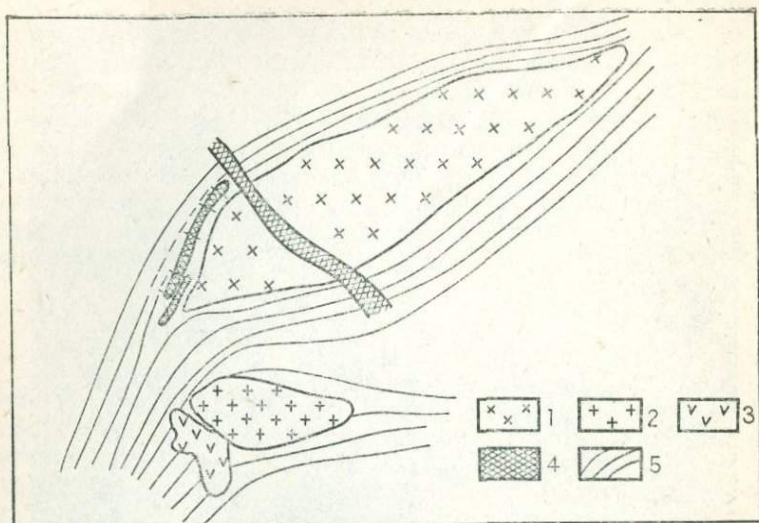


Рис. 9. Схема распространения магматических пород близ устья р. Уралея.

1 — более молодой поток шаровой лавы; 2 — более древний поток шаровой лавы; 3 — порфирит с глыбовой отдельностью; 4 — тела тешенитов; 5 — туфогенные породы

эту толщу и обнажила в ней два крупных лавовых потока (рис. 9, 10), расположенных на разных уровнях.

То, что лавовые потоки изливались в воду, можно видеть по их структуре. Оба они образованы так называемой шаровой лавой (рис. 11), напоминающей груды подушек, лежащих одна на другой. Образование таких потоков происходит следующим образом: когда лава попадает в воду, первые ее порции, соприкасающиеся с водой, застывают, образуя стеклянный «мешок», наполненный жидкой лавой; внутрь «мешка» лава продолжает поступать до тех пор, пока он не прорвется. Из него вытекают новые порции лавы, образующие новый «мешок», и так далее. В результате образуется поток, состоящий из «мешков»-шаров, лежащих один над другим. В строении каждого шара наблюдается отчетливая зональность: по краям располагается стекловатая корка (стенки бывшего «мешка»), а внутри нормальная, хорошо закристаллизованная порода. Для нас является очень важным, что между лавовыми шарами

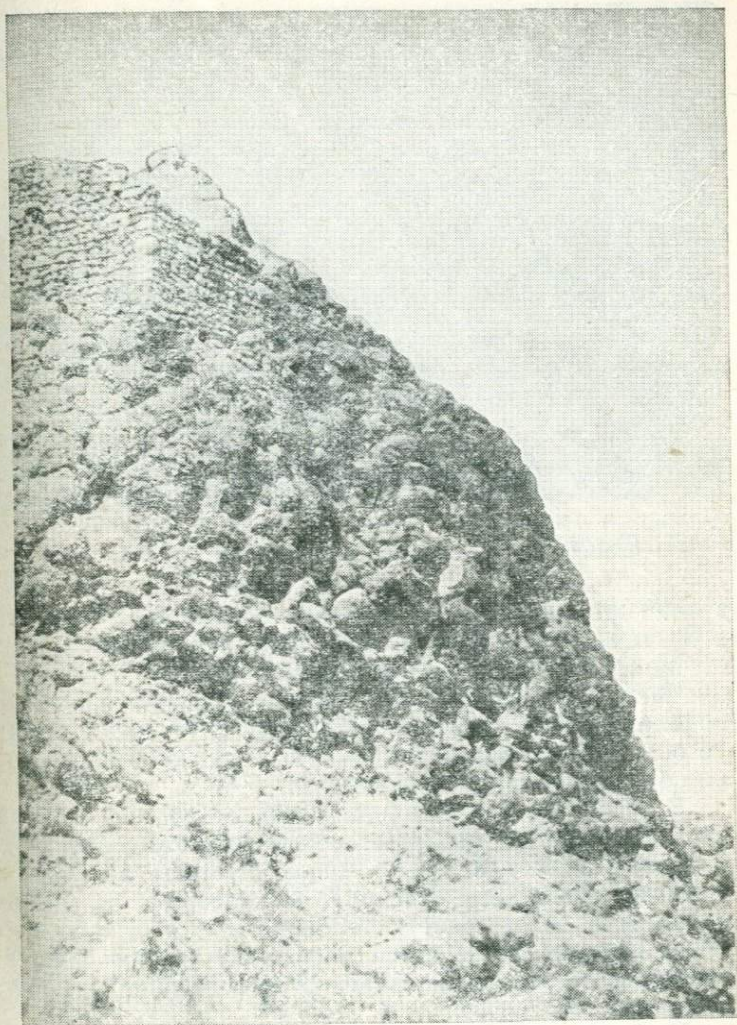


Рис. 10. Общий вид более молодого потока шаровой лавы



Рис. 11. Шаровые лавы

возникают промежутки, частично остающиеся пустыми, а частично заполненные илом или мелко дробленным стеклом, — в них обычно кристаллизуются цеолиты.

Часто вся межшаровая пустота целиком заполнена кальцитом или цеолитами, но в ряде случаев в ее центре остается полость, в которую выходят концы прекрасно образованных кристаллов.

В северном, более молодом выходе обычно встречаются волокнистые цеолиты — мезолит и томсонит, реже натролит. Как всегда, по краям пустоты выделяется зеленый хлоритовый минерал, на который нарастает кальцит, а затем растут волокнистые кристаллы цеолита. Изредка встречается апофиллит и, как большая редкость, отдельные мельчайшие кристаллики самородной меди.

Находка самородной меди была для меня особенно интересна. Дело в том, что в США, в районе оз. Верхнего есть месторождение самородной меди, где она встречается в пустотах базальта вместе с цеолитами. И хотя в районе р. Уравель мной было найдено только два-три зернышка размером меньше 1 мм, эта находка говорила о том, что процесс цеолитообразования на

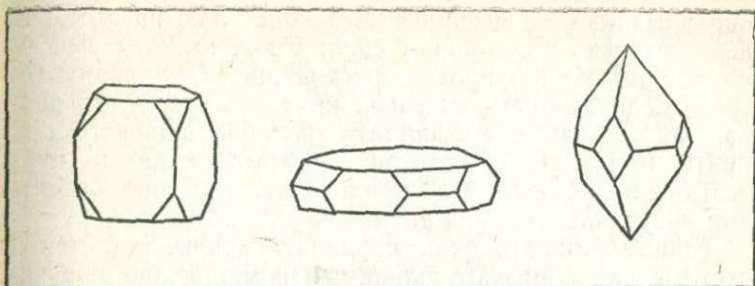


Рис. 12. Форма наиболее распространенных кристаллов апофиллита

Кавказе и в Америке можно полностью параллелизовать.

Гораздо богаче были сборы из меньшего по размеру южного потока, расположенного ниже северного. Здесь в межшаровых пустотах, на стенках, также наблюдались выделения зеленого хлорита, на который нарастал кальцит; одновременно с кальцитом, а иногда на него, выделялись кристаллы гейландита и апофиллита. Гейландит образует белые, бесцветные, розовые, а иногда и кирпично-красные острые кристаллики, которые резко выступают над другими кристалликами, выполняющими пустоту. Розовый и красный цвет гейландита обусловлен примесью красных железистых окислов, а белые и бесцветные кристаллы не содержат этой примеси. Размеры гейландитовых кристалликов достигали иногда 1,5 см. Кристаллы апофиллита крупнее (до 2 см). Обычно апофиллит образует квадратные пластинки, углы у которых несколько косо срезаны (рис. 12). Иногда грани, срезающие углы, сильно развиты, и тогда кристаллик апофиллита напоминает восьмигранную монетку. В некоторых пустотах такие монетки собираются вместе, имея внутри некоторый общий центр; при этом получается некоторое подобие шарика, на поверхности которого видны блестящие правильные грани многих кристалликов. Апофиллит здесь белый, голубоватый или зеленый; зеленый цвет — явная примесь меди, но зерен самородной меди я не встречал. Еще два цеолита — десмин и морденит, образуют здесь красивые кристаллы. Десмин тот же, что и в окрестностях Тбилиси, и в тех же кристаллических формах, но только здесь он больше

оправдывает свое название. Его кристаллы на этот раз действительно напоминают сноп; у них имеется связочка посередине и широкие, расходящиеся по радиусам, края. Если смотреть на такой кристалл сверху, то видно, так же как у апофиллита, подобие шарового сегмента, только грани здесь несколько иные, да и цвет белый или розовый. Мне приходилось находить отдельные кристаллы десмина размером до 3 см.

Кристаллики-иглочки морденита покрывают стенки пустоты или образуют шарики, напоминающие морского ежа, с торчащими во все стороны тончайшими иглами. Белые или светло-розовые кристаллики, как ворсинки хорошего ковра, покрывающие стенки пустоты, очень красивы, но сохранить их для коллекции чрезвычайно трудно.

Очередной взрыв отвалил от скалы еще около полуметра породы и увеличил площадь для дороги; вместе с взрывниками бегу к обломкам, над которыми еще не осели клубы пыли, и представьте мое счастье, еще издали вижу, что почти на поверхности лежит кусок породы — явная стенка пустоты с розовыми кристалликами морденита. Образец исключительно красивый, около 7 см в длину и примерно 5 см в ширину, весь покрыт тонкой «шерсткой» кристалликов морденита. Бережно вытаскиваю его из каменного развала — ни одна глыба на него не свалилась, да и при взрыве на него упало только несколько мелких кусочков камня, которые легко удалось откинуть. Они почти не повредили тонких кристалликов. Как зачарованный, рассматриваю замечательный образец, соображая, как переправить его домой, как сохранить невредимым. Неожиданно из-за плеча появляется мощная рука и, раньше чем я успел что-либо сообразить, палец провел по образцу глубокую борозду... Оборачиваюсь назад, — передо мной улыбающееся лицо старого рабочего-откатчика: «Мягкий!». У меня от горя и неожиданности язык отнялся, не хватает сил даже ругаться. Так, с полоской от пальца этот образец и сейчас находится в Музее Грузии. Даже испорченный, он остается одним из красивейших образцов грузинских цеолитов.

В районе р. Уравель находится еще одно тело магматических пород, имеющее форму жилы, секущей пласты лепла и других осадков. Видимо, еще во время

действия вулкана, но много позже излияния лавовых потоков, после землетрясения появилась трещина, куда устремилась лава; возможно где-то выше или сбоку лава через трещину излилась на поверхность и дала новый поток. Сейчас найти его невозможно — он может быть уже смыт, а может быть в результате последующих подвижек пород и их размыва связь потока с каналом, подводившим к нему лаву, полностью потеряна и теперь восстановить ее невозможно.

Так или иначе, но совершенно несомненно, что лава застывала на малой глубине — близ поверхности. Давление на магму сильно снизилось, и водяной пар, растворенный в магме, начал выделяться из раствора и образовывать пузыри. В вязкой магме они поднимались очень медленно и магма застыла прежде, чем пузыри достигли ее поверхности. В низах жилы количество пузырей невелико, но размеры их довольно большие, в верхах — напротив, много мелких пузырей. Впоследствии в них из циркулировавших по породе горячих водных растворов кристаллизовались различные минералы — сначала зеленый хлорит, на его поверхности кальцит и различные цеолиты. Мелкие пустотки вверх почти целиком заполнены хлоритом, нижние же крупные полости выполнены цеолитами. Самыми интересными являются пузыри, которые не успели заполниться полностью. В таких полостях встречаются хорошо образованные кристаллы гейландита и десмина; реже удавалось находить кристаллы игольчатых цеолитов.

Если кто-либо из читателей попадет в Ахалцихе, то советую пойти на это место; оно совсем недалеко от города, всего 5—7 км, а найти его довольно просто: здесь, совсем недалеко, стоят остатки знаменитого некогда Сафаровского монастыря. Жилу легко найти, если подниматься по оврагу между двумя выходами на дорогу потоков шаровых лав.

Надо, однако, сказать, что в районе Ахалцихе цеолиты встречаются буквально везде. Так, недалеко от крепости Ацхури, у входа р. Куры в Боржомское ущелье имеется агатовый рудник Щурдо, где агат залегает в пустотах стекловатой лавы. В этой же лаве много пустот, выполненных различными, иногда очень редкими цеолитами. Непосредственно около Ацхури начинается ущелье, в верховьях которого находили прекрасные

штуфы с розовым апофиллитом. Около сел. Минадзе, почти над мостом через Куру, в обрыве скалы можно найти очень красивые штуфы с натролитом. Много красивых штуфов с кристалликами цеолитов приходилось мне встречать в шаровых лавах близ пос. Аспиндза, расположенного на полпути между городами Ахалцихе и Ахалкалаки.

Если внимательный турист попадет в этот район, он сумеет найти много новых обнажений с цеолитами.

НЕОБЫЧНЫЙ КАЛЬЦИТ

В месторождении близ западно-грузинского сел. Никорцминда нет красивых образцов. Коллекционеру, интересующемуся только красивыми кристаллами, здесь делать нечего, и я не могу ему рекомендовать ехать сюда, разве что его привлекут в эти места прекрасные виды на поля, зеленые горы, покрытые густыми лесами, или замечательные явления современного карста — исчезающие озера и реки, вытекающие прямо из пустот в скалах. Минералогическая красота этих мест выявляется только под микроскопом, и поэтому любителю камня, владеющему микроскопическими методами, стоит посетить Нижнюю Рачу, как в Грузии именуют эти места.

Изучив в конце тридцатых годов никорцминдские месторождения, мы стали совершенно иначе, чем раньше, смотреть на генезис цеолитов. Сейчас, рассказывая об этих местах, мне хочется показать, что цеолитообразование — замечательный процесс, являющийся следствием ряда общегеологических закономерностей.

Во второй половине тридцатых годов моему отцу было поручено составление проекта реконструкции шоссейной дороги от железнодорожной станции Тквибули к сел. Амбролаури, расположенному на Военно-Осетинской дороге. Он обратил внимание на большую черную скалу, стоящую на самой окраине сел. Никорцминда; интересовала его скала главным образом как источник щебня для постройки шоссе, но конечно, как и в окрестностях Ахалцихе, он мечтал об интересных минералогических находках. Минералогические сборы, в общем,

его огорчили; нашел он здесь только кристаллы кальцита, имевшие обычную форму основного ромбоэдра, но вместе с тем, кальцит был несколько необычен — грани кристалла обладали своеобразным жирным блеском и были совершенно непрозрачны, они даже не просвечивали, что весьма необычно для кальцита.

Очень скоро эти кристаллы лежали у меня на лабораторном столе вместе с несколькими кусками вмещающих их горных пород. Уже первый внимательный осмотр образцов показал, что своеобразие кальцита связано с большим количеством включений, буквально переполняющих каждый кристалл. Позднее так и оказалось; количество примесей в кристалле составляло много более половины его веса, а в некоторых случаях более трех четвертей. Первое, что я сделал, это заказал шлифы * из всех бывших у меня горных пород и мутных кристаллов.

Картина, которую я увидел, посмотрев под микроскопом на полученные шлифы из никорцминдских образцов, была необычна: среди кальцита, цеолитов и апофиллита встречались кристаллики не похожие ни на что, виденное мною ранее (рис. 13). Это был какой-то неизвестный мне минерал, содержащий в центре маленький кристаллик хорошо знакомого известкового граната. Кристаллик граната имел характерную форму ромбического додекаэдра, а минерал, нараставший на него, явно вполне закономерно, образовывал октаэдр — форму, напоминающую две одинаковые пирамиды, составленные основаниями (рис. 14).

Картина, которую я увидел, была настолько неожиданной, что я немедленно побежал к моему учителю, акад. Д. С. Белянкину, и мы с ним вместе, обложившись справочниками, изучали эти образцы в течение нескольких часов. В конце беседы, я не знаю, почему, вероятно, просто на основе большого опыта, Дмитрий

* Шлиф — это пластинка горной породы толщиной 0,03 мм (при такой толщине почти все минералы прозрачны и их можно изучать под микроскопом). Получается она при шлифовании кусочка породы с обеих сторон; после получения ровной поверхности с одной стороны, кусочек приклеивается к стеклу и сошлифовывается до нужной толщины с другой стороны; чтобы шлиф сохранился, его после изготовления прикрывают покровным стеклом и он готов к исследованию.



Рис. 13. Гибшитовая порода из окрестностей сел. Никорцминда.

Октаэдры гибшита включают в себя ромбический додекаэдр кальциевого граната (темное). Основная масса — апофиллит. В нижней части снимка видны мелкие октаэдры гибшита. Снимок в световом микроскопе; увеличено в 40 раз

Степанович сказал: «Это все-таки, вероятнее всего, гибшит» и, дав мне задание, как изучать образец дальше, ушел, а к концу дня принес несколько книг, где упоминался этот редчайший минерал. Оказалось, что он

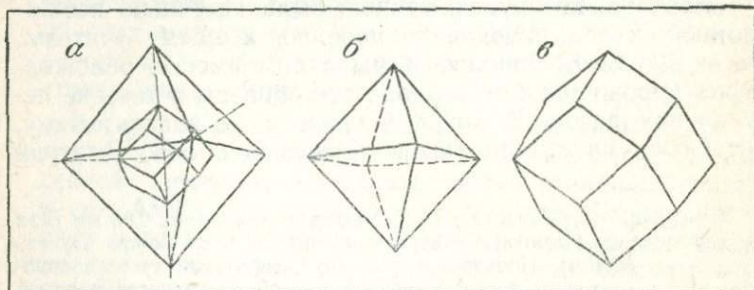


Рис. 14. Формы граната и гибшита:

а — схема параллельного нарастания октаэдра гибшита на ромбический додекаэдр граната; б — обычная форма гибшита — октаэдр; в — обычная форма граната — ромбический додекаэдр

был описан немецким минералогом Ф. Корню в начале нынешнего столетия из месторождения «на горе Мариенберг, близ Аусига в Богемии». Позднее Ф. Корню обнаружил этот минерал в кусках известняка, захваченных базальтом, в Арденнах в Южной Франции, а затем еще в одном из районов Чехословакии, где он встречается в контакте мергелей и фонолита.

В числе книг, подобранных Дмитрием Степановичем, была и оригинальная работа Ф. Корню, впервые назвавшего этот минерал. В его описании была приведена фотография образцов с горы Мариенберг; после этого у нас никаких сомнений не осталось — на мариебергской фотографии видны те же гранатовые зерна, обросшие совершенно такими же октаэдрами.

Еще через два дня у нас был шлиф того же гибшита, но уже с горы «Мариенберг, близ Аусига в Богемии». Образец этот, вместе с такой этикеткой, был прислан в Минералогический музей АН СССР Ф. Корню. Сравнение свойств оригинального образца и образца из окрестностей сел. Никорцминда вполне подтвердило их тождественность.

Итак, это гибшит. Но одновременно возникло много новых вопросов и в первую очередь вопрос о составе этого минерала; имевшиеся в литературе материалы говорили, что состав его не имеет ничего общего с составом граната, но тогда непонятно, почему кристаллы гибшита нарастают на гранат, явно продолжая его кристаллы, поскольку во всех изученных случаях ромбический додекаэдр граната и октаэдр гибшита были ориентированы совершенно одинаково. Конечно, тех немногих образцов, которые у нас были, не хватало для анализа, нужно было получить новый материал и как-то отделить гибшит от граната, кальцита и цеолитов.

Поэтому на следующее лето мы с Дмитрием Степановичем были в Никорцминде и тщательно осматривали всю скалу, возвышавшуюся над селом. Строение ее оказалось очень интересным. Весь район в этой части Грузии сложен мощной толщей известковых и мергелистых пород, образовавшихся около 100 млн. лет назад. Затем уже совсем «недавно», всего 15—20 млн. лет назад, когда известняки были выдвинуты на сушу и образовали эту местность, здесь начали интенсивно возникать вулканы и в результате их деятельности часть

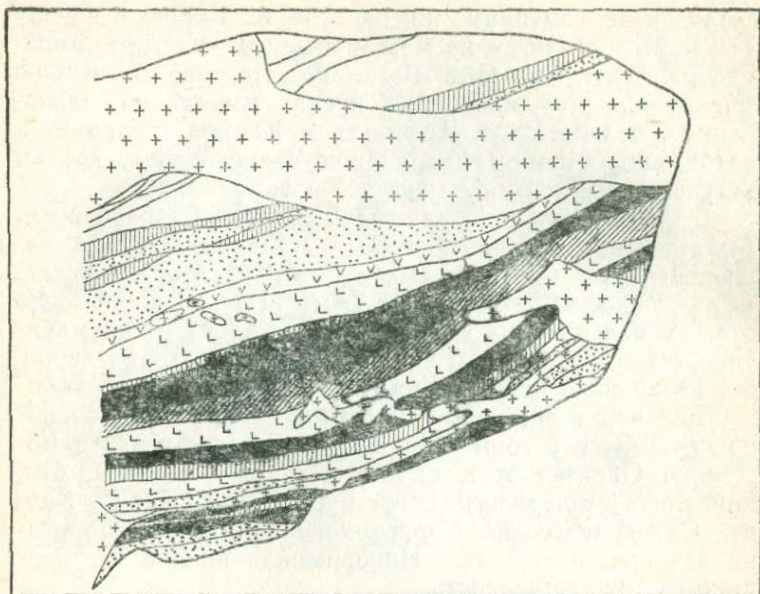


Рис. 15. Зарисовка контактной зоны близ сел. Никорцминда.

Крестиками обозначены внедрения тешенитов; другими значками — измененные мергели с разным содержанием гибшита

глубинного расплава — магма внедрилась в толщу пород как на относительно большой глубине, так и совсем близко к поверхности, около самого основания вулкана. Таким очень неглубоким интрузивом и была горная порода, выходящая в скале у сел. Никорцминда. Внедрившаяся магма прогревала и очень интенсивно изменяла вмещающие породы: в южном краю скалы слои мергелистых осадков целиком превратились в своеобразные известково-силикатные породы. Эта часть скалы оказалась очень пестрой по составу, и здесь можно было различить ряд резко различных слоев (рис. 15).

Очень трудно было в поле, без микроскопа, выделить слои, наиболее богатые гибшитом, ведь этот минерал так мелок, что его видно только при большом увеличении. Пришлось «страховаться» и всякую сколько-нибудь подозрительную породу брать «на всякий случай» в больших количествах. Особенно заинтересовал меня один слой, располагавшийся почти внизу обнажения. Именно здесь были взяты образцы, привезенные нам

раньше, а, кроме того, местами здесь были пустотки, напоминающие пещерки, где на дне лежал мелкий песочек, очень напоминавший гибшитовые кристаллы. Отсюда удалось собрать несколько мешочков песочка; взяли и образцы из стенок пустот.

По приезде в Москву срочно изготовили шлифы из всех собранных образцов, детально изучили их и нанесли полученные составы на составленную ранее зарисовку. Пласты оказались очень различными, однако гибшит содержался в очень многих пластах; вместе с гибшитом встречались различные цеолиты, из которых наиболее частым был томсонит, ряд пластов слагался апофиллитом; были найдены и два очень интересных волокнистых минерала — силикаты кальция — безводный волластонит и водный ксонотлит. Причем условия залегания их очень напоминали соотношения между гибшитом и гранатом: ксонотлит обрастал по краям волластонит; иногда волластонитовая иголка продолжалась иголкой ксонотлита.

Очень интересным оказался песочек и образцы из стенки пустот этого же слоя; как и предполагалось, песочек состоял из октаэдров гибшита с гранатом в ядрах и небольшой примеси кальцита, а порода из слоя — существенно кальцитовый породой, в которую были включены кристаллики гибшита.

Теперь надлежало выделить гибшит для химического анализа. Химический состав гибшита, который был рассчитан по анализу, сделанному Ф. Корню, нас явно не удовлетворял. Он сильно отличался от состава граната и не соответствовал тем физическим свойствам, которые мы определили для гибшита.

Прежде всего следовало определить удельный вес гибшита. Это очень легко было бы сделать, если бы у нас был чистый гибшитовый материал, но сделать это для корочек, имеющих мощность всего около 0,1 мм, — крайне трудно, правильнее было бы сказать, что существовавшими тогда методами это было просто невозможно. Пришлось разработать с этой целью специальную методику.

В минералогии существует так называемая иммерсионная методика (методика погружения) для определения очень важной особенности минералов — их светопреломления. Определение ведется с помощью специ-

ального набора, обычно состоящего из 100 стандартных жидкостей, где одна жидкость отличается от другой на некоторую величину показателя преломления. Поместив минерал под микроскопом в каплю любой из этих жидкостей, можно легко определить, какой из компонентов — минерал или жидкость — имеет большее светопреломление, после чего следует минерал поместить в другую жидкость и снова выяснить соотношение, и так далее, до тех пор, пока не найдутся две соседние жидкости, одна из которых будет обладать светопреломлением несколько большим, чем у минерала, а другая — несколько меньшим. Очевидно, светопреломление минерала будет промежуточным между соответствующими жидкостями.

Мне приходилось очень много пользоваться этим методом, и я хорошо изучил поведение зерна минерала в жидкости. При этом постоянно наблюдалось всплывание или падение минерала на дно в зависимости от удельного веса минерала и жидкости.

А что, если воспользоваться этим всплыванием?

Приготовить набор жидкостей с разным удельным весом было совсем не трудно, но наблюдать падение или всплывание изучаемого зерна при горизонтальном положении столика микроскопа очень трудно. Но ведь можно повернуть микроскоп и поставить столик вертикально! Повернули: получилось замечательно. Отчетливо видно, всплывает зерно или падает, малейшие различия в удельных весах минерала и жидкости видны прекрасно. Видны пузырьки воздуха, прилипшие к зерну, и включения в падающих или всплывающих зернах, что, конечно, искажает удельные веса минералов. Можно отбросить загрязненные зерна и следить только за совершенно чистым зерном. Оказалось, что для точного определения удельного веса этим методом достаточно одного самого маленького зерна. Словом, все было бы прекрасно, но... Всегда это проклятое «но». Оказалось, что очень трудно удержать жидкость в препарате. Все смонтировано, микроскоп повернут, уже найдено зерно, только начинается наблюдение, и вдруг все потекло, вся жидкость из препарата вытекла, и зерно лежит в сухой лунке. Выругаешься в сердцах, и снова надо делать новый препарат. Только все наладилось, хлоп,

опять на углу стекла капля жидкости, а исследуемый минерал лежит на сухом стекле.

Много дней провел я в поисках формы препарата. Изготавливал специальные кюветы, ямки, шел на всякие ухищрения, а жидкость все-таки вытекала. Наконец мои поиски увенчались успехом, да и метод, удерживающий жидкость, оказался очень простым. Оказалось, что надо смазать края покровного стекла и предметное стекло вокруг лунки вазелином и тогда образуется прекрасный, очень устойчивый препарат, который можно изучать часами!

Пользуясь этим методом, я определил удельный вес гибшита, он оказался равным 3,06. Удельный вес граната в этих же образцах 3,68, а кальцита 2,6. Разница огромная, и ее безусловно можно использовать для выделения гибшита из смеси.

Выделял я этот минерал дважды. Прежде всего, решил воспользоваться соляной кислотой, которая растворяет кальцит и не действует на гранат и гибшит. Обработав песочек соляной кислотой, удалось получить чистые кристаллики гибшита. Затем началось тщательное дробление этих кристалликов в агатовой ступке и просеивание полученного порошка. Отбрасывалась пыль, полученная при дроблении, а зерна, оставшиеся еще достаточно крупными, снова толклись и просеивались, и только средняя часть центрифугировалась в жидкости с удельным весом 3,08. Весь гранат и сростки граната с гибшитом тонули в жидкости, а кусочки чистого гибшита всплывали. Дальше уже разделить минералы было просто. Гибшит с поверхности жидкости снимался, как пенка с варенья. Огорчало только то, что количество извлекаемого таким способом гибшита было очень мало, и чтобы набрать около грамма концентрата, пришлось раздробить примерно килограмм привезенного песочка. Оказалось, однако, что в концентрат все-таки попало немного какой-то грязи, видимо, остаток от разложения цеолитов кислотой.

Тогда я попробовал отказаться от кислоты и только дробил и выделял чистый материал, отделяя его от примесей в тяжелых жидкостях, но и этот концентрат был не очень чист. Осталось здесь еще немного примесей, главным образом кальцита.

Анализы обоих концентратов дали близкие цифры, и

это позволило нам показать, что состав гибшита может быть изображен формулой $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; иначе говоря, этот минерал гораздо богаче кальцием, чем это предполагал Ф. Корню, и крайне интересно, что он очень близок к составу граната, располагающегося в центре; в общем виде состав граната может быть написан так: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$.

Сравните обе формулы, они совпадают почти полностью, разница заключается только в том, что одна группа кремнекислоты, присутствующая в гранате, оказалась замещенной двумя частицами воды. Иначе говоря, гибшит может рассматриваться как своеобразный водный гранат. Позднее американский рентгенолог Пабст изучил структуру гибшита и подтвердил наше предположение о том, что гибшит имеет именно структуру граната.

После этих работ стала понятна главная особенность строения гибшитовых зерен — обязательное нарастание гибшита на кальциевый гранат и закономерное срастание его с последним. Совершенно очевидным представляется, что вначале, когда магматическое тело было еще горячим, мергели, находившиеся с ним в контакте, были сильно прогреты и из пропитывавших их горячих водных растворов вода еще не могла входить в гранатовую структуру — кристаллизовался безводный кальциевый гранат. Позднее, когда массив и его контактная зона сильно охладились, активность кремнезема снизилась и вода смогла встать в гранатовой структуре на часть тех мест, которые занимались до этого кремнием, — вместо нормального граната начал кристаллизоваться гибшит. Поскольку ионы кальция и алюминия, а также большинство ионов кислорода в гибшите занимают то же место, что и в кальциевом гранате, постольку кристаллы гибшита просто продолжают рост кристаллов граната.

Крайне интересно, что подобные же соотношения имели место и в другой группе минералов. Выше говорилось, что в контактных мергелях часто встречаются игольчатые кристаллы волластонита (CaSiO_3), по краям которых развивается ксонотлит — минерал, структурно близкий к волластониту, но отличающийся от него в химическом составе именно содержанием воды ($5\text{CaSiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). И в этом случае при высокой темпе-

ратуре минералообразования, кремнезем гораздо охотнее, чем вода, входил в кристаллическую решетку соединения — образовывался безводный волластонит. При снижении температуры рост кристаллов продолжался, но в структуру их включалась вода — образовывался ксонотлит.

Обратимся теперь к цеолитам; их безводным химическим аналогом являются известково-натровые полевые шпаты, состоящие, как и цеолиты, из окисей натрия, кальция, глинозема и кремния. Однако структурно цеолиты сильно отличаются от полевых шпатов, их структуры очень разнообразны и они очень чувствительны к условиям кристаллизации — давлению, температуре, составу растворов и пр.; каждое, пускай даже очень небольшое, их изменение ведет к кристаллизации нового цеолита — возникает структура, наиболее устойчивая именно в этих новых условиях.

Вместе с тем, несмотря на резкие структурные различия между полевыми шпатами и цеолитами, геологические соотношения у них близки к тем, которые наблюдаются у граната и гибшита. В условиях высоких температур кристаллизуются полевые шпаты, а при более низких, вместо них, возникают цеолиты. Особенно отчетливо это видно на примере магматической породы Никорцминды. Первые выделившиеся в ней минералы представлены крупными, хорошо образованными кристаллами редкого пироксена и известково-натрового полевого шпата. Эти минералы составляют основу строения породы. В процессе кристаллизации безводных пироксена и полевого шпата, количество расплава сильно уменьшалось, но здесь оставалась вся вода, ранее распределявшаяся по всему объему магмы. Можно предполагать, что обогащение водой было настолько велико, что остаточный после кристаллизации безводных минералов продукт следует уже рассматривать не как расплав, а скорее как концентрированный водный раствор. Именно из этого остаточного сильно охлажденного продукта кристаллизовались цеолиты. Кристаллы цеолитов нарастают на ранее выделившиеся кристаллы плагиоклаза и пироксена и в особенности выделяются в промежутках между ними. Весьма интересно, что эти промежутки иногда не заполняются цеолитами полностью; остается в этих случаях

небольшая пустота, видимо, та полость, где остался уже совсем холодный водный раствор.

Кроме выделения цеолитов в промежутках между выделившимися кристаллами, остаточные растворы частично взаимодействовали с ранее кристаллизовавшимися полевошпатовыми кристаллами, растворяя их, с одновременным выделением на их месте различных цеолитов.

Конечно, структурные различия между полевыми шпатами и цеолитами, видимо, несколько осложняют картину, но суть ее в общем та же, что и у других гидросиликатов.

Еще сложнее соотношения между полевыми шпатами и уже несколько раз упоминавшимся минералом апофиллитом — обычным спутником цеолитов. В него одновременно входят окислы калия и кальция — в полевых шпатах этого не бывает; калиевые полевые шпаты, как правило, содержат очень мало кальция, а известково-натровые практически не содержат калия. Вместе с тем, апофиллит — нормальный компонент цеолитовых ассоциаций. Видимо, он концентрирует в себе весь калий, бывший в растворе и не входящий в цеолиты.

Проведенное рассмотрение можно свести к следующей общей формулировке: большинство гидросиликатов, в том числе и цеолиты, являются весьма характерными минералами, кристаллизующимися в условиях малых давлений и относительно низких температур; в этих условиях они образуются вместо структурно близких им безводных силикатов. Ранее выделившиеся кристаллы безводных силикатов могут дорастать кристаллами близких к ним водных силикатов или даже замещаться ими.

В заключение раздела еще несколько слов о гибшите; после того как была расшифрована его формула и были показаны условия, в которых он образуется, мы нашли гибшит еще в нескольких старых образцах, где он ранее пропускался и где минералобразование шло в подобных Никорцминде условиях. Кроме того, на основании литературных данных уже в сороковом году мы предположили, что описанный в двадцатых годах в Америке, в Калифорнии, минерал, названный плазолином, тоже является водным гранатом, тождест-

венным гибшиту. И это предположение впоследствии было подтверждено Пабстом.

В шестидесятых годах мне посчастливилось посмотреть месторождение гибшита «на горе Мариенберг, близ Аусига в Богемии», где он впервые был описан. В настоящее время этот город называется Усти на Лабе (ЧССР). Но и теперь, как и сто лет назад, около него существует крупная каменоломня, разрабатывающая крупный утес, возвышающийся над Лабой. Утес этот сейчас называется Марианска Гора, но, конечно, это та же самая гора Мариенберг.

Результаты осмотра Марианской Горы, куда меня возили мои друзья, чешские геологи, были исключительно интересными. Оказалось, что фonoлит, горная порода, слагающая Марианску Гору, так же как и тешенит Никорцминды, исключительно богат цеолитами, которые выделяются в пустотах породы и в ее основной массе, а также замещают полевые шпаты. Оказалось, что фonoлит здесь внедряется в толщу мергелей на очень небольшой глубине и что гибшит здесь также встречается в контактных мергелях.

Иначе говоря, и чешское и грузинское месторождения относятся к одной и той же цеолитовой фации метаморфизма, а это позволяет более или менее уверенно говорить об условиях формирования в них цеолитов и гибшита.

Сейчас гранаты, содержащие воду, описаны во многих странах мира. Встречаются они везде почти в тех же условиях, что и в Никорцминде. Кроме того, оказалось, что в технике, в цементных продуктах в ряде случаев кристаллизуется шестиводный трехкальциевый алюминат ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), который также имеет кристаллическую структуру граната.

Удивительно интересна эта гранатовая структура — в ней вся кремнекислота замещена водой.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЦЕОЛИТОВ

Не знаю, почему, но мы, собирая в двадцатые годы кристаллы цеолитов в пустотах лав, считали, да, кажется, и читали в учебниках, что кристаллы цеолитов являются «поствулканическими минералами», т. е. ми-

нералами, выделившимися в процессе остывания лавы. Попробую рассказать подробнее, что под этим следует понимать. Для аналогии привлечем к рассуждениям бутылку лимонада. Когда бутылка закрыта, внутри существует давление и углекислота находится в растворе, в воде, но как только пробка будет извлечена из бутылки, давление падает и углекислый газ, выделяясь, образует пузырьки внутри воды, а на поверхности образует пену. Совершенно такой же процесс происходит при излиянии лавы из жерла вулкана. В вулканическом очаге лава находится под большим давлением и летучие вещества — в первую очередь водяные пары, растворены в лаве; иначе говоря, они входят в состав силикатного расплава. В момент извержения, при излиянии лавы на дневную поверхность, давление резко снижается и газы выделяются в толще лавы, давая пузырьки, поднимающиеся кверху, где возникает шлаковая корка, своеобразная застывшая каменная пена. Тогда мы считали, что цеолитовые кристаллы и другие минералы выделялись из летучих веществ, которые содержались в пустотах и должны были представлять собою концентрированные силикатные водные растворы. Все это казалось настолько очевидным, что в голову не приходило никаких сомнений.

Все-таки надо сказать, что некоторые недоумения появлялись у нас и в те далекие годы и, в первую очередь, они были связаны с изучением лав молодых вулканов. Если все рассуждения, о которых только что говорилось, правильны, то среди лав молодых вулканов должны быть цеолитовые кристаллы; мы их здесь усиленно искали и не находили.

В Грузии, Армении и Азербайджане существует много очень молодых вулканов, наиболее известные из них — Казбек, Алагез, Абул, Самсар и другие; вулканы эти полностью сохранили свою конусовидную форму и кратер, на их склонах можно различить отдельные лавовые потоки, сохранившие свою внешнюю поверхность, следы течения, а в составе застывших лав свежее стекло. В этих лавах много газовых пузырей, но ни в одном из них нет никаких минеральных выполнений пустот; цеолитов или других минералов нами здесь никогда встречено не было. Нам ужасно хотелось найти «свеженькие» цеолиты, но все пустоты

в молодых лавах всегда оказывались совершенно пустыми.

Уже через много лет после моих кавказских сборов, в Москве, в 1962 г. в петрографическом научном кружке известный петрограф А. П. Лебедев прореферировал только что вышедшую из печати, весьма интересную работу английского петрографа Г. Уолкера, работавшего долгое время в Северной Ирландии по изучению цеолитов. Г. Уолкер нанес на карту изученного района места находок того или иного цеолита и показал, что разные цеолиты встречаются полосами, захватывающими как лавы, так и слои туфов, лежащие на этих лавах или под ними. По материалам Г. Уолкера, полосы выделения того или иного цеолита, вернее группы цеолитовых минералов, протягиваются поперек толщи лав и туфов мощностью до 1000 м, в которую входят многие пласты этих пород. Отсюда он делает очень интересный и важный вывод о том, что все минералы, в том числе и те, которые встречаются в пустотах лав, образовались уже после того, как была образована вся тысячеметровая толща лав и туфов, в результате воздействия на них более поздних водных потоков. Отсюда и выделения разных цеолитов вдоль некоторых полос — путей движения растворов разных температур.

Для меня этот реферат Алексея Петровича Лебедева был как удар грома, конечно, я не мог согласиться с концепцией Г. Уолкера; я попросил слова и «бросился в бой». Рассказал о Соганлугской осыпи, об ахалцхских и других цеолитах и в обоих месторождениях описал уже известные читателю весьма убедительные примеры того, что выполнение пустот вполне определенно зависит от места, которое занимает пустота в лавовом потоке, а это, по моим тогдашним представлениям, говорило о теснейшей связи цеолитообразования именно с данной лавой. Алексей Петрович сам цеолитами не занимался и в ответ мне мог привести только те соображения, о которых говорил Г. Уолкер; в результате я «торжествовал победу» — большинство специалистов, присутствовавших на заседании, знавших цеолиты только по описаниям, согласились со мной.

Однако «победить» в дискуссии значительно проще, чем написать обоснованную научную статью. В

дискуссии много зависит от умения говорить, быстроты мысли и меткости выражений, а иногда и просто от остроумия ответов. В статье же факты должны говорить сами за себя и доказывать высказанное положение. А вот фактов у меня тогда не доставало. Во время летних работ последующих лет я неоднократно выкраивал время, чтобы вновь и вновь посетить цеолитовые месторождения и проверить на них мои старые доказательства и доказательства Г. Уолкера, и очень скоро убедился, что он прав, а я глубоко ошибался. Об этом говорит отсутствие цеолитов в молодых лавах; затем я еще несколько раз осмотрел датолит-содержащую жилу Соганлугской осыпи. Она явно «наложена» на лаву. Лава должна была застыть, расколоться и только после этого в трещине мог отложиться датолит; кроме того, датолитовая жила захватывает и туфы, которые лежат выше лавы. Значит, эта жила много моложе, чем время извержения лав. Ну а как же быть тогда с теми кристаллами датолита, которые в пустотах в лаве; что это? Что-то новое, образовавшееся гораздо раньше, чем жила. Конечно, нет! Это тот же самый датолит: и в жилах, и в пустотах характер датолита одинаков и ассоциация минералов такая же.

Еще одно наблюдение. Вверху Соганлугской осыпи и Ахалцихской жилы выделения цеолитов наблюдаются не только в пустотах шлаковой лавы, но и переходят в вышележащие туфы — некоторые цеолитовые жилки секут не только лавы, но и вышележащие туфы. Опять-таки и здесь можно говорить, что до образования цеолитов не только должны были полностью застыть лавы, но и образоваться вышележащие толщи туфов.

Ну а как же быть с той специфической приуроченностью определенных цеолитов к определенному горизонту и месту в лавовом теле, о котором я говорил. Такая приуроченность действительно существует, однако и это можно легко понять; лавовая толща трудно доступна для воды и она, медленно фильтруясь, обогащается компонентами лавового потока; чем труднее достижима пустота, тем своеобразнее состав вод, которым удастся сюда попасть. Поэтому проследить цеолитовые пояса Г. Уолкера можно, только

учитывая ассоциацию минералов пустот в легко промываемых породах.

С тех пор прошло много лет и появились новые очень интересные работы, подтверждающие представления о наложенности цеолитов на лавы и туфы. Особенно интересными оказались исследования новозеландских специалистов Д. Кумбса, А. Стейнера и их сотрудников, которые были проведены в начале шестидесятых годов. Тогда в Новой Зеландии, в районе поселка Вайракей начали строить, по примеру Италии, электростанцию на подземном тепле. Выбранный район находится в центре крупной вулканической области, и здесь из-под земли выбивается горячий пар и кипящая вода. Можно использовать и эту воду, но чем горячее вода и в особенности пар, тем дешевле будет термальная энергия, поэтому в районе Вайракей начато было бурение глубоких скважин с тем, чтобы получить наиболее горячий пар; при этом удалось изучить современное цеолитообразование. Оказалось, что из этих приповерхностных очень горячих вод* цеолиты выделяются даже в буровых трубах. Одновременно идет замещение вмещающих пород цеолитами и минералами, образующимися совместно с ними (кальцитом, хлоритом и др.). Особенно легко замещается в этих условиях вулканическое стекло. Д. Кумбс даже начал писать о «цеолитовой фации» метаморфизма, подчеркивая этим самым ту важную особенность, что в условиях низких давлений и умеренных температур (100—200°C) наиболее устойчивыми алюмосиликатными минералами являются именно цеолиты.

В послевоенные годы исследования по выявлению

* Хочу подчеркнуть, чтобы у читателя не получилось путаницы, что в обоих случаях, где сделаны ссылки, речь идет об одних и тех же температурах, но «измеряются» эти температуры с разных точек зрения. Вода и пар, выходящие из источника (или из глубокой скважины) с температурой в 100—200°C, с точки зрения гражданина, использующего эту воду для нагревания теплиц или для бань, очень горячая, но для геолога, обсуждающего поведение воды в глубинных процессах, эта вода довольно холодная. Магматические процессы порождают воду или пар, вернее водный флюид, с температурой порядка 600°C и выше. Это примечание следует иметь в виду во всех случаях, когда идет речь о «холодной» и «горячей» воде. Всегда следует учитывать, с чьей точки зрения она горяча, а с чьей холодна.

возможностей использования подземного тепла проводились на Камчатке и дали интересные результаты: оказалось, что цеолиты выделяются из горячих вод не только в буровых трубах, но и на поверхности речных галек, в тех местах, где горячие источники вытекают в воду реки. Кроме того, выяснилось, что цеолиты замещают и стекло, и полевые шпаты в лавах и туфах, а в трещинах выделяются кристаллические щетки, совершенно такие же, как щетки десмина в Сололакском овраге.

До сих пор все наши рассуждения относились к месторождениям, в которых встречаются интересные для любителя камня минералы и крупные хорошо образованные кристаллы. Однако в последние годы стало ясно, что наибольшие количества цеолитов накапливаются в пластовых месторождениях, где весь пласт, залегающий среди нормальной осадочной толщи, полностью сложен цеолитами, но сколько-нибудь четких кристаллов здесь нет; только мелкие микроскопические выделения этих минералов. Находка цеолитов, составляющих толщи в слоистых породах, была настолько неожиданной, что, несмотря на длительное изучение этих пород и даже их промышленное использование, характер минералов, слагающих эти природные материалы, долго оставался неясным.

Впервые цеолиты в осадочных породах, как это ни странно, были открыты в морских осадках, еще в конце прошлого столетия. Тогда, во время первых океанографических экспедиций, было поднято довольно большое количество образцов со дна океана, и в некоторых из них, взятых в центральной части Тихого океана, а также в Индийском океане, были найдены выделения цеолитов. Позднее встречены были цеолиты и в некоторых, очень редких, осадочных породах Америки, и, наконец, уже в годы войны, у нас на Урале. Но все время эти находки рассматривались как редчайший и совершенно неожиданный случай. Однако число таких находок в конце пятидесятых годов стало резко увеличиваться, а в начале семидесятых годов в Туркмении, на Кавказе, в Крыму и во многих других районах нашей страны начали находить пласты, сложенные целиком или почти целиком цеолитами. Одновременно такие же пласты были найдены и за

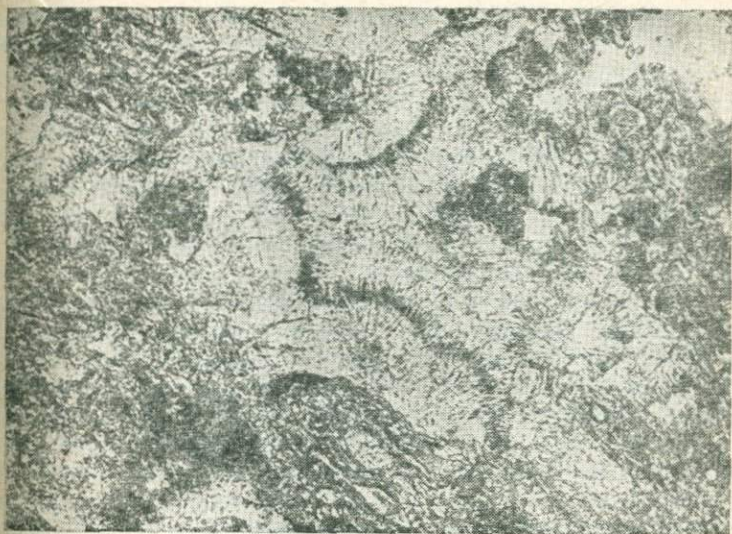


Рис. 16. Строение туфов в районе пос. Цихис-Убани, Грузия.

Видно стекло, частично замещенное цеолитом, и выделение игольчатых цеолитов (клиноптилолита), выделившихся в пустотах между стекловатыми обломками. Снимок в световом микроскопе, увеличение 50 раз

рубежом: в Америке, на о. Куба, в Болгарии и во многих других местах. Таким образом, выяснилось, что это отнюдь не случайность и не какая-нибудь чрезвычайная редкость.

Выяснилась еще одна весьма важная особенность цеолитовых пород. Детальное изучение их под микроскопом показало, что цеолиты развиваются по своеобразным рогулькам или по пузыристой массе (рис. 16). Как правило, сейчас от первоначального вещества, слагавшего «рогульки» и пузыристую массу, ровным счетом ничего не осталось, все замещено цеолитом, однако форма этих «рогулек» и пузыристой массы весьма характерна. Именно такую форму дает вулканический пепел, выбрасываемый вулканами в стадии взрывных извержений. Пузыристая масса также имеет в точности тот же характер, что и обычные пемзы, — также продукт вулканических извержений. Таким образом, становится ясно, что все цеолитовые пласты первоначально отложились как накопление

вулканического пепла иногда с примесью пемзы и только потом, видимо, опять-таки под действием горячих вод, этот пепловый материал — стекло, богатое кремниевой кислотой, заместилося цеолитом. И в тех случаях, когда в осадочных породах цеолиты встречаются в небольших количествах, всегда удавалось обнаружить некоторое количество вулканического пеплового материала. Изучение цеолитовых пластовых горных пород сейчас только начинается, и можно ожидать новых интересных открытий.

Теперь несколько слов о цеолитообразовании в Никорцминде. Проще всего было бы предположить, что и здесь кристаллизация связана с воздействием поздних горячих растворов, циркулировавших по породе. Но этому противоречат имеющиеся факты: 1) цеолиты строго приурочены к району месторождения и охватывают только магматическую породу и прилегающие к ней мергели (подобные же мергели, расположенные на достаточном удалении от месторождения, совершенно никаких изменений не несут); 2) в породе первыми выделяются безводные пироксен и полевые шпаты, а более поздние цеолиты, участвующие в структуре породы, выполняют промежутки между безводными минералами.

Минералого-петрографическая специфика пород Никорцминды и Марианской Горы, а также их контактов, заключающаяся в присутствии в обоих случаях водных силикатов, объясняется, видимо, двумя моментами: во-первых, очень малой глубиной кристаллизации этих интрузивов, а во-вторых, большим количеством воды в кристаллизовавшейся магме. Наиболее важной, конечно, является малая глубина и, в связи с этим, малое давление, под которым шла кристаллизация водных минералов.

И в случае гибшит-цеолитовых месторождений очень хорошо проявляется та же, что и ранее, особенность цеолитов: кристаллизация их в условиях низких давлений и низких температур. В известной мере это отвечает рассмотренным выше представлениям Д. Кумбса о «цеолитовой фации» метаморфизма.

После того как в лабораториях удалось получить высокие и сверхвысокие давления, стало ясно, что характер минералообразования в значительной степени,

больше чем даже предполагалось ранее, определяется величиной давления. Оказалось, что все привычные минералы горных пород, слагающих земную кору (так называемые породообразующие минералы), являются минералами, характерными для умеренных давлений. При повышенных давлениях они переходят в новые минеральные формы, как правило, обладающие большей плотностью, чем минералы, образующиеся при умеренном давлении. Например, при давлениях порядка 15 тыс. атм из расплава вместо обычного плагиоклаза кристаллизуются пироксен и гранат. То же имеет место и в случае свободной кремнекислоты: в условиях умеренных давлений кристаллизуется кварц, имеющий плотность $2,6 \text{ г/см}^3$, при давлении около 30 тыс. атм кристаллизуется коэсит, имеющий плотность $2,93 \text{ г/см}^3$ и тот же состав. Еще большие давления, порядка 100 тыс. атм приводят к кристаллизации стишовита, плотность которого $4,35 \text{ г/см}^3$. Иначе говоря, минералы, обычные для земной поверхности, являющиеся фазами умеренных давлений, переходят с увеличением давления в фазы высоких и сверхвысоких давлений.

Цеолитообразование и кристаллизация других гидросиликатов являются, видимо, также проявлением этой закономерности. Все эти минералы можно рассматривать как минералы «сверхнизких» давлений, образующиеся, кроме того, в условиях избытка воды. Все минералы-спутники цеолитов и сами цеолиты характеризуются исключительно низкими плотностями.

В свете разбираемых соотношений может быть интересен еще один факт. В ряде случаев породы, образовавшиеся на земной поверхности, оказываются опущенными глубоко в толщу земной коры и погребены под толщей более поздних осадков; в этих условиях породы метаморфизуются, т. е. изменяются под действием господствующих здесь относительно малых давлений и температур глубин Земли. Изучая такие метаморфические породы, можно видеть, что цеолиты, ранее выполнявшие полости этих пород, даже при относительно слабом метаморфизме перешли в тот или иной полевой шпат, сохранив зачастую форму своих выделений.

Иначе говоря, в условиях дневной поверхности по-

левые шпаты неустойчивы и переходят в цеолиты; в условиях же более высоких давлений и температур цеолиты неустойчивы и переходят в полевые шпаты.

ЦЕОЛИТЫ — ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Когда я начинал изучать цеолиты, то меня и моих товарищей интересовали, в первую очередь, красивые кристаллы. Потом, когда нам стала ясна глубокая геологическая значимость цеолитов и когда под влиянием наших замечательных минералогов В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана минералогия начала превращаться в науку, интересующуюся путями образования и изменения минералов, мы вплотную подошли к проблеме взаимоотношений плагиоклазов и цеолитов, и нас уже начали прежде всего интересовать условия образования цеолитов и не решенный еще полностью вопрос, почему вместо обычных в природе полевых шпатов возникают кристаллы цеолитов.

Изучению цеолитов посвящены были многие десятки и сотни работ, но все они рассматривали особенности состава этих минералов и их структуру. Особенно необычна оказалась структура цеолитов. Само название этой группы минералов происходит от греческого *ζεωσις* — кипение и связано с тем, что минералы эти при быстром нагревании их до 1000—1200°C вспучиваются — вскипают.

Минералогическая номенклатура создавалась в основном в конце восемнадцатого—начале девятнадцатого века; тогда главным прибором для получения в лаборатории высоких температур была ювелирная паяльная трубка («пипка»). Это металлическая трубка, изогнутая на конце под прямым углом, с тонким отверстием. Исследователь брал в рот широкий конец, а узкий помещал в пламя спиртовки или свечи, и в зависимости от того, куда помещался конец трубки и насколько сильно в нее дули, можно было получить очень горячее пламя с избытком горючего вещества, восстанавливающее многие металлы, или, наоборот, относительно холодное, богатое кислородом, которым можно окислить некоторые сульфиды металлов. В руках опытного экспериментатора паяльной трубкой можно было делать чудеса; к началу нынешнего века была

разработана почти полная методика качественного анализа минералов с помощью паяльной трубки и простейших химических реактивов.

Если тонкий обломочек цеолита ввести в самое горячее место пламени паяльной трубки, то он очень быстро сплавляется, после чего вода из продолжающих нагреваться внутренних частей минерала не может выйти на воздух, она вздувает это новообразованное стекло, и кусочек цеолита перед паяльной трубкой начинает увеличиваться в объеме, изгибаться, местами в нем появляются боковые вздутия, а иногда и довольно большие выросты. Эта особенность минерала, свидетельствующая о его легкоплавкости и содержании в нем воды и дала название всей минеральной группы.

Присутствие воды — характернейший признак цеолитов — можно обнаружить и иначе. Если на дно пробирки насыпать порошок цеолита и осторожно нагреть его так, чтобы верхняя часть пробирки осталась холодной, то очень скоро вода, выделяющаяся из нагревающегося цеолита, в виде капель осядет на холодных стенках пробирки.

Вода в цеолитах имеет еще одну особенность. Если нагревание цеолита относительно невелико и не превышает $300\text{--}400^\circ$, то из цеолита постепенно выделяется значительная часть содержащейся в нем воды, при этом структура цеолита не разрушается, и если после охлаждения или в процессе охлаждения минерал будет помещен во влажную атмосферу, он снова очень активно поглощает воду и восстанавливает все свои свойства. Такая легко отдаваемая и вновь восстанавливаемая вода в структуре минерала получила даже название «цеолитной воды». Своеобразны и некоторые другие свойства цеолитов. Они, например, как оказалось, очень легко подвергаются так называемому ионному обмену; в результате обработки цеолита растворами, содержащими какой-либо катион (металл), присутствующие в составе минерала щелочи и щелочные земли могут заменяться этим новым катионом, даже таким, как серебро.

Причина этих необычных особенностей цеолитов заключается в их структуре. Для структуры цеолитов, как и для структуры полевых шпатов, характерен алюмосиликатный каркас, в котором каждый ион алюми-

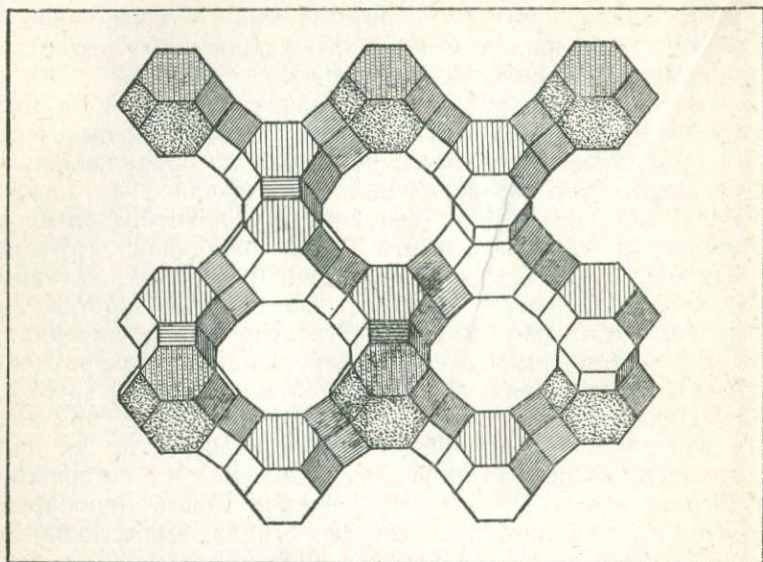


Рис. 17. Структура цеолита (фаязита).

Видны широкие каналы, благодаря которым цеолиты используются в качестве молекулярных сит

ния или кремния окружен четырьмя ионами кислорода, а каждый ион кислорода, в свою очередь, связан с двумя ионами этих металлов. Избыточные отрицательные ионы * компенсируются ионами натрия, кальция или реже калия. Как в структуре полевого шпата, так и в структуре цеолитов эти ионы располагаются в плоскостях кремнекислородного каркаса. В структуре полевого шпата такие полости очень малы, тогда как в структуре цеолитов эти полости крупные и зачастую сообщаются между собой (рис. 17). В структуре многих цеолитов присутствуют и каналы, пронизывающие всю кристаллическую постройку. Отсюда и большая относительная легкость цеолитов (напомним, что плотность полевых шпатов около $2,6\text{--}2,7\text{ г/см}^3$, а цеолитов $2,1\text{--}2,2\text{ г/см}^3$, редко выше). К этим каналам и полостям у

* Напомним, что алюминий трехвалентен и, таким образом, может компенсировать только три, а не четыре кислородных заряда. В результате один заряд кислорода остается «избыточным».

цеолитов приурочены щелочные и щелочноземельные катионы, а также молекулы воды; последние сравнительно слабо связаны с каркасом и катионами, и поэтому могут свободно удаляться по каналам без разрушения связей каркаса — это и создает способность цеолита терять воду и набирать ее обратно.

Так как катионы щелочей и щелочных земель располагаются более или менее свободно в полостях и доступны по структурным каналам, а также то, что они почти не участвуют в строении каркаса, все это обуславливает легкость ионного обмена. Конечно, замена одного иона в минерале на другой несколько меняет свойства самого минерала.

Каналы цеолитов, как правило, не однородны, в них местами встречаются широкие полости, а местами они, наоборот, сильно сужаются. В полости по каналам могут проникать и здесь задерживаться различные катионы и молекулы. Чем шире каналы в их наиболее узких местах, тем крупнее могут быть молекулы, проникающие в полость. У некоторых цеолитов эти каналы так велики, что в них могут проникать некоторые органические молекулы, иначе говоря, цеолиты могут выполнять роль «молекулярных сит», отделяя малые молекулы, которые могут проникать в их каналы, от более крупных, которые туда не проникают. Каждый цеолит характеризуется верхним пределом молекул, которые могут в него проникать.

Наибольшие полости из естественных цеолитов отмечены у очень редкого цеолита — фюзита (или, как теперь пишут его название — фожазита) и достигают $9 \cdot 10^{-10}$ м.

Способность цеолитов, потерявших воду, поглощать ее обратно из разных сред, а также молекулярно-ситовая способность — способность избирательно адсорбировать некоторые вещества, была замечена довольно давно, но только около 10—15 лет назад (в самом начале пятидесятих годов) начала практически использоваться. Цеолиты с крупными каналами начали синтезироваться в заводских условиях в виде мельчайших кристалликов, из которых с помощью связующих веществ изготовляют гранулы, таблетки или шарики, применяемые в различных отраслях химической и нефтяной промышленности. В частности, синтетические

цеолиты используются для осушки различных газов, для выделения некоторых веществ (этилена и пропилена) из газов коксования, для разделения газовых смесей, очистки различных мономеров перед их полимеризацией и для улучшения бензина, и даже как наполнитель некоторых резин.

Следует, однако, отметить, что синтетические цеолиты являются совсем недешевыми веществами и их количества измеряются килограммами.

К началу семидесятых годов, когда синтетические цеолиты получили уже достаточно широкое применение в промышленности, относится и предложение казанских геологов, среди которых наиболее активная роль принадлежит А. Михайлову, использовать вместо искусственных цеолитов природные их разновидности.

Справедливости ради следует указать, что мысль об использовании природных цеолитов в качестве адсорбента была высказана еще в 1940 г. акад. А. А. Твалчрелидзе. Испытывая цеолитовые (ломонтитовые) породы, он показал их перспективность, однако в те предвоенные годы достижение исследователей не нашло отражения в промышленности.

С принципиально иным положением столкнулись казанские геологи. Им предстояло решить новую геологическую задачу, выявить наиболее перспективные цеолитовые породы и показать возможность использования их в промышленности. Казанские геологи начали поиск богатых цеолитом пород как среди осадочных, так и среди вулканических пород, и очень скоро в районе заповедника Бадхыз в Туркмении им удалось найти породу, первоначально состоявшую из вулканического стекла, впоследствии нацело замещенного цеолитом. Образование таких пород шло в два этапа; на первом этапе в море или в какой-либо другой водоем выпадал стекловатый вулканический пепел, а немного позднее, когда порода была уже прикрыта более молодыми осадками, в ней циркулировали горячие растворы, которые переводили вулканическое стекло пепла в цеолиты. Попутно тот же цеолит, который замещал стекло, кристаллизовался в пустотах пепловых частиц и между ними. Все это привело к образованию своеобразных сильно пористых пород, но довольно однородных и прочных. Однако эти породы из Бадхыза не могли слу-

жить промышленным сырьем, так как они находятся на заповедной территории.

Открытие бадхызских цеолитовых пород, тем не менее, было большим успехом геологов. Это открытие показало возможность поисков в природе почти чистых цеолитовых пород. В их поиск включились геологи других перспективных районов нашей страны. В Крыму в древнем вулканическом массиве Карадаг были открыты слои нацело цеолитизированных вулканических пеплов. Велики успехи геологов Грузии, которые в дополнение к ранее известным существенно ломонтитовым — цеолитовым породам окрестностей Тбилиси, около села Дзегви нашли породу, сложенную почти нацело из цеолита — клиноптилолита. Клиноптилолитовую породу нашли и азербайджанские геологи у гор Тауз. Армянские геологи нашли у себя породу, состоящую из морденита.

В результате поисков выяснилось, что, «вновь найденные» цеолитовые породы, мы прекрасно знали и ранее, но в свое время не была определена их цеолитовая природа, их считали просто особым видом пеплового туфа. Так, например, в Карадаге (Крым), в Таузе (Азербайджан) и в Дзегви (Грузия) существуют старые карьеры, в которых добывались именно эти цеолитовые породы, использовавшиеся близлежащими цементными заводами в качестве активной добавки к цементу. Случайно это или нет? Думаю, что нет; в цементе, особенно подвергшемся гидратации, встречается довольно много минеральных новообразований, очень близких к цеолитам, и природные цеолиты, видимо, играли роль затравки, облегчающей кристаллизацию.

Конечно, в последние годы цеолитовые породы искали не для использования их в цементном производстве. Появилась возможность замены естественных цеолитовых пород искусственными цеолитовыми адсорбентами. Тем не менее и сейчас продолжается использование цеолитовых пород в цементной промышленности. По данным американских сводок в 1975 г., в цементе используется примерно две трети всех добытых цеолитовых пород.

Наиболее перспективно употребление естественных цеолитов для глубокой осушки горючих газов, перека-

чиваемых по газопроводу. При огромных расстояниях, на которые перекачивается газ, в особенности по холодным частям Сибири, где газопровод зачастую проложен в вечной мерзлоте, вода в газе представляет очень большую опасность; при охлаждении влажного газа о холодные стенки труб газопровода вода будет выпадать в виде инея на стенках труб. В результате длительной эксплуатации трубы могут оказаться полностью забитыми льдом; ток газа прекращается, и приходится долго искать место, где образовалась ледяная пробка, но найти эту пробку еще не все — ее надо убрать из трубы и восстановить движение газа. Особенно опасна здесь задержка подачи газа в тот или иной промышленный центр. Проще и безопаснее освободить газ даже от следов воды; вот тут и может помочь естественная цеолитовая порода. На станции перекачки газа ставится батарея цилиндров, наполненных крупной из дробленых цеолитовых пород. Первоначально цеолит обезвоживают, пропуская через него нагретый газ. Такой цеолит энергично поглощает даже следы влаги, и газ, пройдя цилиндр с обезвоженным цеолитом, поступает в газопровод совершенно обезвоженным. Однако для проверки после обезвоживающего цилиндра ставится газоанализатор, и, как только через него «проскочит» хотя бы ничтожная порция влаги, оператор должен перевести ток газа в запасной цилиндр, с только что обезвоженным цеолитом, а старый уже поглотивший воду цеолит «регенерируют»; через него снова пропускается нагретый газ, и после дегидратации цеолит первого цилиндра снова готов для обезвоживания газа.

Естественные цеолиты могут использоваться и для очистки сточных вод от загрязняющих их веществ; после этого цеолит может подвергаться регенерации, примерно так, как это описано при рассмотрении дегидратации газа, а извлеченные из него концентрированные загрязнения могут быть или использованы или захоронены. Ну, а если извлечь загрязнения из цеолита трудно, то возможно захоронение загрязнений вместе с использованным цеолитом. Уже вырисовываются методы использования естественных цеолитов при очистке разных газов: сероводорода, углекислоты, бутана или газов сернокислого производства.

ГДЕ ИСКАТЬ ЦЕОЛИТЫ

Охарактеризованные выше месторождения цеолитов были выбраны не потому, что это единственные места, которые я рекомендую посетить. Конечно, нет. Просто эти месторождения ближе всего автору и на них формировалось его мировоззрение. Вместе с тем, это, безусловно, очень типичные месторождения, и другие точки, откуда собирали цеолитовые кристаллы, как в нашей стране, так и за рубежом, могут быть параллелизованы с тем или иным выходом из описанных выше.

Кроме описанных мест цеолиты широко распространены на Кавказе и в Закавказье, особенно там, где развиты древние юрские или третичные вулканогенные толщи. Замечательные образцы цеолитов можно найти в шаровых лавах вдоль дорог из Кобулет в Зерабосели, в калибазальтовых туфах вблизи Цихис-Дзири и Чаквы. Около города Махарадзе (в Гурии) клиноптилолит является главной составной частью туфов, слагающих скалы под крепостью в урочище Цихис-Убани. Можно найти цеолиты в пустотах лав по дороге из Чохатаури в Ланчхути.

Окрестности Кутаиси также прекрасное место для поисков цеолитов — здесь они встречаются в очень хороших кристаллах в каменоломне тешенитов около Курсеби (цеолиты выделяются в миароловых пустотах тешенита и замещают полевые шпаты). Известнейшим месторождением цеолитов являются вулканические туфы окрестностей сел. Гвиштиби, близ курорта Цхалтубо. Очень большой известностью как месторождение красивых кристаллов анальцима пользуются окрестности ст. Шорапань в Западной Грузии. Известны цеолиты в вулканогенах, выходящих вдоль р. Чхеримела и в районе Сурамского перевала. Отсюда недалеко до Боржомского ущелья и до уже описанного района г. Ахалцихе; в Боржомском ущелье многие потоки лав содержат пустоты с кристаллами цеолитов. Но особенно популярны цеолитовые породы, обнажающиеся по дороге из г. Бакуриани на перевал Цхра-Цхаро. Сюда туристы из Бакуриани ходят смотреть восход солнца; спускаясь обратно, уже при солнце, стоит покопаться в обнажениях вдоль шоссе. Следует только иметь в виду,

что цеолиты встречаются не в молодых лавах, развитых на самом перевале, а в более древних лавовых потоках, подстилающих первые. Находил я цеолиты близ города Джави в Южной Осетии.

Туристу, который захочет побродить в горах Грузии и поискать там кристаллы цеолитов, можно рекомендовать книгу Г. В. Гвахария, где описано большинство грузинских цеолитовых месторождений.

Менее известны цеолиты Армении и Азербайджана, но и здесь хорошие штуфы можно найти во многих местах. Видел я красивые кристаллы цеолитов в Армении, из района города Иджевана, где дороги пересекают вулканические толщи. Находил я их в ущелье Тарсачай и на берегах оз. Севан, в вулканогенных породах, среди шаровых лав, и в газовых пустотах среди лавовых образований.

В Азербайджане наиболее интересны для коллекционера северные склоны Малого Кавказа и Нагорный Карабах. Богаты цеолитами лавы и туфы Шахдагского хребта. Описаны красивые цеолитовые щетки из пустот в лавах Ленкорани.

Трудно сейчас перечислить все сколько-нибудь интересные точки, в которых можно найти хорошие образцы. Поиски интересных образцов — это всегда творчество, и если хотите, спорт. «Везет» удачливому, сильному, смелому и умелому.

Вне Кавказа большой известностью пользуются месторождения Крыма. Этот район был местом исследования молодого А. Е. Ферсмана, который описал многие месторождения окрестностей Симферополя, где встречаются кристаллы ломонтита, леонгардита и десмина. С особенной любовью описывает А. Е. Ферсман Курцовскую каменоломню. Существует ли она теперь, или нет, я не знаю, но образцы там попадались действительно замечательные. Кристаллы цеолитов в Крыму не очень большие, обычно около 1 мм, но прекрасно огранены. Здесь, в частности, был описан уникальный барийсодержащий цеолит — уэльсит. После А. Е. Ферсмана цеолиты Крыма изучал украинский минералог М. Н. Шкабара и его описаниями можно пользоваться как путеводителем по месторождениям цеолитов Крыма. Кроме окрестностей Симферополя, кристаллические цеолиты описываются у Георгиевского монастыря, по

реке Альме и в массиве горы Карадаг. Уже упоминалось, что издавна известные в этом районе «трассы» Карадага, которые одно время добывались и использовались как активная добавка к цементу (добавка, повышающая прочность цемента и позволяющая ему схватываться в воде), оказалась существенно цеолитовой породой. Это довольно красивая светло-зеленая однородная порода, но кристаллов цеолитов среди трассов не описывалось.

Урал исключительно беден цеолитами, хотя в коллекциях существуют отдельные уральские образцы цеолитов. Описывались они и многими исследователями Урала. Интересную сводку на этот счет дал А. Е. Ферсман. Цеолиты указываются в окрестностях Богословского завода и в районе Изумрудных копей. Встречались они в пустотах некоторых пегматитовых жил и в некоторых других местах. Однако во всех случаях уральские цеолиты — мельчайшие, очень невыразительные кристаллы. Для Урала цеолиты — редкая экзотика, и не здесь их следует собирать коллекционеру.

Замечательные образцы цеолитов дают трапповые области Сибири. Однако лучшие штуфы, которые не откажутся выставить самые известные музеи мира, конечно, происходят из Тунгусского бассейна. Здесь иногда находят совершенно уникальные образцы (рис. 18, 19). Мне приходилось видеть привезенные оттуда очень хорошо образованные кристаллы десмина до 5—15 см в длину и прекрасно ограненные «шары» анальцима, по размерам превышающие теннисный мяч. Исключительно красивы происходящие оттуда штуфы различных волокнистых цеолитов, среди которых в первую очередь должен быть упомянут морденит. К сожалению, однако, все это были разрозненные образцы, вывезенные тем или иным специалистом, но нигде мне не удалось найти хорошо подобранную генетическую коллекцию тунгусских цеолитов; нет и их полных описаний. Цеолиты Тунгусского бассейна заслуживают самого внимательного изучения.

В старых коллекциях имеется очень много прекрасных образцов цеолитов, главным образом розового и красного десмина «из окрестностей села Малый Куналей». Виденные мной образцы — типичное выполнение газовых пустот в лавовом потоке. Кристаллы отсюда

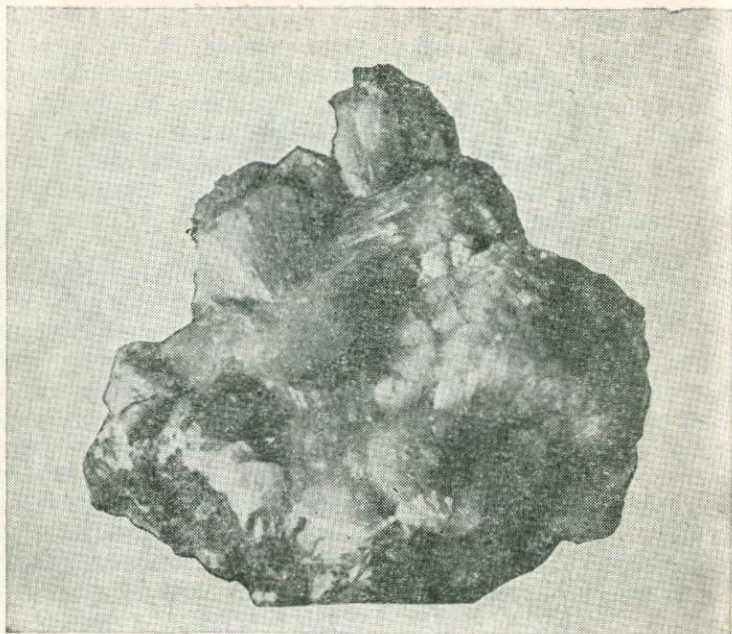


Рис. 18. Кристаллы десмина из Тунгусского бассейна (фото Е. И. Гуриновой).

достигают иногда нескольких сантиметров. В сводке А. Е. Ферсмана это месторождение описывается как одно из самых замечательных месторождений цеолитов в нашей стране. Конечно, каждый любитель цеолитов мечтает посмотреть это месторождение, мечтал и я об этом, но до сих пор мне это не удалось. По словам бывалых людей, месторождение очень легко доступно и отдельные его участки выходят на Кяхтинский тракт, в немногих десятках километров от Кяхты. А. Е. Ферсман указывает, что цеолиты здесь встречаются «по р. Хилок, у слияния рек Чикоя и Хилка», а также у «Троицкосавска».

В новой литературе мне не приходилось видеть хороших описаний этих месторождений. Очень жаль. Эти месторождения явно заслуживают хорошего описания.

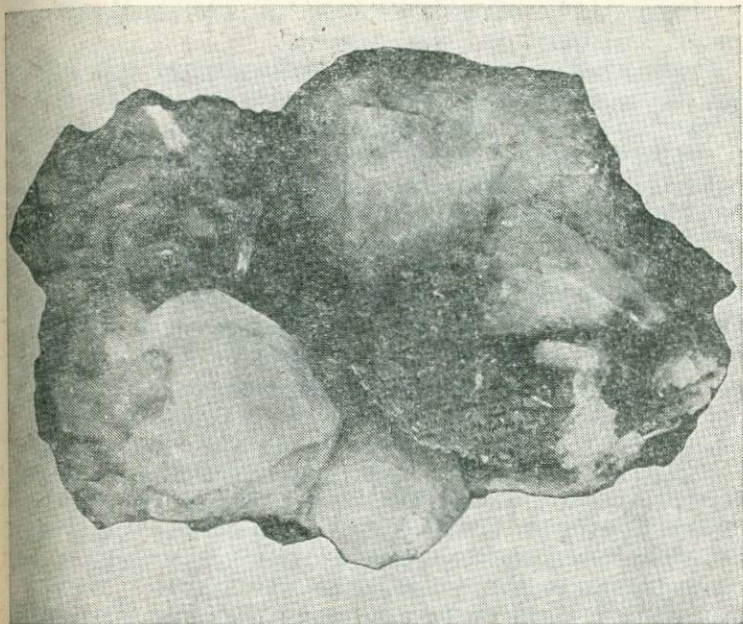


Рис. 19. Анальцим (светлое) и гейландит (образец Ю. И. Дмитриева).

До сих пор очень плохо изучены цеолитопоявления Дальнего Востока и Приморья. Станным образом, здесь не было достаточно активных любителей камня, которые специально занялись бы сбором и описанием цеолитов этого региона. Геологическое строение здесь таково, что можно ожидать много интересных открытий. Есть и отдельные указания на находки здесь цеолитов. Отмечается, в частности, богатство цеолитами Охотского побережья и долины реки Мареканки. В музее Приморского геологического управления есть хорошие кристаллы десмина и ломонтита из района г. Дальнегорска. Здесь широко развиты и шаровые лавы, однако гидротермальное перерождение их очень слабое, везде сохранилось вулканическое стекло, оно залегает даже в межшаровых частях шаровых лав. Цеолиты здесь или вообще не встречаются, или редки.

Имеются указания на находки цеолитовых кристаллов на Сахалине.

Совершенно уникальной областью цеолитовой минерализации является Камчатка. Самое интересное здесь то, что в этой области встречаются современные цеолиты, отлагающиеся буквально на глазах исследователя.

Говоря о Камчатке, следует еще остановиться на одной весьма интересной и пока не решенной минералогической загадке. Несколько лет тому назад А. Стейнер описал из новозеландских термальных полей новый цеолитовый минерал, который он назвал вайраkitом по местности Вайракей, где впервые были найдены его кристаллы. Химически и по формам кристаллов, а также по структуре вайраkit очень близок к анальциму, однако вместо натрия в нем в качестве основания присутствует кальций. Вайраkit найден и в ряде других мест, в частности на Камчатке, но везде в областях распространения современных гидротерм. У нас в Советском Союзе очень много прекрасных древних цеолитовых месторождений, но нигде вайраkit не указывался; что это — малая внимательность исследователей или проявление одного из пока неизвестных законов природы? Загадку вайраkitа, очевидно, придется решать исследователям в дальнейшем. Может быть она заинтересует кого-нибудь из читателей моих рассказов?

Кроме современных цеолитовых полей в области развития гидротерм на Камчатке существуют месторождения, приуроченные к вулканогенным месторождениям прошлого, но пока в литературе имеются только отдельные отрывочные указания.

Наиболее восточной областью нашей страны, где описаны цеолиты, являются о. Беринга и о. Медный — «самый-самый край света» Советской земли. С о. Медного еще в начале века был описан очень своеобразный по химическому составу цеолит, названный в честь Г. В. Стеллера, естествоиспытателя, изучавшего Камчатку еще в восемнадцатом веке, стеллеритом. Особенность этого цеолита заключается в необычном отношении содержания кремнезема к глинозему. Об этом минерале было очень много споров и одно время от этого названия отказались, считая, что это просто плохо анализированный десмин. Но все эти споры обычно велись на

основании изучения образцов, происходящих из самых различных мест. Оригинальные образцы с о. Медного изучены все-таки относительно плохо, их практически нет в музеях, и конечно, здесь стоит поискать, собрать и изучить этот интереснейший минерал.

Выше обращалось внимание главным образом на месторождения, связанные с вулканогенными толщами и их переработкой горячими растворами. В природе же существует еще один тип цеолитовых месторождений, дающий прекрасные образцы, но пока относительно плохо изученный — это цеолитообразование, приуроченное к так называемым щелочным породам. Видимо, в ряде случаев цеолиты образуются в результате воздействия на материнскую породу холодных поверхностных вод (так называемое выветривание), однако в описаниях месторождений нет в этом особой уверенности.

Щелочными обычно именуются те магматические горные породы, в химическом составе которых щелочей и щелочных земель содержится больше, чем это требуется для связывания всего кремния в полевой шпат, и тогда в породе вместо полевого шпата кристаллизуется нефелин, содержащий меньше кремния, чем полевой шпат (сравните формулу нефелина $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ с формулой альбита — натрового полевого шпата — $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). Нефелин, выветриваясь, переходит в так называемый шпреуштейн, агрегат различных, пока не определенных точно, цеолитовых минералов. Шпреуштейн — это очень некрасивые, непрозрачные массы белого, розового цвета, образующиеся на месте ранее бывших кристаллов нефелина. Вряд ли они привлекут внимание коллекционеров, хотя для исследователя они довольно интересны. Шпреуштейн описывается буквально во всех щелочных массивах. Известен он в Ильменских горах на Урале, в нефелиновых породах Кузнецкого Алатау и конечно в породах щелочных массивов Кольского полуострова. Здесь, однако, есть и более интересные для коллекционера цеолитовые образования. В Хибинских горах встречаются изумительные по красоте кристаллы натролита (рис. 20); и если в вулканогенах других мест натролит образует тончайшие иголки длиной 1—2 см, в Хибинах встречаются кристаллы длиной 4—5 см при толщине до 2 см. Обычно это прекрасно образованные четырехгран-

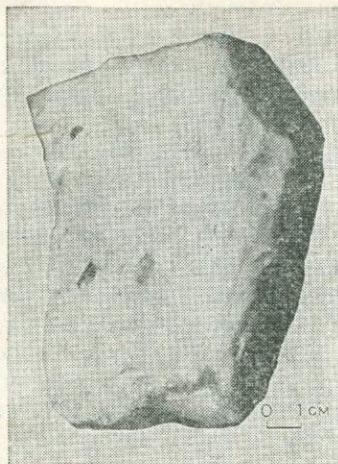


Рис. 20. Натролит из жил среди нефелиновых сиенитов. Хибинские тундры

ные призмы, квадратные в сечении, ограниченные плоской четырехгранной пирамидкой. Грани кристалла иногда чистые и блестящие. Такие кристаллы украсят любую коллекцию.

В приведенном обзоре, по необходимости очень кратком, можно было перечислить только очень немногие, самые известные месторождения цеолитов. Любое из них посетить интересно, однако гораздо интересней найти новое, мало изученное проявление с красивыми кристаллами. И я, наверное, не ошибусь, если скажу, что радостей у «охотника за камнем» не меньше, а может быть и больше, чем у других охотников и рыболовов.

Цеолиты принадлежат к числу красивейших минералов, и я очень рекомендую читателю при случае в музеях всегда знакомиться с коллекциями цеолитов. Помимо красоты образцов, очень полезно просто запомнить форму кристаллов и их скоплений; по общей форме кристаллов цеолиты определяются иногда гораздо проще и точнее, чем «точными» лабораторными методами.

АСБЕСТ — ГОРНЫЙ ЛЕН

ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Я не люблю давать в руки гостей образцы асбеста, особенно хорошие. Не подумайте, что я «жадина», нет, у меня бывает много гостей, и с многими из них приходится вести длинные и иногда очень интересные разговоры о камне, и обычно такой разговор оканчивается осмотром образцов. При этом образец надо обязательно взять в руки, оценить его тяжесть, по которой можно судить об объемном и удельном весе, почувствовать его теплоту, по которой можно судить о теплопроводности камня; камень, хорошо проводящий тепло, будет всегда холодным, а обладающий плохой проводимостью будет теплым на ощупь. Кроме того, образец в руке всегда можно повернуть по отношению к свету так, чтобы лучше увидеть характер граней, оценить их ровноту, их блеск и цвет. Словом, не подержав образец в руке, нельзя говорить о том, что Вы его рассмотрели.

И все-таки, я не люблю давать в руки гостей образцы асбеста. От кусочка асбеста обычно торчат в стороны отдельные волокна, и я не видел человека, который, взяв в руки образец асбеста, не начал бы тянуть за эти волокна, ссучивая их в тонкую длинную нитку.

Да, что греха таить, я и сам, когда мне в руки попадает кусок асбеста, начинаю сучить нитку, а после некоторых бурных споров она вытягивалась на несколько десятков сантиметров.

Конечно, образец портится, его жалко, но что делать? Руки чешутся!

Способность асбеста давать тонкие и прочные волокна, которые можно ссучивать в нитки, а потом из этих ниток вязать или ткать ткань для приготовления одежды и различных салфеток, была открыта очень давно и всегда привлекала к себе внимание. Особенно впечатляла несгораемость асбестовых нитей и тканей.

Если в древности асбест рассматривался как любопытная редкость, то в настоящее время асбестовое волокно является незаменимым техническим продуктом. Оно добывается в огромных количествах и служит объектом широкой мировой торговли. Современная техника не мыслится без использования асбеста. Прокладки автомобиля, фильтры, катализаторы, асбоцементные трубы и шифер, асбестовые теплоизоляторы и асбопластики — все это делает асбест незаменимым природным сырьем.

Не меньший интерес представляет собой этот замечательный минерал для петрографа и минералога. Тончайшие волокна — кристаллы асбеста — открыли новый мир волокнистых кристаллов, а изучение месторождений асбеста позволило ближе подойти к пониманию многих природных процессов. Интересен этот минерал и для любителя камня. Образцы асбеста очень красивы и всегда привлекают внимание каждого, даже мало знакомого с камнем человека.

Автору в течение многих лет приходилось исследовать месторождения этого замечательного минерала, изучать его в лаборатории и участвовать в освоении ряда вновь открытых месторождений, и об этом хочется рассказать читателю. Может быть, прочитав эти рассказы, читатель несколько иначе отнесется к тем асбестовым изделиям, с которыми он встречается почти каждый день.

Крайне трудно сказать, когда началась история асбеста. Увидеть асбест и не обратить внимание на его волокнистость невозможно. Обратил, безусловно, на него внимание и древний человек. Это тем более вероятно, что небольшие месторождения асбеста встречаются довольно часто на тех территориях, где располагались древние культурные государства: в Аравии, на Кипре, в Малой Азии и в Италии.

В качестве первых письменных свидетельств об использовании асбеста обычно ссылаются на Страбона, писавшего от 66 до 25 годов до нашей эры. По его сведениям, близ г. Карастос на о. Эвбее встречается камень, который чешут, прядут и из которого ткут ткань, называемую асбестовой. Не обошел своим вниманием асбест и знаменитый естествоиспытатель Древнего Рима — Плиний; в книге «О природе вещей» он пишет

об асбесте, что «древние приготавливали из одного негорючего полотна, в коем для лучшего сбережения пепла, сжигали трупы некоторых особ. Для получения полотна, асбиант (местное название итальянского асбеста) толкут и умягчают в мыловарном щелоке; потом разделяют на тонкие нити, промывают водой, сушат и прядают. Для получения негорючей бумаги его так же толкут и с водой составляют из него тесто, потом, смешав с клейною водой, выливают в формы и давят; такая бумага на раскаленных углях белеет, от частого повторения сего опыта наконец рухнет и раскрашивается».

По данным, приведенным в статье «История асбеста», написанной в конце прошлого века русским инженером Михеевым, римляне в первом тысячелетии нашей эры не знали минеральной природы асбеста, а считали, что это волокно «растет в пустынях Индии, где обитают змеи и никогда не выпадает дождь; поэтому волокно здесь привыкает к жару».

Куски асбестовой ткани были найдены при раскопках в Помпее. При вскрытии саркофагов в некоторых римских могилах останки были обернуты асбестовой тканью. Есть сведения, что такие ткани хранятся в Ватиканской библиотеке, Неаполитанском музее и в галерее Барберини. Михеев указывает, что «у Нерона, правившего Римом в 54—68 годы, была асбестовая салфетка, считавшаяся большой редкостью».

В Средней Азии и в Арабском мире в древности из асбеста делали негорючие фитили для светильен. По свидетельству арабского путешественника Истахри, писавшего в 930—933 гг., в горах Ферганы производилась добыча асбеста или, как он его называет, фитильного камня (ал-чирог-сонг). Другой арабский путешественник, Махдиси, в своем трактате, написанном тысячу лет назад (около 985 г.) указывает на существование асбестовых рудников в Бадахшане, неясно — на Советском Памире или в Афганистане. Там добывался асбест, или, как он его называет, хаджар-ул-фатилах. «Камень этот употреблялся на изготовление фитилей для светильников, но кроме того, из его волокон ткались специальные скатерти, которыми застилали трапезные столы. Когда эти скатерти становились грязными от жирных пятен, то их на некоторое время помеща-

ли в горячую печь, после чего их вынимали оттуда совершенно чистыми. Точно так же поступали и при очистке промасленных фитилей, которые, после часа пребывания в огне, становились как новые, однако более длительное прокаливание приводило к их разрушению».

Историк М. Е. Массон, изучавший историю горного промысла в Средней Азии, данные которого приведены выше, указывает еще на одно важное использование асбеста в арабском мире. По его данным, из асбеста готовились одежды воинов, обслуживающих машины нефтеогневой артиллерии. Впервые такие одежды были применены при Харун-ар-Рашиде (786—809 годы) — имеется указание, что в эти годы в одном из сражений с византийскими войсками Мухамед-бен-Язид, считающийся изобретателем этих одежд, с их помощью проник сквозь густой строй действующих огнеметных машин противника, чем, очевидно, содействовал победе своих войск.

Новая история асбеста началась в XVIII—XIX столетиях. В начале XIX столетия в Пьемонте изготавливались асбестовые пояса, ленты и салфетки. Особенную известность получила Елена Перпенти из г. Комо в Пьемонте, которая научилась плести из асбеста тончайшие кружева и изготавливать очень хорошую бумагу, которая была пригодна для письма. По сообщению Перпенти, «амиант (асбест) из Генуи пригоден только для изготовления бумаги, которая готовилась с большой добавкой клеящих смол. Амиант же долины Маленко (видимо, в Пьемонте) дает длинные нити, которые хорошо обрабатываются, и именно из этого асбеста изготавливаются ленты, кружева, кошельки и даже манжеты для вице короля Италии».

В 1829 г. в Италии и Франции делались опыты изготовления асбестовой одежды для пожарных, но до середины столетия эта одежда не получила популярности.

История асбестовой промышленности в России начинается с 1720 г., когда крестьянин Невьянского завода, Софрон Согра, открыл месторождение асбеста по р. Тагил. Это открытие было сразу замечено. Управ-

ляющий сибирскими заводами В. В. Генин сообщил Петру I о находке «каменной кудели»*.

Акад. В. Севергин в сводке «Начертание технологии минерального царства», изданной в 1821 г., пишет об уральском асбесте следующее (с. 223): «В 1710 г. делается была тщанием статского советника Демидова в Невьянске пряжа из гибкого асбеста, а из оной полотно, колпаки, перчатки, мешочки и проч., также бумагу. Сего ради колотили зрелый асбест, а сающуюся муку отделяли через промывание, в коем случае оный оставался в виде тонких нитеобразных, мягких охлопков, или так называемого горного льна. Для прядения асбеста смешивали его с тонким льном, а при прядении на прялке, так как и при вязании и ткании, употреблялось много масла. Когда же таковые изделия через каление освобождены были от масла и льна, то имели большую гибкость; и можно было их мыть и гладить, а от грязи очищать посредством каления. Хотя работа сия потом и оставлена была, однако в Урале много и по ныне есть сибиряков, умеющих готовить таковые вещи».

Известным подтверждением этого заключения Василия Севергина является указание знаменитого путешественника Палласа, который в 1789 г. «встретил в Невьянске одну старуху, которая знала искусство готовить перчатки и бумагу».

Несколько далее В. Севергин отмечает, что «в Минеральном кабинете Академии Наук хранится кусок полотна из асбеста более полуаршина в квадрате, а также мешочек и перчатки, вязанные из асбеста в Сибири». Эти предметы сохранились до сих пор и являются одними из старейших образцов Минералогического музея Академии наук, расположенного в Москве на Ленинском проспекте.

Открытие месторождений асбеста в Канаде, на Урале и в Южной Африке, на которых сейчас основывается мировая асбестовая промышленность, относится

* В дате открытия уральского асбеста существует неясность. Далее цитируется книга акад. В. Севергина, где открытие асбеста относится к 1710 г. Однако приводимая здесь дата, видимо, более правильна. Донесение В. В. Генина было найдено и цитируется в литературе. Там указан и этот год, и первооткрыватель Софрон Согра.

ко второй половине прошлого века и к началу нынешнего, когда промышленность предъявила большой спрос на асбестовое сырье.

Еще в 1862 г., на Лондонской всемирной выставке, демонстрировалась коллекция канадских минералов, в которую входили образцы асбеста из окрестностей деревни Св. Иосифа. Но внимание промышленности, по-видимому, привлекли не эти образцы, а находка асбеста в районе деревни Тетфорд в 1876 г., когда асбестовые породы были встречены в выемке железнодорожного полотна. Месторождение это разрабатывается до сих пор и является одним из крупнейших в мире.

Следующее крупнейшее открытие было сделано в 1885 г., когда землемер уральского горного управления А. П. Ладыженский, при отводе площадей для золотых приисков по реке Грязнушке, обнаружил асбестопроявления в Баженовском регионе.

Открытие А. П. Ладыженского попало на благоприятную почву. Видимо, в эти годы существовал в промышленности большой интерес к асбесту. Следует указать, что в 1886 г. в России в двух номерах Горного журнала была опубликована большая статья М. П. Мельникова, рассматривавшая асбест «в историческом, техническом и промышленном отношении». В этой статье еще не упоминается об открытии А. П. Ладыженского, но говорится, что в Петербурге в это время уже существовала фабрика асбестовых изделий.

Сейчас же после открытия А. П. Ладыженским Баженовского месторождения, в Уральский Горный департамент начали поступать заявки на отводы земель под рудники, а в 1889 г. Горный Департамент разрешил разрабатывать месторождения. Этот год и считается началом разработок Баженовского месторождения.

Открытие Южно-Африканских месторождений относится к еще более позднему времени. Месторождения Капской колонии были открыты в 1891 г. В 1907 г. асбест был обнаружен в Южной Родезии и только в 1915 г. были встречены знаменитые Трансваальские месторождения асбеста.

До революции в России разрабатывалось только Баженовское месторождение; все остальные были открыты и введены в строй действующих уже в послевоенное время.

ТИПИЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Название «асбест» чисто техническое; оно появилось тогда, когда минералогия была еще во младенчестве, и одной волокнистости тогда казалось достаточно для выделения минерального вида. Впоследствии, когда появились более совершенные методы исследования минералов, стало ясно, что существует два минеральных типа асбестов, резко различающихся как по свойствам, структуре, так и по химическому составу. Первый тип асбестов сейчас принято называть хризотилowym, так как его волокна слагаются минералом хризотилом, относящимся к группе серпентина. Второй тип асбеста, амфиболовый, поскольку свойства асбеста — волокнистость и гибкость — имеют несколько минералов, относящихся к минеральной группе амфиболов.

Химический состав хризотил-асбестового волокна довольно простой; в него входит относительно много окиси магния (до 43%), кремнекислота (44%) и вода (13%); изображается этот состав формулой $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$. Химический состав амфиболовых асбестов много сложнее и его трудно свести к простой формуле; этот силикат очень богат магнием, но, кроме того, в минерал входит некоторое количество глинозема и окиси натрия. В оба типа асбеста входит железо, замещающее частично магний, а в амфибол-асбестах и алюминий. В хризотил-асбестах железа, как правило, относительно мало, а амфибол-асбесты могут быть весьма железисты.

Характерным свойством волокон хризотил-асбестов является их большая эластичность и огнестойкость. Для амфибол-асбеста особенно характерна химическая стойкость и большая грубость волокна, поэтому хризотил-асбест используется очень широко, амфибол-асбест применяется в тех случаях, когда необходима химическая стойкость волокна.

Богатство асбестов окисью магния является очень важной особенностью, во многом определяющей условия нахождения этих минералов в природе. Если богатство кремнекислотой характерно для очень многих природных горных пород, то магний, вообще говоря, относительно редкий элемент, и в обычных горных породах окись магния редко встречается в количестве более не-

скольких процентов. В природе имеются только два типа особенно богатых магнием пород. Прежде всего, это так называемые ультраосновные породы (или, как их называют на «иностранный» лад — ультрабазиты); в которых может содержаться 40—45% и даже больше окиси магния, остальное — кремнекислота, окислы железа и в меньших количествах другие окислы. Второй богатой магнием породой является доломит, в котором окись магния составляет 20—21%; следует при этом, однако, учесть, что в доломите очень много углекислоты; этот легколетучий компонент составляет в доломите почти половину веса, остальное — окись кальция. Большое богатство доломита магнием хорошо видно из следующего простого опыта: если прокалить доломит, то в остатке будет негашеная известь (окись кальция) в количестве около 58% и окись магния — 42%. В ультрабазитах и доломитах могут образоваться асбесты.

Ультрабазиты встречаются обычно в горных областях, где развиты магматические породы, т. е. горные породы, образовавшиеся в результате застывания глубинного огненно-жидкого расплава — магмы; обычно строение таких районов довольно сложное и доставляет много трудностей геологам, изучающим асбестовые месторождения. Что касается доломита, то это типичный морской осадок, иногда в этих породах встречаются отпечатки морских организмов и очень характерна слоистость. Состав породы меняется в процессе отложения, это и вызывает слоистость выделяющихся пород. Доломиты наиболее часто отлагались в палеозойскую эру (250—550 млн. лет назад и ранее); позднее доломиты встречаются, но реже.

Теперь, когда в приведенном кратком, но совершенно необходимом введении разъяснены все термины и понятия, с которыми придется сталкиваться, можно отправиться в путь, на некоторые особенно интересные асбестовые месторождения.

Баженовское месторождение. Это месторождение расположено на Среднем Урале, недалеко от г. Свердловска. Много раз бывал я в этом интереснейшем месте и всегда здесь удавалось найти много нового и очень интересного.

Открытое Софроном Согрой Невьянское месторождение асбеста хотя и послужило началом асбестовой



Рис. 21. Начало эксплуатации Баженовского месторождения. Вид примерно в 1900 г. одной из «крупнейших» разработок асбеста «Жиравской копи» (по П. А. Земятченскому)

промышленности, но оказалось очень бедным, и сейчас оно полностью заброшено. Иная судьба была у месторождения открытого землемером А. П. Ладыженским. Вскоре после открытия оно было названо Баженовским (рис. 21), по имени ближайшей тогда железнодорожной станции. Впоследствии около месторождения образовался поселок, который после революции вырос в г. Асбест. Еще до Отечественной войны г. Асбест был связан со станцией Баженово железной дорогой, шоссе туда было построено уже после войны.

Главный карьер Баженовского рудника огромен (рис. 22). Его длина сейчас немногим меньше 3 км при ширине, местами превышающей 1 км. Это громадная чаша почти двухсотметровой глубины. По склонам чаши располагаются добычные уступы, вдоль которых, несколько раз обегая вокруг карьера, проложена железная дорога широкой колеи. Небольшие поезда, состоящие из электровоза и нескольких вагонов-само-

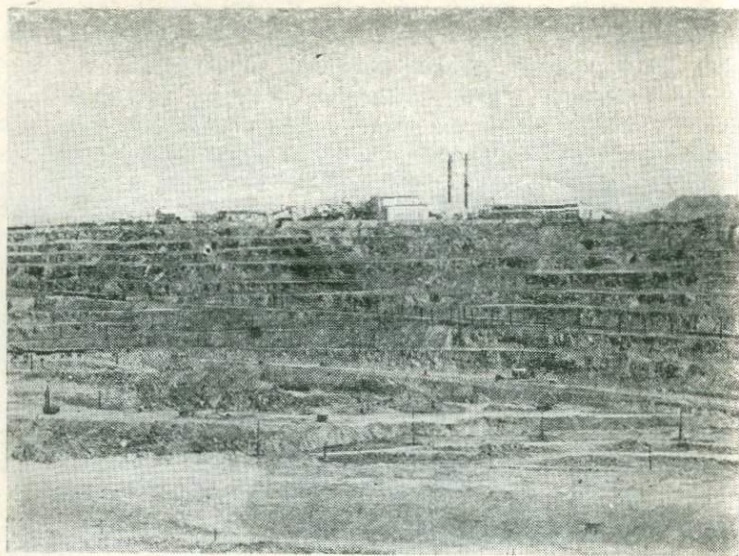


Рис. 22. Вид части Главного Баженовского карьера в 1970 г. О масштабах карьера можно судить по размеру поездов и экскаваторов на противоположном склоне. Напомним, что в карьере ходят поезда широкой колеи с вагонами-самосвалами на 60—100 т

свалов, все время курсируют по склонам карьера, отвозя добытую руду и пустую породу.

Карьер нам показывал главный геолог Баженовского карьероуправления; мы стояли на его верхней кромке и рассматривали детали распределения по карьере асбестоносных и пустых пород, когда по радио на всю округу возвестили: «Внимание! Внимание! В районе экскаватора № 98 через пять минут будет произведен массовый взрыв руды. Будет взорван заряд аммонала в 3 т. Всем, находящимся в опасной зоне, надлежит уйти в укрытие». «Ну, что делать, пойдем в укрытие», — предложил я. «Зачем, — сказал наш местный друг, — экскаватор № 98 находится вон там, видите, почти на противоположном конце карьера, а мы здесь находимся в полной безопасности, никуда уходить не надо». Через пять минут мы были свидетелями замечательного зрелища. Часть стенки карьера поднялась и осела на место, во все стороны летели громадные камни, и столб пыли

надолго поднялся над этой частью горной выемки. Вот тут я отчетливо почувствовал огромность карьера. Даже звук взрыва около нас был слабым, а отдельные камни не долетали до трети карьера.

Карьер заложен среди ультрабазита, в той или иной мере перешедшего в серпентинит. Любитель камня, попавший в асбестовый карьер, легко отличит свежий ультрабазит, темный, почти черный, с ясно различимыми простым глазом прозрачными кристаллами пироксена и оливина, от серпентинита — ярко-зеленой однородной породы. Изредка только в нем видны пятна — пластинчатые, тоже зеленые; это участки серпентиновых минералов, замещающих пироксен. От этих пятен вся порода и получила название серпентинита, или змеевика; в некоторых случаях такая пятнистая зеленая порода действительно похожа на змеиную кожу*.

С бортов карьера хорошо видны участки, сложенные серпентинитом, они мягче и более трещиноваты и их легче вырабатывать; на их месте всегда имеется понижение карьера. Кроме того, они и издали светлее. Свежие ультрабазиты темнее, однороднее и тверже. Они остаются в карьере в виде выступов. Особенно отчетливо они выступали в старых мелких карьерах, и тогда же участки свежих ультрабазитов получили название «сопок». Это название сохранилось на рудниках до сих пор. «Ультрабазитовые сопки» отмечаются в документах рудников и на геологических картах при разведке месторождения.

Асбест образует в серпентинитах два вида жил — продольно- и поперечноволоконистые. Как явствует из самого названия, в жилках первого вида волокна расположены вдоль нее. Волокна в таких жилках иногда очень длинные, мне приходилось видеть пучки волокон, достигающих 0,5 м длины, но, как правило, асбест таких жилков непригоден для использования. Волокно здесь слабое, легко ломается и неравномерно по толщине. Хороший асбест всегда встречается в жилках,

* *Serpenta* — лат. змея; отсюда, по существующей в петрографии традиции, порода называется серпентинитом, а минералы, в основном слагающие эту породу, серпентиновыми минералами. Состав серпентиновых минералов примерно одинаков и отвечает общей типовой формуле $H_4Mg_3Si_2O_{10}$, но структурные особенности их различны (см. с. 99—105).

волокна в которых направлены перпендикулярно к стенкам жилки. Если жилка достаточно мощная, то в ее центре можно различить еще один элемент — тонкую полосу, сложенную магнетитом, около которой сходятся волокна асбеста, идущие от противоположных стенок — это так называемая «просечка», сильно укорачивающая длину волокна, получаемого из руды.

По характеру расположения жилок асбеста в серпентините и соотношениям последнего с вмещающими породами различают различные «типы жилкования асбеста», которые получили специальные названия.

Наибольшее количество асбеста содержит так называемый «мелкопрожил»; серпентинит в этом типе руды буквально переполнен мельчайшими, меньше 1—0,5 мм, короткими жилками асбеста. Обычно такие жилки грубо параллельны одна другой, поэтому при повороте образца под определенным углом он начинает очень красиво блестеть; жилки асбеста отражают свет, как хорошая шелковая ткань и отражение эффектно переливается. Иногда расположение жилок и их блеск настолько напоминают узор ткани, что такие образцы даже получили название «сарпинка». Как сказано было, такие участки породы наиболее богаты асбестом, но асбест здесь обычно очень коротковолокнистый.

В других случаях жилки асбеста, более длинные и мощные (более 1—2 мм в поперечнике), пересекаются между собой в самых разных направлениях. Такой, сетчатый тип асбестовой руды (рис. 23), как правило, беднее асбестовым волокном, чем мелкопрожил, но волокно в них обычно более длинное. По величине асбестовых жилок можно говорить о крупной и мелкой сетке.

Наконец еще одним типом руды являются отороченные жилы (рис. 24), которые образуются тогда, когда асбестовая жилка залегает среди неизмененных ультрабазитов, но и в этих случаях обязательно с обеих сторон жилки имеется зона — «оторочка» — серпентинитовой породы. Иногда в центре такой серпентинитовой полосы залегает не одна, а несколько жилок асбеста. Интересно, что соотношения мощностей асбестовой жилки и серпентинитовой оторочки более или менее постоянно для каждого асбестового месторождения; для Баженовского месторождения мощность ото-



Рис. 23. Жилка асбеста из зоны сетчатых жил

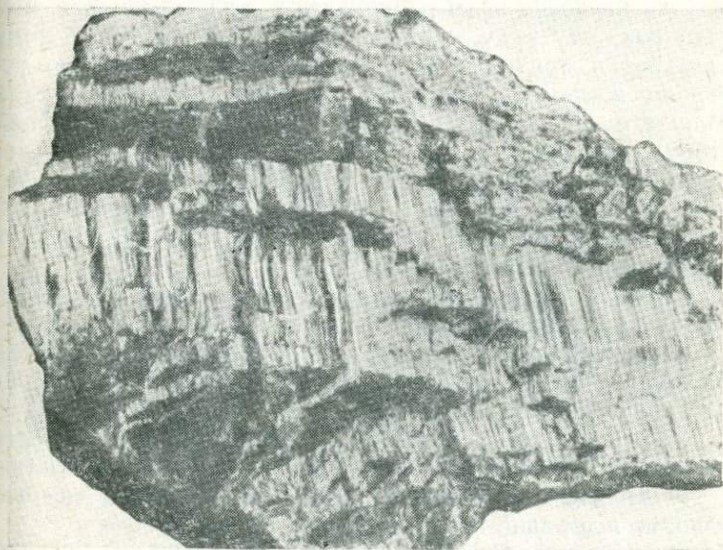


Рис. 24. Мощная жилка асбеста из зоны отороченных жил. Асбест сорта «Крюд»

рочки примерно в 5—5,5 раза больше, чем мощность всех асбестовых жил. Среди таких отороченных жил встречаются более мощные жилки, иногда достигающие нескольких сантиметров, и отсюда же получается самое длинное волокно.

Спускаясь в карьер, можно очень хорошо проследить распределение асбеста различного типа. Вдоль зон наибольшего изменения, где весь ультрабазит перешел в серпентинит, встречается только мелкопрожил. Если же отсюда идти в сторону ультрабазитовой сетки, то можно очень хорошо наблюдать, как постепенно увеличивается мощность асбестовых жил. Число их уменьшается и «мелкопрожил» переходит сначала в мелкую, а затем и в крупную сетку. Иногда в серпентинитах с крупной сеткой встречаются мелкие остатки неизмененных ультрабазитов. Наконец по краям ультрабазитовой сопки встречаются многочисленные отороченные жилы.

Разработка асбестовой руды ведется, как уже упоминалось, методом крупных взрывов. Но в полной мере это относится только к мелкопрожилу и сетчатым рудам. Эти руды сейчас же после взрыва разбираются экскаватором и отвозятся на обогатительную фабрику. Что же касается зоны отороченных жил, то прежде, чем разбирать эту руду, а иногда еще до ее взрыва, в зону разработки приходят забойщики, которые вручную отбирают жилки с длинным асбестовым волокном — если волокно имеет в длину более 1—1,5 см, то такая ручная отборка выгодна, и что, пожалуй, самое главное — это пока единственный способ получения асбеста с длинным волокном. Иногда в процессе такого ручного отковыривания мощных жил забойщику приходится выбивать довольно большие ниши.

Спускаясь в карьер, я подхожу к забойщику, выбирающему длиноволокнистый асбест, и вижу, что отборка идет не очень аккуратно; забойщик отбирает только лучшие части проходящей здесь мощной жилки, а все остальное бросается на землю.

— «Посмотрите, вот в этой глыбе жилка асбеста сантиметра полтора в поперечнике, а Вы ее бросили».

— «А что с ей взять, видите, в ей просечка, так что волокно все равно короткое будет».

— «Но ведь Вы эту жилку уже выбили, зачем бросать?»

— «А я и не бросаю, здесь экскаватор пройдет и все, что на земле лежит, заберет и отправит на фабрику».

Мы прошли все карьеры, от сопки к сопке, и везде одна и та же закономерность; в промежутке между сопками мелкопрожил и сетка, сначала мелкая, а затем и более крупная, и, наконец, на краях сопки зона отороченных жил. Разведка буровыми скважинами показала, что на глубину строение месторождения примерно такое же.

Очень характерное строение Баженовского месторождения позволяет сделать ряд весьма обоснованных предположений об условиях образования хризотил-асбеста и почему это месторождение образовалось именно там, где оно находится.

Условия залегания отороченных жил определенно говорят о том, что образовались они за счет ультрабазитовой породы по путям проникновения водных растворов. То, что здесь действовала именно вода, видно уже из сопоставления составов ультрабазита и серпентинита. Главными минералами ультрабазита являются пироксен (MgSiO_3) и оливин (Mg_2SiO_4), а состав серпентина $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$ *. Простое сравнение формул показывает, что серпентин отличается от суммы одной частицы пироксена с частицей оливина только присутствием в серпентините еще двух частиц воды.

Рассмотрим теперь разрез месторождения (рис. 25). На больших удалениях от ультрабазитовой сопки вся порода перешла в серпентинит, а в зоне крупной сетки и отороченных жил еще сохранился ультрабазит в виде явных реликтов. Из этих соотношений легко сделать вывод, что водные растворы сначала в большом количестве поступали в область развития мелкопрожила и здесь изменили весь ранее залегавший ультрабазит, переводя его в серпентинит, а пройдя эту зону, в меньших количествах проникали в зону крупной сетки, а затем и в зону отороченных жил, куда проникает совсем немного растворов; по узким трещинкам воды

* Это типовые составы; обычно часть магния замещается железом. В ультрабазитах встречаются еще некоторые минералы, но количества их очень невелики и не влияют на высказываемые соображения.

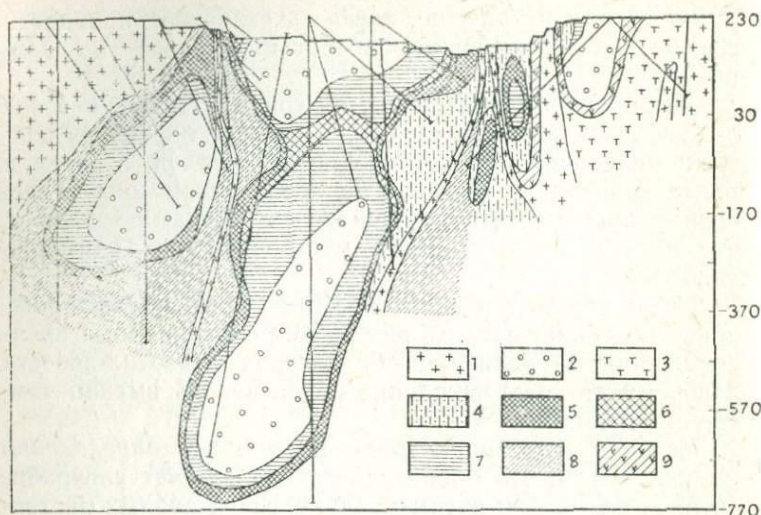


Рис. 25. Схематический разрез центральной части Баженовского месторождения, по Ф. В. Дыбкову.

1 — граниты, гранит-аплиты, диориты, габбро; 2 — перидотиты; 3 — тальковые, тальк-карбонатные породы; 4 — серпентиниты с просечками асбеста; 5 — то же, с асбестом типа мелкой сетки и мелкопрожила; 6 — то же, с асбестом типа крупной сетки; 7 — перидотиты с отороченными жилами асбеста; 8 — серпентиниты рассланцованные с асбестом; 9 — серпентиниты рассланцованные без асбеста

сюда проникало так мало, что изменены были только те участки ультрабазита, которые непосредственно прилежали к путям движения растворов.

Итак, растворы двигались от зоны мелкопрожила в сторону ультрабазитовой сопки и здесь исчерпались; естественно, возникает вопрос, а откуда вообще взялись растворы и почему они исчерпали свои возможности, не изменив весь ультрабазит. Для ответа на этот вопрос пришлось тщательно изучить весь район развития мелкопрожила и оказалось, что мелкопрожил приурочен к полосе разлома, которую можно хорошо заметить. Начали исследовать зону разлома и очень скоро заметили, что мелкопрожил сменяется тальковой породой, а еще дальше, в продольном разломе, появляются выходы жильных гранитоидов. Следует сказать, что найдя жилу магматической породы, я страшно обрадовался — вот, оказывается, где источник интересовавших нас растворов, в этих породах и разгадка ограниченности

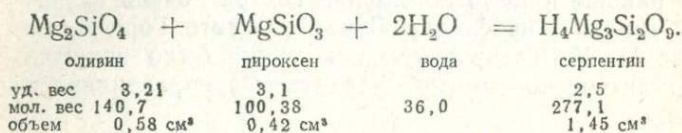
растворов. Ведь магматическая порода могла отделять водные растворы и посылать их во вмещающие породы только в процессе застывания магмы, а позднее, когда магма застыла, растворы уже не возникали и, следовательно, изменение вмещающих пород прекратилось. О связи асбестообразования и гранитов в Баженове много раньше нашего посещения говорил очень талантливый геолог — профессор Ленинградского Горного института П. М. Татаринов, но, конечно, было исключительно интересно самому убедиться в справедливости теории.

Растворы, даваемые гранитоидными магматическими телами, на первых этапах были богаты многими компонентами, и в первую очередь кремнекислотой. При взаимодействии с ультрабазитом на первых этапах (в продукте этого взаимодействия концентрируется не только вода, но и кремнекислота) — образуется тальк, а затем, когда из растворов будет извлечена вся содержащаяся в них избыточная кремнекислота и пойдет образование только гидратированных минералов, возникает серпентинит. Что это так, видно уже из сравнения формул обоих минералов — тальк ($\text{H}_2\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$) и серпентина ($\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$) различаются только тем, что в тальке на то же количество магния приходится вдвое больше кремнекислоты.

Теперь можно рассмотреть весь процесс асбестообразования в целом. Так или иначе в данное поле внедрился ультрабазит и образовал одно целое со всеми породами, ранее слагавшими данную местность. Затем, в эпоху образования Урала горообразующие силы создали в толще ультрабазита большое число трещин, в некоторые из которых внедрилась гранитная магма. Застывая, магма породила водные растворы, богатые кремнекислотой. Эти растворы устремлялись в трещины ультрабазита, прогревали его и реагировали с ним, давая сначала тальк, а затем, когда на образование этого, более богатого кремнекислотой минерала, чем ультрабазит, вся избыточная кремнекислота была израсходована, начали кристаллизоваться серпентиновые минералы, где кремнекислоты содержится столько же, сколько и в ультрабазите.

Хризотил-асбест — серпентиновый минерал, но со-

вершенная волокнистость его может проявиться тогда, когда его кристаллы могут расти без помех. В этой схеме нами не рассмотрена еще проблема объемов. Если составить формулу реакции и подставить в нее удельные веса реагирующих веществ, то легко рассчитать объем новообразованного вещества:



При всей схематичности таких расчетов, из них все же видно, что общий объем новообразованного серпентина примерно в полтора раза больше, чем объем исходной ультраосновной породы. Такое увеличение вызывается, во-первых, в результате того, что в состав серпентина входит добавочная вода, а во-вторых, и это, по-видимому, наиболее важно, тем, что оливин и пироксен много плотнее, чем серпентин.

Однако при изучении в поле соотношения новообразованного серпентинита и ультрабазита видно, что новообразованный серпентинит занимает то же самое пространство, которое раньше занимал ультрабазит. Это, в частности, имеет место тогда, когда новообразованный серпентинит слагает отороченную жилу в толще сохранившей сплошность ультрабазитовой породы. Это возможно только в том случае, если одна треть или даже больше новообразованного серпентинового вещества будет вынесена растворами. Следует еще учесть, что приведенные удельные веса относятся к холодным минералам, в действительности же в процессе наложенной серпентинизации исходная порода была холодной, а новообразованный серпентинит был при образовании довольно сильно прогрет и имел еще меньший удельный вес. При охлаждении объем новообразованного серпентинита резко уменьшается, но так как общие границы серпентинитовых тел должны были оставаться неизменными, сокращение объема могло идти только за счет появления трещин усадки — так называемых контракционных трещин. Эти трещины заполняются циркулирующими по породе растворами, пересыщенными серпентиновым веществом. Вместе с вме-

щающей породой остывают и растворы, а чем холоднее раствор, тем меньше растворимого вещества он может содержать в себе. Избыточное серпентиновое вещество начинает кристаллизоваться в свободных трещинах по всем законам свободной кристаллизации, создавая параллельно ориентированные волокна асбеста. Чем крупнее были возникавшие трещины, тем длиннее кристаллизующееся в этой трещине волокно асбеста.

Из рассказанного можно сделать еще один вывод, а именно, что асбест может образоваться только в тех массивах ультрабазита, которые подвергались воздействию более молодых гранитов и переработке отходящими от них горячими водами (гидротермальной переработке). Однако эта гидротермальная переработка с образованием серпентинита не должна захватывать целиком массив ультрабазита с тем, чтобы объем массива при прогреве и при охлаждении сохранялся бы неизменным, так как только в этом случае могли возникнуть контракционные трещины, выполняемые асбестовым волокном.

Джетыгаринское месторождение. Город Джетыгара расположен в Западном Казахстане, а геологически этот район является частью Урала. Сюда протягивается полоса выходов ультрабазитов, характерных для восточного склона Урала, к которой приурочены асбестовые месторождения и проявления. Сюда же протягиваются все известные уральские структуры, и породы, встречающиеся в районе г. Джетыгара, те же, что и в прилегающих частях Урала. Собственно, до Урала тут «рукой подать», в 30 км отсюда располагается станция Бреды Южно-Уральской дороги.

Впервые я попал в Джетыгару в начале послевоенных годов. Тогда здесь существовал небольшой рудник, и только начало выясняться, что район «видимо перспективен» и на асбестовую руду. Джетыгара в то время был небольшим городок, в основном одноэтажный из небольших деревянных домов, раскинувшийся на сопке.

В геологическом строении региона главную роль играет огромное ультрабазитовое тело, окруженное, как это всегда имеет место на Урале, толщей гнейсов и древних гранитов, но есть и новое по сравнению с другими районами Урала. В северной части массива в толщу ультрабазитов и гнейсов внедрилось молодое гра-

нитное тело. Судя по всему, сюда первоначально внедрилась гранитная магма, которая застыла на месте, образовав куполообразное, более или менее эллиптическое тело гранитной породы.

Оруденение было приурочено к гранитному куполу. Мельчайшие его кристаллики и зерна залегали в тонких кварцевых жилах, приуроченных к контакту гранитоидов и ультрабазитов. Добыча велась довольно глубокими шахтами, от которых отходили горизонтальные выработки, вскрывавшие этот контакт. Добытая руда поднималась на обоганительную фабрику, полезные компоненты извлекались, а отходы — хвосты — до сих пор лежат в виде довольно большого холма в районе бывшего рудника.

Асбест здесь был открыт довольно давно геологом А. Н. Гейслером, среди ультрабазитов, несколько юго-западнее золотого рудника. Залежь эта, названная Гейслеровской, оказалась небольшой, а кроме того, она уже тогда попала в пределы города, и поэтому не представляла большого интереса. Зато гораздо интереснее были открытые незадолго до войны асбестопроявления по восточному краю ультрабазитового массива. Картина Джетыгаринских асбестовых залежей, как это выяснилось на основе разведки, несколько отличалась от привычного советским геологам Баженовского рудника. Если в Баженовском месторождении легко различались зоны с различным жилкованием асбеста, то здесь вся рудная залежь производила впечатление сетчатой руды и изредка встречались жилы, напоминавшие отороченные. Трудно было выделить и какое-либо подобие «ультрабазитовых сопок». Пожалуй, за такую «сопку» можно было бы принять весь центральный выход ультрабазита.

Особенно интересовало меня происхождение асбеста. Прежде всего следовало проверить относительный возраст гранитов и ультрабазитов. Если граниты моложе ультрабазитов, можно предполагать, что серпентинизацию ультрабазитов вызвали воды, отходящие от застывавшего гранита, с ними и следовало тогда связывать асбестообразование.

Наилучшим местом для установления относительного возраста ультрабазитов и гранита, конечно, были старые подземные выработки. Вместе с геологом рудника

нам удалось спуститься под землю и найти там несколько выработок, которые проходили через гранит и входили в ультрабазит. Удалось отмыть стенки этих выработок от грязи, зарисовать их и взять характерные образцы, которые были впоследствии детально исследованы; словом, мы смогли, как говорят геологи, полностью «задокументировать» выработки. Граница между ультрабазитом и гранитом оказалась очень резкой. Ультрабазит в контакте весь перешел в тальк, местами оталькованными оказались и кварцевые зерна в граните. Самое же главное — в граните, неподалеку от контакта с ультрабазитами, мы нашли несколько кусочков ультрабазита, превращенных в тальк. Такие соотношения могут получиться только в том случае, если кусок ультрабазита был оторван от массива и включен в еще жидкую магму до ее кристаллизации.

Куски ультрабазита, включенные в гранит, и переход ультрабазита вблизи гранита в тальк говорят об относительной молодости гранита по сравнению с ультрабазитом.

Задача была выполнена, и нам можно было больше не спускаться под землю. Дальнейшие работы уже могли проводиться на поверхности.

Прежде всего, нужно было оконтурить зону оталькования; оказалось, что везде, где молодой гранит соприкасался с ультрабазитом, она имеет мощность 20—40 м. Однако в одном месте, к югу от гранита, зона оталькования приобретает значительно большую мощность. Здесь появляется подобие длинного «талькового языка», входящего в толщу ультрабазита. Причем оказалось, что «язык» дальше к югу переходит в продуктивную асбестоносную зону. Иными словами, можно предполагать, что здесь проходила крупная зона трещиноватости, по которой особенно легко циркулировали воды, отходящие от гранита и вызывавшие превращение ультрабазита сначала в тальк, а затем в асбестоносные серпентиниты.

Позднее связь асбестоносности с гранитоидами подтвердилась — на большом удалении от основного гранитного тела были встречены отдельные небольшие жилки того же облика, что и граниты.

Недавно, в начале семидесятых годов, я снова попал в Джетыгару. Старый город еще существует; от-

дельные его дома используются под конторы и другие служебные помещения. Новый же город, из многоэтажных каменных домов, с большими магазинами и асфальтированными на бетонном основании улицами, перенесен на западный берег р. Шуртанды, на равнину, продолжающуюся далее на запад, вплоть до станции Бреды.

На асбестовой залежи располагается карьер, в который проведена железнодорожная колея нормальной ширины, а на некотором расстоянии от карьера, в поле, стоят обогатительные фабрики, обрабатывающие асбестовую руду.

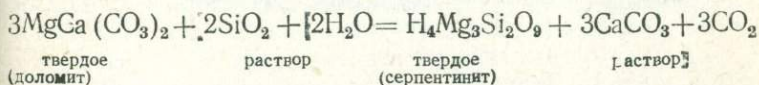
Первоначальное впечатление о своеобразии жилкования асбеста сохраняется и при осмотре руды в карьере; конечно, некоторые участки напоминают и здесь отороченные асбестовые жилки, но весьма отдаленно. Скорее всего, это крупная и мелкая сетка. Это находит отражение и в качестве получаемого на месторождении асбеста; здесь почти целиком добывается относительно короткое волокно.

Рудники в доломитах. Одним из таких месторождений является Лайюаньское (КНР). Местность в районе месторождения сильно изрезанная, хотя здешние горы нельзя назвать высокими. Насколько мне сейчас помнится, превышения вершин над ущельями были менее 400—500 м.

Месторождение расположено на довольно крутом склоне горы, сращенном к югу. Местность здесь слагают древние (яньшаньские) тонкослоистые доломиты, в которые внедрились более молодые граниты. Доломиты были очень бедны железом. Гранитное тело иногда рвет их поперек, но в большинстве случаев контактирует с ними по слоистости. Под действием гранитной интрузии и отходящих от нее вод слои доломита, прилегающие к контакту, нацело, а на больших удалениях от контакта только вдоль трещин и по плоскостям наслоения замещаются серпентинитом. Поскольку в доломитах и в растворах, их изменяющих, было очень мало железа, постольку новообразованный серпентинит очень светлый, сильно просвечивающий. Подобный серпентинит получил название офиокальцита и в ряде мест добывается и используется как относительно дешевый поделочный камень.

По трещинам, поперек слоистости, а чаще вдоль слоистости, возникают трещины сокращения объема при охлаждении (контракции), в которых кристаллизуются волокна асбеста. Обычно жилки мелкие, около 1 мм, но местами встречаются и более мощные жилы, до 2—5 см. Крайне характерно, что жилки асбеста встречаются только там, где доломит перешел в серпентинит.

Образование серпентинита и асбеста в доломитах по своей схеме очень близко к условиям их образования в ультрабазитах. Магний здесь заимствуется из доломита, а кремнекислота привносится из гранита растворами (флюидами), отходящими от кристаллизующегося гранита. Эти же растворы уносят из сферы реакции освобождающийся углекислый кальций и избыточную углекислоту. Реакция, по которой происходит этот процесс, весьма проста и может быть изображена следующим уравнением:



Объемные соотношения при серпентинизации доломита более сложные, чем при серпентинизации ультрабазитов. Простой расчет по формуле показывает, что за счет доломитового магния, бывшего на месте, может образоваться такое количество серпентинита, которое займет только 62—65% всего пространства, занимавшегося доломитом. Вместе с тем, изучая месторождение в поле, мы отчетливо видим, что доломит целиком, с сохранением всех структурных деталей, замещается серпентинитом. Даже в том случае, когда только часть доломитового слоя заместила серпентинитом, мощность слоя не меняется. Геологи в таких случаях (конечно, в основном чтобы «спрятать концы в воду») говорят о привносе дополнительных порций вещества со стороны и т. д. Говорить можно многое, а понять по-настоящему довольно трудно, тем более, что осложнение еще могут вносить кварц, который был примешан к доломиту, и кальцит, кристаллики которого встречаются в офиокальците — новообразованном серпентините. Роль кварца, содержавшегося в доломите, видимо, была очень велика. Так, в одном участке месторождения, уже в доломите, но недалеко от контакта, мне попался кремне-

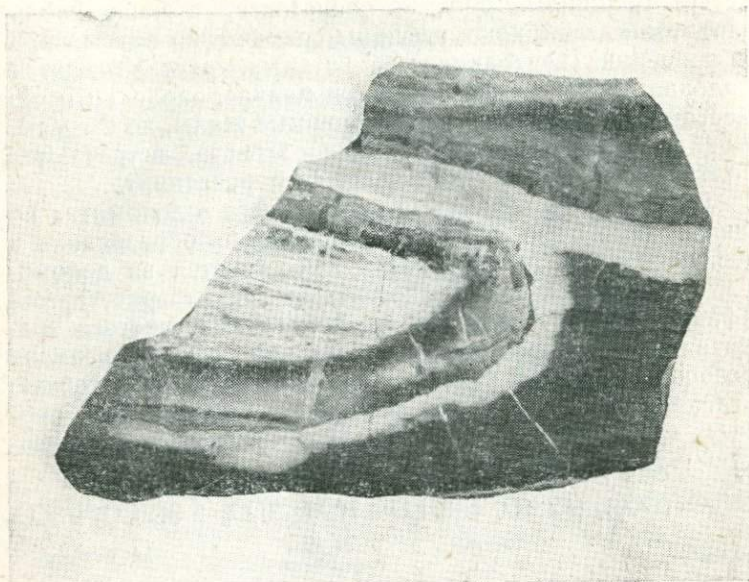


Рис. 26. Типичный образец асбестовой руды из месторождения Лайюань.

Черное — неизмененный доломит; белая оторочка — мрамор; белое в центре — кремневый желвак; серое (в натуре светлое зеленовато-желтое) — офиокальцит. В офиокальците вокруг желвака видны две жилки асбеста

вый желвак, вокруг которого располагалась небольшая зона офиокальцита с жилкой асбеста (рис. 26). Очевидно, до этого места доходили горячие растворы, но «своей» кремнекислоты в них уже не было, они всю ее истратили ранее на образование серпентинита. Встретив же кремневый желвак, растворы заимствовали кремнекислоту из последнего и образовали за его счет и за счет окружающего доломита зону серпентинита вокруг него.

Так или иначе, но в местах переработки доломитов растворами в контакте с гранитами на месте доломитов возникает офиокальцит — новообразованный серпентинит, конечно, достаточно сильно прогретый. Как и в случае серпентинитов, образованных за счет ультрабазитов, офиокальциты претерпевают охлаждение, сопровождающееся сокращением объема. В результате в

офиокальците возникают трещины, в которых кристаллизуется асбестовое волокно, совершенно так же, как это было в серпентините, образованном по ультрабазиту. Весьма часто эти трещины приурочены к плоскостям напластования бывших доломитов.

Естественно возникает вопрос, а есть ли в СССР месторождения такого типа, как и Лайюаньское. Конечно есть, но масштабы их меньше и асбест, который они дают, значительно более железист.

Для коллекционеров и туристов, любителей камня, посетить такое месторождение очень интересно. Очень красивы шелковистые белые или розовые асбесты и светло-зеленые полупрозрачные офиокальцитовые породы, вмещающие асбест. Можно собрать очень красивые куски доломитового мрамора, пересеченного жилками офиокальцита. Можно еще отметить, что офиокальцит благодаря своей однородности и относительно малой твердости (около четырех по минералогической шкале) очень удобен для обработки; его можно обрабатывать даже стальными инструментами.

Наиболее легкодоступным является Аспагашское месторождение (рис. 27). Асбестовую горку Аспагашского месторождения слагают черные, темно-серые тонкослоистые доломиты, в некоторых прослойках содержащие довольно много глинистого вещества. Эти породы образовались как осадок не очень глубокого моря в кембрийский период, т. е. примерно 500—550 млн. лет назад.

В районе имеется много мест, где в толщу кембрийских осадков внедряются магматические породы разного типа, в том числе различные гранитоиды, застывавшие как на относительно большой глубине, так и близ земной поверхности. Однако асбестообразование не может быть связано с этими породами. Изменение кембрийских пород вокруг этих магматических тел имело явно иной характер. Совершенно другие взаимоотношения существуют между кембрийскими тонкослоистыми доломитами и внедрившимися в них многочисленными относительно маломощными жилками спессартитовой жильной породы. Спессартит в этом районе также, несомненно, магматическая порода, но содержащая относительно мало кремнекислоты, много меньше, чем этого окисла содержат обычно гранитоиды.



Рис. 27. Общий вид Аспагаишского асбестового карьера в 1953 г.

ды. Непосредственные контактные изменения, вызванные жилками спессартита в плотных доломитах, невелики; порода осветляется («выгорают» окрашивающие ее в серый или черный цвет органические вещества), в ней укрупняются кристаллики карбоната и она превращается в мрамор; но все это происходит на расстояниях, удаленных от жилы не более чем на несколько сантиметров (рис. 28). Совершенно иначе ведет себя доломит в межпластовых промежутках и вдоль тонких прослоев. Видимо, межпластовые промежутки были именно теми путями, по которым циркулировали перегретые воды, как выделявшиеся при кристаллизации спессартитовой магмы, так и содержащиеся в осадочных породах. Вдоль межслоевых зон мелкие пласты доломита замещаются мрамором и серпентинитом (офиокальцитом), а в контракционных трещинах между пластами доломитов и в самих пластах кристаллизуется поперечноволоконистый маложелези-

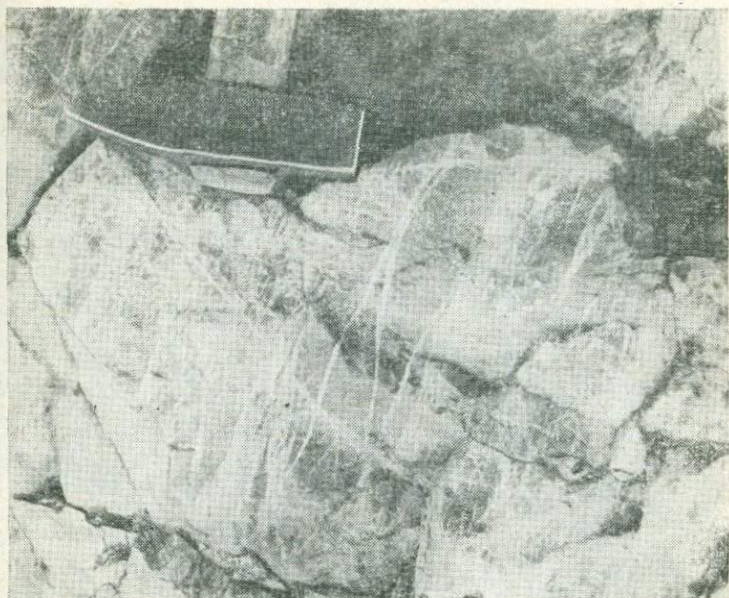


Рис. 28. Трещинки в доломите (серое), вдоль которых идет его изменение и превращение в мрамор (белое)

стый асбест (рис. 29). Как и в Лайюане, асбест здесь встречается только среди офиокальцита. Если жилка асбеста сечет поперек полосу офиокальцита, то, подходя к мрамору, она постепенно утоняется и выклинивается, никогда не входя в мрамор.

Внешне мрамор очень хорошо отличается от офиокальцита; мрамор белый, сахаровидный, зернистый, почти совершенно непрозрачный, тогда как офиокальцит — однородный, хорошо просвечивающий, светло-зеленоватый.

Антофиллит-асбестовое месторождение близ г. Сысерть. Антофиллит — минерал из группы амфиболов, представляющий собой почти чистый магнезиальный силикат ($\text{H}_2\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{24}$). Месторождения такого асбеста были детально изучены вскоре после революции, и тогда же была начата его добыча.

Чтобы попасть на месторождение, надо ехать до города Сысерть по шоссе Свердловск—Челябинск. В са-

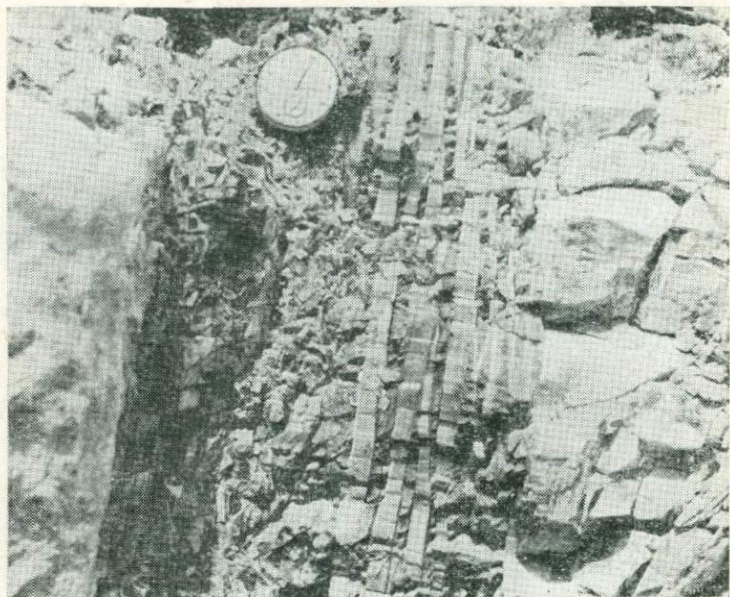


Рис. 29. Жилки асбеста среди тонкослоистого доломита; рядом жила спессартита

мом центре города от главного шоссе на запад отходит боковая дорога, идущая на асбестовые рудники, расположенные всего на расстоянии около 30 км. Однако всегда следует учитывать уральскую специфику — в дождь или осенью эти 30 км могут быть проходимы с большим трудом.

Геологическую основу местности составляют древнейшие породы, сильно измененные на больших глубинах и превращенные в гнейсы. В толще гнейсов в виде отдельных небольших тел, почти всегда вытянутых вдоль сланцеватости гнейсов, совершенно так же, как вытянута начинка в пирожке из слоеного теста, залегают массивы ультрабазитов.

Последним этапом становления структуры местности было внедрение в гнейсы и ультрабазиты гранитных тел. В гнейсах жилы узнаются с трудом, они почти не отличимы от вмещающих пород, также содержа-

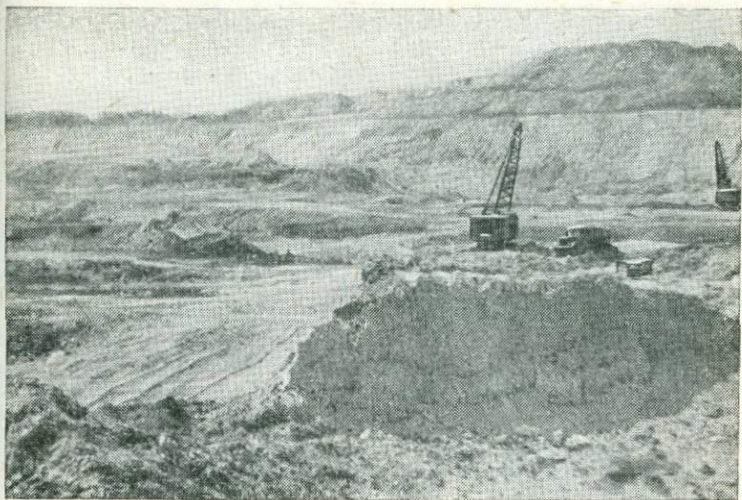


Рис. 30. Сысерть, 1970 г.; вид Главного асбестового карьера

щих гранитный материал, но в ультрабазитах они видны очень хорошо.

В районе рудника имеется несколько отдельных месторождений асбеста (рис. 30), приуроченных к отдельным ультрабазитовым телам.

Рудой на асбест являются антофиллитовые породы, явно образованные в результате изменения ультрабазита.

Однако странный это асбест. Если в образцах хризотил-асбеста асбестовое волокно выражено очень хорошо, его можно оторвать, распушить, ссучить в нитку, наконец, самое главное — по образцу грубо оценить разности, особо богатые волокном, и разности, содержащие длинноволокнистый асбест, то на Сысертском месторождении асбест в руде простым глазом совершенно не виден, и оценка качества руды может быть сделана только в результате лабораторных исследований.

Антофиллит-асбестовые породы исключительно красивы. В Центральном руднике преобладает руда, сложенная белыми брусками антофиллита. Размер брус-



Рис. 31. «Звездчатая» асбестовая руда. Сысертское месторождение (немного уменьшено)

эффектную звезду (рис. 31). Благодаря спайности антофиллита в ней появляется большое количество ровных плоскостей, которые на солнце блестят, как сотни мелких зеркал. Как и в Центральном руднике, между антофиллитовыми брусками залегает крупнолистоватый тальк.

Под микроскопом видно, что крупные антофиллитовые бруски представлены совершенно однородными правильно образованными кристаллами с хорошо развитой спайностью (рис. 32). При этом, кроме очень характерной для амфиболов совершенной спайности, идущей параллельно удлинению бруска, в них присутствует еще очень хорошо выявленная поперечная отдельность; в результате стало ясно, что при дроблении брусковидные кристаллы не смогут дать волокна. Они обязательно распадутся на брусковидные же обломки. Однако такой однородный брусок-кристалл занимает только центр кристаллической постройки, всю периферию занимают тонкие иголки того же антофиллита. Особенно отчетливо видны эти иголки на концах кристалла по удлинению — брусок переходит в «веник» из многих тончайших кристаллов-волокон, продолжающих основной кристалл. В промежутках волокон иногда удается распознать тальк. В этих тонких кристаллах отсутствует поперечная отдельность и поэтому они могут сохраниться и приобрести эластичность, в том случае, если будут освобождены из агрегата.

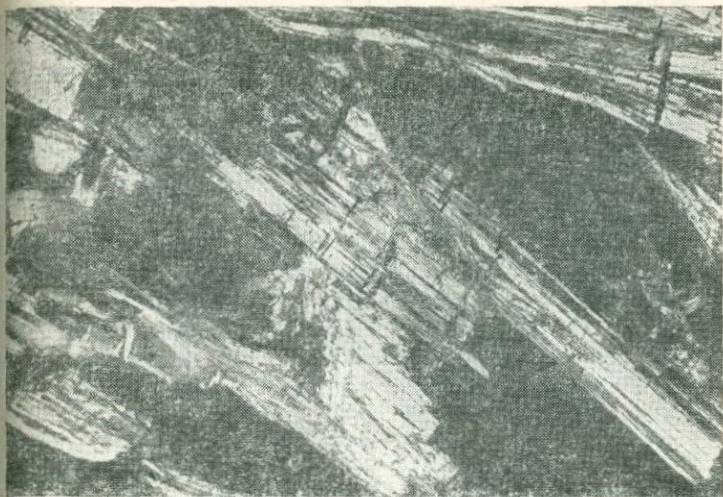


Рис. 32. Микрофотография сыертской асбестовой руды.
Увеличено в 45 раз



Рис. 33. Жила гранита в асбестовой руде.
По краям жилы биотитовая оторочка

Следует описать еще одну особенность сысертских карьеров; здесь встречается довольно много гранитных жил (рис. 33), секущих обычно антофиллитовую руду. Гранит, слагающий жилы, как правило, мелкозернистый, содержащий очень мало цветных минералов. Однако вокруг жилы всегда располагается оторочка, мощностью до 10—15 см, сложенная темной, сильно железистой слюдой (биотитом).

Происхождение месторождения вызвало очень много споров. Первые авторы, описавшие месторождение, считали, что образование антофиллитовых пород произошло в результате общего изменения ультрабазита под действием общих причин, захватывавших весь район в целом. Гранитные жилы, по этим же представлениям, более поздние и внедрились в готовые антофиллитовые руды. Таким образом, это предположение рассматривает гранитные жилы как вредный фактор, «портящий» месторождение.

Несколько лет назад, в самом начале семидесятых годов, мне пришлось консультировать работавшую в Сысerti молодую сотрудницу нашего института Л. К. Аигину, и она, проведя детальные исследования всех обнажений с рудой, известных в районе, привела следующие факты, которые не укладывались в разобранную только что схему; во-первых, ультрабазит изменен не везде, а только пятнами и, во-вторых, что самое важное, нигде нет антофиллитовой руды, не содержащей гранитных жил. Уже эти факты позволили утверждать непосредственную связь гранитных жил с антофиллитовыми породами.

Последующее детальное изучение разрезов показало, что асбестоносная порода входит в нормальную зональность измененных пород, возникающих вокруг гранитных жил в результате прогрева ультрабазита и его переработки под действием растворов, отходящих от остывающего гранита. Непосредственно к граниту, как указывалось, примыкает область развития железистой слюды, выделяющейся в условиях самого высокого разогрева и захвата всего калия, выносившимися растворами из гранита. Затем идет область выделения антофиллита, за которой следует зона талька, сменяющаяся областью развития серпентиновых минералов,

непосредственно примыкающих к неизменным ультрабазитам.

Принципиальное отличие этой схемы от предыдущей сводится к тому, что в ней признается активная роль гранита. Гранит порождает руду, а не портит ее, как это считалось ранее.

Известным подтверждением последней схемы является то, что подобная зональность описывается не только в Сысерти, но и в ряде других районов, когда гранит внедряется в ультрабазит. В сущности говоря, зональное изменение ультрабазита вокруг гранитных жил в Баженове и Джетыгаре имела тот же характер. В их случае не было только самых высокотемпературных зон, что может быть связано с меньшей глубиной залегания ультрабазита в момент внедрения в них гранита. На малых глубинах и гранит, и растворы охлаждаются быстрее, и для образования таких минералов, как слюда и амфибол, температура в контакте оказывается слишком низкой.

Другие районы асбестопроявления. Баженовское, Джетыгаринское, Аспагашское и Сысертское месторождения являются типичными примерами асбестовых месторождений. Интерес их в том, что они лучше всего изучены и на них существуют карьеры, позволяющие детально осмотреть месторождение и понять его природу. Вместе с тем, для того чтобы изучить асбестопроявления в природе и собрать характерные и красивые образцы асбеста, часто не надо ездить далеко от места жительства. Конечно, если Вы живете в Центральной России, Белоруссии, в Прибалтийских республиках или в Западной Сибири, то здесь асбестопроявления отсутствуют, поскольку нет ультрабазитов и гранитных тел, могущих изменить доломитовые породы, зато на Украине, Кавказе, Урале, Алтае и в Средней Азии, в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и в Приморье всегда есть возможность найти асбестопроявления.

Вспоминая свои закавказские школьные экскурсии, я не могу не вспомнить свои находки в районе станции Садахло, почти на границе Грузии и Армении. Сейчас я, пожалуй, не нашел бы крупной скалы, сложенной серовато-черным доломитовым мрамором; в мое время она резко выделялась на западе над равни-

ной, по которой проходит железная дорога. Скала эта заканчивала на востоке довольно мощный хребет, сложенный известняками и доломитами. В межсложных пространствах и некоторых трещинках в скале встречалось, как и в Аспагаше, немного жилок белого асбеста.

Поразили меня серпентинитовые тела и на восточном склоне Дзирульского массива, расположенном на границе Восточной и Западной Грузии. Здесь, в бассейне р. Лопани, выходят довольно крупные змеевиковые массивы; частично они оталькованы и разрабатываются местным тальковым заводом. Одно время было здесь кустарное производство тальковых резных игрушек, но сейчас этот промысел прекратился. Асбеста здесь нет. Асбестовые прожилки я встречал и в небольших серпентинитовых скалах, возвышающихся на гранитах по реке Шавгеле.

В Малом Кавказе, в пределах Армении и Азербайджана, находится довольно большая полоса выходов ультрабазитов, протягивающаяся от сел. Шорджа, расположенного севернее озера Севан, до Советской границы у Аракса. Проявления асбеста здесь известны во многих участках: в скалах севернее Севана, в Азербайджане у с. Гей-Дара и в других местах Шахдагского хребта. Если Вам удастся попасть в эти места, обязательно побродите в районе развития ультрабазитов, здесь можно собрать очень красивые образцы серпентина, хромита, магнезита и, конечно, различные асбесты. Привозили отсюда и очень интересные образцы длиноволокнистого немалита (водной окиси магния).

В западной части Северного Кавказа проходит мощная полоса ультраосновных пород, и почти везде здесь встречаются небольшие проявления асбеста. Особенно многочисленны они по р. Лабе, где эта река пересекает Беденский серпентиновый массив. Асбест образует жилки, параллельные небольшим, также жиловидным телам гранитоидов. Интересные проявления асбеста имеются в верховьях р. Кубани, там, где она прорывает полосу ультраосновных пород, а также в долинах почти всех рек, пересекающих ультраосновные массивы (р. Малка, р. Белая и др.).

В Карелии ультрабазиты крайне редки, но несмотря на это, в ряде мест можно найти проявления асбес-

та. В соседней Финляндии есть промышленные антофиллит-асбестовые месторождения, в Карелии же находили только валуны с таким асбестом. Проявления хризотилового асбеста известны в районе г. Печенги. Для этого асбеста характерно очень большое содержание железа.

Классическим районом асбестопроявлений является Урал. Кроме Баженовского и Джетыгаринского месторождений, здесь известно еще Кiemбаевское месторождение, расположенное южнее Джетыгары, несколько восточнее г. Орска. Для любителя камня Кiemбай интересен своими замечательными проявлениями немалита. Этот волокнистый минерал очень напоминает асбест, но значительно более хрупок. Немалитовое волокно не гнется и не скручивается, а ломается; отличить немалит от асбеста можно еще по блеску. Немалит, пожалуй, даже сильнее блестит, чем асбест. Конечно, химически это совершенно разные минералы — немалит $Mg(OH)_2$; хризотил-асбест $H_4Mg_3Si_2O_9$, но спутать их по внешнему виду можно.

Асбестовые месторождения известны и на Среднем Урале, около Невьянска и Тагила, около Красноуральска. Очень интересные выходы имеются в районе города Алапаевска. Здесь ранее существовал рудник, в котором иногда встречались жилки с очень длинным асбестом (до 30—40 мм в длину).

Существует старый, разрабатывавшийся еще до революции, карьер на асбестовом месторождении у г. Реж Свердловской области. Как и в районе Красноуральска, для этого месторождения характерен очень длинноволокнистый асбест. В обоих этих заброшенных карьерах приходилось мне встречать довольно много родингитовых жил, в некоторых из них были найдены хорошо ограненные кристаллы граната.

В Казахстане большой известностью пользуется Ешкеульмесское месторождение в Восточном Казахстане (Джезказган-Улутауский район), прекрасно обнаженное, где можно собрать довольно хорошую коллекцию асбестов и немалита.

Замечательное Акдовуракское месторождение асбеста расположено в западной части Тувинской республики. По типу жилкования акдовуракский асбест больше всего напоминает асбест баженовских оторо-

ченных жил. Отдельные жилки содержат асбест с довольно длинным волокном. Мне приходилось видеть волокна длиной 4—5 см. На месторождении, в период его разведки, находили очень интересные минералы начальных стадий выветривания серпентина: во-первых, керолит — очень близкий к серпентину, просвечивающий желтовато-бурый минерал, образующий жилки в серпентините, и, во-вторых, различные, довольно редкие гидромагнезиальные минералы, внешне очень напоминающие магнезит, но, к сожалению, не определимые без применения точных методов.

Если Вы попадете в Акдовурак, то обязательно обратите внимание на каменные скульптурные миниатюры, изготавливаемые народными умельцами из местного белого «агальматолита» (месторождение этого камня находится недалеко отсюда к юго-востоку). В отличие от китайского агальматолита из окрестностей г. Шанхая, тувинский — светло-серый и состоит не только из плотного глинистого минерала пиррофиллита, но и еще из водной окиси алюминия, минерала — диаспора. Надо сказать, что отличить оба минерала простым глазом очень трудно, зато под микроскопом они распознаются очень хорошо и химизм их различный. Впрочем и тувинские умельцы их различают и, по-видимому, в своих закопушках очень внимательно выбирают существенно пиррофиллитовый материал.

В Саянском хребте, близ границы между Тувой и Красноярским краем, относительно недавно обнаружено Саянское месторождение. Оно напоминает Джетыгаринское рудное поле — асбестовая руда залегает полосой вдоль крупной зоны разлома.

В Восточных Саянах, в верховьях рек Иркут и Китоя, в 6 км к северо-востоку от оз. Ильчир располагается Ильчирское месторождение. К сожалению, район, в котором оно расположено, очень труднодоступен.

На склоне Южно-Муйского хребта, также в труднодоступном районе, расположено крайне интересное месторождение, названное Молодежным. По своему строению оно очень похоже на отдельную «сопку» Баженовского месторождения. Среди геологов про это месторождение рассказывают крайне характерную историю, не знаю насколько она отвечает действитель-

ности, но важно, что она близка к правде. Когда была подана заявка на необходимое для разведки оборудование, в ней, среди прочих материалов, было требование на 1000 вил для уборки сена. Бухгалтерия геологического управления возмутилась: «Что они, животноводческую ферму там развели что ли, ну пяток коров и десяток лошадей им хватит, а для того, чтобы заготовить сена на это количество скота, хватит десяток вил». В процессе длительной переписки выяснилось наконец, что скота в партии нет совсем, а вилы нужны непосредственно для разведки месторождения. При размыве месторождения хрупкий серпентинит рассыпается в песок, а асбестовое волокно сбивается в лужах, оврагах и других водоемах в подобие ваты или войлока, и такую природную асбестовую вату перед разведкой надо убрать, так как она мешает рытью шурфов и бурению. Обычно на асбестовых месторождениях такой ваты (или войлока) немного, и она легко убирается обычной лопатой; что же касается Молодежного месторождения, там эта «вата» в некоторых местах была настолько плотна и мощна, что единственным средством для ее уборки, «изобретенным» местными геологами, были сенные вилы.

Мы очень мало знаем об асбестовых месторождениях Дальнего Востока и Приморья. Здесь известны пока только отдельные минералогические находки.

ПОЧЕМУ АСБЕСТ ВОЛОКНИСТЫЙ

Самым интересным свойством асбеста является его волокнистость, причина которой долгое время была загадкой. Существовали только неподтвержденные предположения. Высказывались две возможные гипотезы. По первой из них предполагалось, что асбестовые волокна получаются при наложении на минерал двух направлений весьма совершенной спайности. Действительно, если предположить, что слюдяные листочки так же хорошо разделялись бы по второму, перпендикулярному к первому, направлению, вместо листочков должны образоваться волокна. О таких асбестах говорили как об «асбестах спайности». Вторая гипотеза считала, что асбест складывается длинными минеральными кристаллами — иголками. Поскольку та-

кие иголки должны совпадать по длинной оси, постольку можно предположить, что эти иглы могут быть повернуты в любом направлении перпендикулярно к удлинению. Поэтому такие асбесты назывались «асбестами вращения».

В последние годы, когда к изучению строения асбестов были привлечены новейшие методы исследований, удалось от более или менее остроумных догадок перейти к точному знанию. Действительность же, как это часто бывает, оказалась не только более простой, чем самые вероятные догадки, но вместе с тем совершенно неожиданной и много более сложной. Забегая вперед, скажу сразу, что «асбесты спайности» пока в природе не встречены. Природа амфибол-асбестов оказалась близкой к «асбестам вращения», а волокнистость хризотил-асбестов оказалась весьма своеобразной.

Чтобы подойти к современному объяснению волокнистости хризотил-асбеста, приведу пример, хорошо передающий изменение настроений исследователей в последние годы и общее развитие наших знаний о кристаллах. Рассказывают, что, когда впервые Уиттекер и Брегг рассчитали структуру хризотила, они на основании полученных данных изобразили ее как структуру слоистого силиката, т. е. как структуру, состоящую из серии наложенных один на другой бесконечных пакетов или листов, каждый из которых в свою очередь состоит из слоя кремне-кислородных тетраэдров и тесно связанного с первым слоем магнезиально-кислородных октаэдров. Термины тетраэдр и октаэдр обозначают простые геометрические фигуры: тетраэдр — фигура, ограниченная четырьмя гранями, сходящимися в четыре трехгранных угла, каждая грань — равнобедренный треугольник; в целом тетраэдр по форме соответствует молочному бумажному пакету. В углах тетраэдра располагаются ионы кислорода, а в центре — ион кремния. Такие тетраэдры связаны в непрерывную сетку таким образом, что каждый располагающийся сверху кислород составляет общую вершину двух соседних тетраэдров. Октаэдр — восьмигранная фигура, где грань составляет такой же, как в тетраэдре, треугольник, в целом же фигура представляет собой как бы сложенные основаниями две четырехгранные пира-

миды. Вершины октаэдров заняты ионами кислорода, а в центре размещается ион магния. Октаэдры эти также образуют непрерывную сетку, причем у двух соседних октаэдров имеется одна общая грань (подробнее см. с. 128—136). Все это, конечно, словами рассказать крайне трудно несколько легче понять рисунок, однако и он достаточно сложен. Вместе с тем я надеюсь, что из моего рассказа читатель уловил, что в предложенной Уитеккером и Бреггом структуре каждый пакет, слагающий листовую структуру серпентина, состоит из двух слоев, в одном из которых промежутки занимают кремний, а в другом магний, а это самое главное. Когда Уитеккер сделал сообщение об этой структуре, то его резко раскритиковал Полинг, сказавший примерно следующее: «Ваша структура невозможна, ведь размер (точнее, радиус иона) кремния (1,17) намного меньше размера (радиуса иона) магния (1,60), в результате чего кремнекислородный слой будет уже магний-кислородного и будет натягивать последний; такая структура будет закручиваться, а кривых кристаллов не бывает». Уитеккер немедленно согласился с критикой; позднее построил новую модель структуры, где положения ионов кремния и магния периодически менялись местами, чем компенсировались содержащиеся натяжения и могла осуществиться «прямогранность» кристаллов. «Справедливость» была восстановлена. Однако примерно через 10—15 лет после этого, когда был изобретен электронный микроскоп, одним из первых объектов, изученных с помощью этого прибора, было хризотил-асбестовое волокно и удивлению исследователей не было предела; оказалось, что эти волокна представляют собой трубки. При этом, когда удалось измерить их величину и кривизну, оказалось, что кривизна волокон в точности соответствует той кривизне, которую получают листочки по первоначальной «ошибочной» модели. Иначе говоря, Уитеккер и Брегг оказались правы, а Полинг ошибся, говоря, что кривогранных кристаллов не бывает; оказывается, что в микромире такие кристаллы бывают; найдены и другие вещества, имеющие подобные же закрученные структуры.

Интересен и еще один факт: число слоев, слагающих каждое волокно, весьма ограничено, и не встреча-

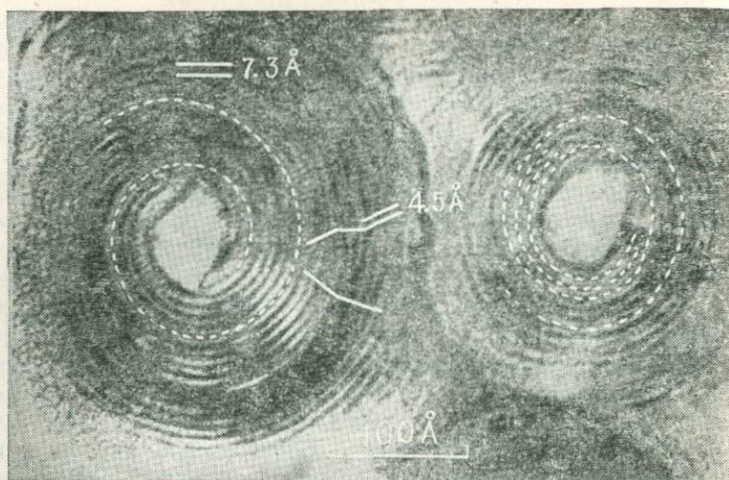


Рис. 34. Строение хризотил-асбестовых волокон.

Хорошо распознается спиральное закручивание волокна. Можно измерить и размеры пакета (из работы японского минералога Яда)

ется волокон, где число закрученных в трубку двух-слойных пакетов больше девяти; при большем числе пакетов они должны сильно распрямляться, что энергетически весьма невыгодно, и новому слою легче образовать новое волокно, чем нарастать на старый зародыш.

Итак, каждое элементарное волокно асбеста представляет собой трубку (рис. 34). Ее толщина ограничена девятью пакетами и элементарным начальным закручиванием зародышевого кристалла. Обычно толщина волокна около $260 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$), а его длина может быть бесконечно большой; здесь уже структура кристалла не препятствует росту (рис. 35).

Возникает еще один вопрос; в асбестовой жилке все волокна параллельны и направлены в одну сторону, наиболее обычно — перпендикулярно к стенкам трещины. Значит помимо простого закручивания в трубочки должен быть еще какой-то механизм, который ориентирует зародыши трубок в определенном направлении. Конечно, это предположение совершенно правильно, такой механизм действительно существует, он изучен до-

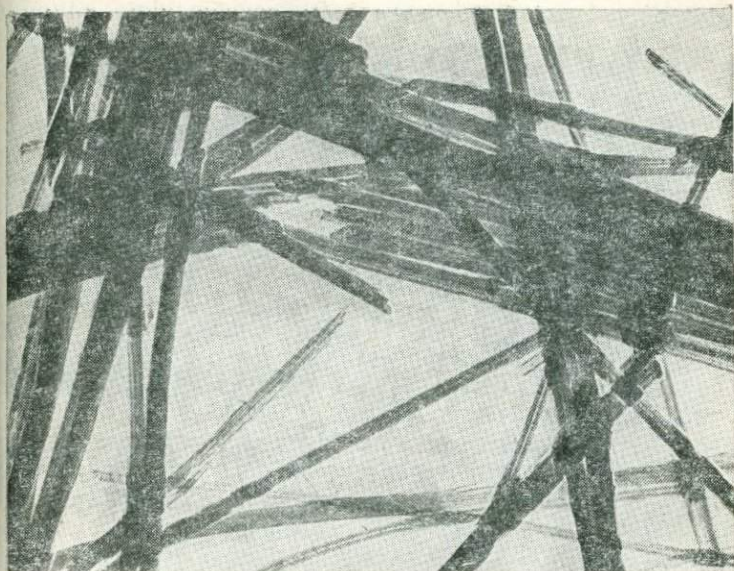


Рис. 35. Вид хризотил-асбестовых волокон под электронным микроскопом.
 Во многих волокнах просвечивает центральная полость (светлая линия в середине волокна)

вольно давно и носит название «геометрического отбора».

Геометрический отбор возможен тогда, когда игольчатые кристаллы начинают кристаллизоваться на какой-нибудь относительно ровной поверхности; при этом на поверхности кристаллизации возникает большое число зародышей, направленных самым различным образом, однако, те кристаллы, которые направлены параллельно плоскости кристаллизации или под небольшим к ней углом, очень скоро встретят соседние кристаллы, упрутся в них и прекратят свой рост, тогда как кристаллы, расположенные перпендикулярно к плоскости кристаллизации, развиваются свободно и продолжают расти. В результате такого отбора на некотором расстоянии от поверхности кристаллизации остаются только кристаллы, которые росли перпендикулярно к последней. Чем совершенней иглообразная форма кри-

сталлов, чем тоньше иглы, тем совершеннее влияние геометрического отбора. В нашем случае исключительно тонких и очень длинных трубок такой отбор достигает полного совершенства.

Внимательный читатель безусловно сделает мне довольно серьезное замечание. Механизм геометрического отбора, описанный выше, может ориентировать кристаллы только перпендикулярно к поверхности кристаллизации, но выше, в начале описания этого процесса, было указано, что волокна асбеста «в большинстве своем» ориентированы перпендикулярно к стенкам трещины, значит есть случаи, когда волокна асбеста ориентированы не перпендикулярно к стенкам, а такая ориентировка не может быть результатом геометрического отбора. Да, такая ориентировка действительно существует, но и она является также результатом геометрического отбора; косая ориентировка волокна в трещинах возникает в том случае, когда подвижки по трещине происходят уже после того, как началась кристаллизация асбеста и создалась совершенная ориентировка его волокон. При такой поздней подвижке все волокна оказываются повернутыми и продолжают расти далее уже в повернутом относительно трещины положении.

Итак, волокно асбеста представляет собой тончайшую длинную трубочку, образование которой связано со структурой серпентина, но волокнистые скопления возникают только тогда, когда трубчатые кристаллы свободно растут в полостях кристаллизации.

Еще несколько слов о структуре серпентина; сейчас мы ее знаем много лучше, чем раньше, причем оказалось, что среди серпентиновых минералов встречаются и такие, которые построены по принципу «искривленной» решетки Уитеккера, и такие, где положение магния и кремния периодически меняется; такая постройка может давать бесконечные гофрированные листы (рис. 36); именно такая структура приписывается сейчас листовому серпентину, так называемому антигориту. Существуют еще, видимо, серпентины, где часть атомов кремния и магния могут замещаться другими атомами (глинозема, железа), компенсирующими изгибающие усилия. Такие структурно-плоские серпентиновые постройки получили название лизардита по местности, где они были впервые изучены.

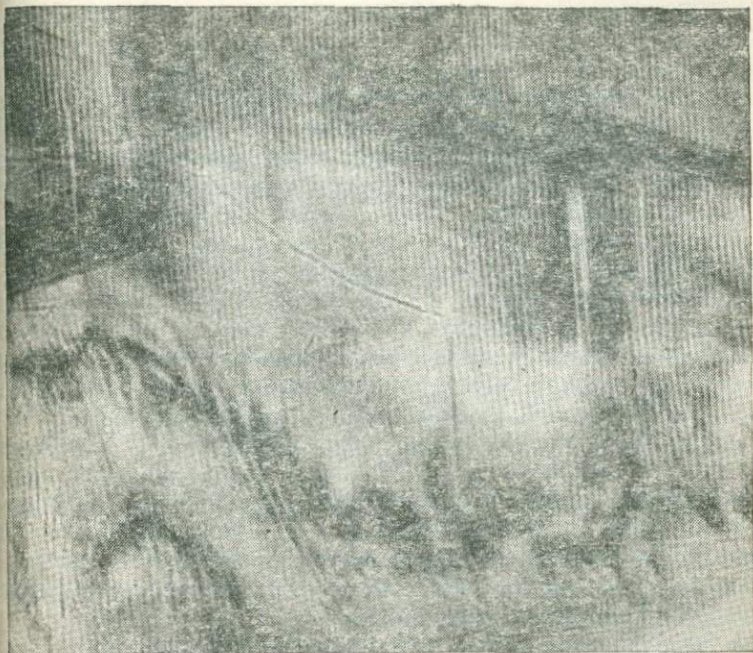


Рис. 36. Поверхность антигоритовой пластинки под электронным микроскопом; хорошо видна волнистость поверхности пластинки (фото А. И. Горшкова)

Таким образом, среди серпентиновых минералов (или иначе «в группе серпентина») выделяются три различных по микростроению разновидности, которые имеют разные названия: а) трубчатая — хризотил, б) гофрированная — антигорит и в) плоская — лизардит. Все они имеют примерно одинаковый химический состав, который можно изобразить формулой $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_8$.

Структурные различия серпентиновых минералов возникают в результате различных условий их кристаллизации; в результате по минеральному типу серпентина можно судить об условиях, которые господствовали в процессе серпентинизации. Сейчас, однако, нам особенно важны условия, отчасти рассмотренные выше, в которых возникают жилки строго ориентированных кристаллов — трубочек хризотила — хризотил-асбеста.

Волокнистость роговообманкового асбеста долго оставалась неясной, да и сейчас не все понятно, однако первые соображения уже можно высказать. Еще в конце пятидесятых годов мне и работавшему тогда вместе со мной Ю. К. Андрееву пришлось внимательно изучать электронные микрофотографии роговообманкового асбеста из Казахстана. Почти всегда асбестовые волокна представляли собой совершенно ровные нитки, которые могли возникать и в результате распада по спайности и в результате прямой кристаллизации кристаллических иголок. И только на одной фотографии нам удалось разглядеть на конце одной из ниток косую боковую грань. Если «обрыв» нити перпендикулярно к ее длине может быть объяснен разрывом по спайности, появление косой ровной грани этим не объяснить. Это могла быть только грань, образовавшаяся в процессе роста иголки-кристалла. На этом основании мы тогда же написали, что роговообманковые асбесты Казахстана нельзя рассматривать как «асбесты спайности» и что они, скорее всего, являются «асбестами вращения» — т. е. иголочками минерала, кристаллизовавшиеся в разных направлениях.

Впоследствии, уже в семидесятых годах, когда мы совместно с Л. К. Аигиной изучали Сысертские асбестовые месторождения, причину их волокнистости открыл нам обычный оптический микроскоп. Удалось обнаружить, что центр каждого антофиллитового кристалла сложен бруском единого кристалла с характерной поперечной отдельностью. По краям и в особенности на концах кристалл разделяется на многие тончайшие волокна, по форме напоминающие конский хвост. Волокна представляют собой продолжение кристалла и образуются в результате быстрого роста его отдельных участков (см. рис. 32).

Причина появления волокон на краях единого кристалла стала ясна тогда, когда начались экспериментальные исследования по синтезу роговообманкового асбеста. Такие работы ведутся в Институте силикатов в Ленинграде и в Новосибирске в Институте геологии и геофизики. С нашей точки зрения, наиболее интересными являются работы новосибирцев, которые показали, что при высоких температурах, около точки плавления, кристаллизуются толстопластинчатые кристаллы. Одна-

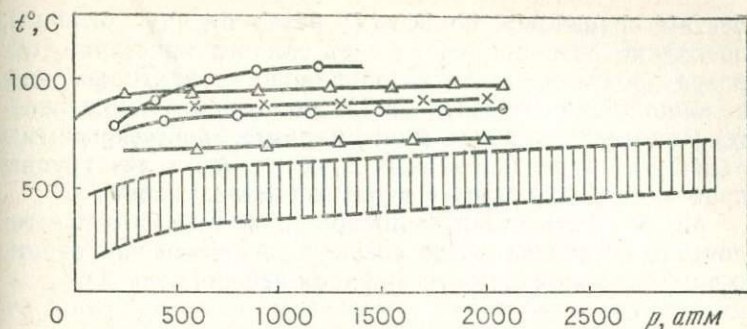


Рис. 37. Условия образования волокнистых разновидностей амфиболов. Линии с различными значками — верхние границы области кристаллизации амфиболов; в их пределах образуются столбчатые кристаллы; заштрихованная область — p и t -условия, при которых экспериментально получены волокнистые амфиболы (амфибол-асбесты)

ко по мере снижения температуры кристаллизации начинают образовываться все более и более игольчатые кристаллы. Новосибирцы даже показали область, где возможно получение волокнистых асбестовидных кристаллов (рис. 37). Эта область относится к самым низким температурам образования кристаллов роговой обманки.

Сопоставляя данные эксперимента и описанные выше наблюдения в природе, можно предполагать, что вначале антофиллит кристаллизовался при высоких температурах и образовывал брусковидные кристаллы; позднее, когда температура контактного поля снизилась, устойчивыми стали тонковолокнистые кристаллы, которыми и продолжался рост единого кристалла; образовался тот «веник» волокон, о котором говорилось выше. С кристаллизацией волокон в условиях относительно низких температур согласуется также и то, что в промежутках между волокнами антофиллита кристаллизуется тальк — минерал, образующий следующую за антофиллитом более низкотемпературную зону.

Особенности образования роговообманкового асбеста указывают на то, что наиболее перспективны на асбест зоны кристаллизации антофиллита при самых низких температурах.

В заключение отметим, что роговообманковые асбесты довольно близки к предполагавшимся ранее «ас-

бестам вращения», но все же резко от них отличны, поскольку развиваются за счет единого кристалла, образуя «конский хвост» из одинаково ориентированных волокон. Если получить от такого пучка волокон рентгенограмму, она будет иметь характер рентгенограммы одинаково ориентированных кристаллов, а не группы кристаллов, повернутых в разных направлениях.

Может быть это и было причиной того, что рентгеновские исследования до сих пор не давали нам ответа о природе волокнистости амфибол-асбестов.

СПУТНИКИ АСБЕСТА

Если Вы любитель камня, то конечно мечтаете посетить возможно больше рудников; ну, а если попадаете на рудник или на обнажение какой-либо горной породы, возникает новое страстное желание — собрать побольше красивых образцов и, если после экскурсии приходится возвращаться с пустым рюкзаком, то... Нет, я не люблю возвращаться с экскурсии без камней, и почти всегда мой рюкзак полон, а чем он полнее, тем лучше настроение, иногда несмотря на большую усталость.

Что же можно собрать на асбестовых рудниках? В первую очередь, это, конечно, жилки асбеста, причем интерес представляют не только мощные жилки с длинным волокном, что обычно попадает в коллекцию, но также все виды жилкования. Очень красивы некоторые образцы мелкопрожила. Очень хорошо выглядят образцы отороченных жил, в особенности если удастся взять асбестовую жилку вместе с серпентиновой оторочкой и вмещающим неизмененным ультрабазитом. Следует только предупредить коллекционеров, что асбест не полируется; обычно после распиловки образца жилка асбеста выглядит куском грязной ваты; приходится выщипывать перепиленные волокна, и тогда в образце появляется неприятная «выемка». Совершенно иначе ведет себя змеевик, не содержащий асбеста. Он прекрасно пилится и полируется, причем цвет его делается более густым, и камень приобретает хорошую просвечиваемость. Чем светлее серпентинит в образце, тем красивее этот образец будет после полировки.

Очень красивы плоскости скольжения по серпентиниту; поверхность скольжения обычно красиво окрашена, блестящая, с характерными и очень эффективными бороздами скольжения. Образуется такая плоскость, если горообразующие силы сдвинут одну часть породы относительно другой.

Иногда среди серпентинита встречаются участки или жилки переотложенного серпентинита, или, как его иногда называют, офита. Они имеют серый или светло-зеленый цвет. В случае достаточно мощных жилок или крупных участков такой офит может быть использован для различных поделок, так как прекрасно полируется и иногда несет красивый узор из темных минералов, марганцевых окислов или включений магнетита.

Хорошие образцы можно найти и среди неизмененных ультрабазитов. Некоторые чисто оливиновые участки (дуниты) сложены прозрачными кристаллами, очень красивы в полировке и обладают эффектным «бутылочно-зеленым» цветом; следует только учесть, что в минералогических справочниках, когда говорят о бутылочно-зеленом цвете, имеют в виду не современную бутылку из-под минеральной воды, которая действительно зеленая, а старинную пивную бутылку, которая скорее бурая или буро-зеленоватая, чем зеленая. Цвет оливина тоже, скорее, буровато-зеленый. Крупные кристаллы такого оливина считаются драгоценными камнями, и под именем хризолита подвергаются огранке. Надо, однако, отметить, что находить ограночные оливины на асбестовых месторождениях мне не приходилось.

В ультрабазитах довольно часто встречаются включения хромита — довольно редкого черного непрозрачного минерала. Особенно красивы куски ультрабазита с вкраплениями хромита.

Вне асбестовых карьеров, близ гранитных жил, можно найти очень эффектные образцы тальковой породы — стеатита; изредка в них встречаются жилки с кристалликами пластинчатого светло-голубого благородного талька. Стеатит — однородная порода, иногда очень красивая. Благодаря своей мягкости (а стеатит — один из самых мягких минералов), он легко режется стамесками и ножом, обрабатывается напильником и часто служит объектом для изготовления мелких скульптур. Стеатит легко шлифуется обычной абразив-

ной бумагой (шкуркой), полируется обычной оберточной бумагой, тряпкой и зубной пастой. Мягкость камня, однако, является и его недостатком, так как изделие можно поцарапать ногтем.

Очень красивые минералогические сборки можно сделать в жилках родингита — хлорито-гранатовой породы. Образуется она в результате взаимодействия магматической породы, относительно богатой кальцием и глиноземом, с ультрабазитом, который, как уже отмечалось, всегда богат магнием. За счет магния и глинозема кристаллизуется хлорит — зеленый листоватый минерал, очень похожий на слюду, но в отличие от слюды, которая упруга, хлорит очень легко ломается. За счет кальция образуется кальциево-алюминиевый гранат — грассуляр. Обычно родингит — плотная бурая порода, совершенно не интересная для коллекционера, но иногда в ней встречаются пустоты, выполненные блестящими прозрачными белыми или розовыми гранатами и листочками хлорита.

В ультрабазитах, особенно в разностях, обогащенных хромитом, в трещинах встречаются иногда еще несколько интересных минералов. Прежде всего, это очень яркий изумрудно-зеленый кальциево-хромовый гранат — уваровит. Он легко узнается по цвету. Наиболее часто это сплошные зернистые зеленые массы, но иногда и налеты кристалликов, тогда штуф просто сияет на солнце. Здесь же иногда встречаются примазки темно-фиолетового пластинчатого или сплошного хромового хлорита — кеммерерита. Это редкий минерал, и образец его может украсить любую коллекцию.

Наконец, в связи с ультрабазитами был встречен на Урале (в районе Нижнего Тагила и около Полевского завода; странным образом, в обоих случаях на речках, носящих название Бобровка) исключительно редкий, окрашенный хромом кальциево-железистый гранат, получивший научное название демантоида, который, однако, так же гранился под названием «хризолита», что и оливин, но, в общем, он был дороже, чем хризолит-оливин, и выглядел много эффектнее. Именно демантоид упоминает в своих сказках П. Бажов, описывая драгоценные камни Полевского завода.

Еще целую серию интересных минералов можно найти, если встретятся участки ультрабазитов, измененных

на дневной поверхности, или, как говорят геологи, если встретится «древняя кора выветривания на ультрабази-тах». В таких ультрабазидах можно найти куски снежно-белого магнезита ($MgCO_3$) с характерной округло-шершавой поверхностью, напоминающей поверхность кочна цветной капусты, и магнезит в значительной степени замещенный опалом ($SiO_2 \cdot nH_2O$). Такой снежно-белый опал носит название «кахолонга» и является очень ценным поделочным камнем. Встречается здесь и зеленый, окрашенный никелем опал — «хризопраз», окрашенный железом — розовый, «огненный опал»; да и обычный полупрозрачный белый опал часто очень красив. Любителю камня только нужно иметь в виду, что все опалы нужно очень аккуратно и медленно сушить. Теряя воду, кусочек опала может потрескаться, побелеть и полностью потерять первоначальный красивый вид.

Совершенно иные сборы можно сделать на месторождениях амфибол-асбеста. На первое место следует здесь поставить различные образцы роговообманковых пород: «звездчатые» сростки антофиллита, брусковидные кристаллы, различные интересные сростки. Весьма красивы тальковые породы и крупные кристаллики магнезита. В контактах гранитных жил иногда развиваются породы с крупными (размером в спичечную коробку) кристаллами биотита.

Особенно любят искатели камня корунд, встречающийся иногда среди биотита, в тех местах, где уже нет гранитной жилы. Обычно кусочки корунда, встречающиеся здесь, являются отдельными кристаллами, хотя и не имеют кристаллических огранений. Иногда в образце видна зональная синяя (сапфировая) окраска разной интенсивности, хорошо подчеркивающая шестигранность кристаллов и то, что каждый неправильный обломок является частью единого кристалла. Размеры таких обломков могут быть самыми разнообразными; наиболее часто я находил обломки размером «в пятак», но иногда встречались куски «в кулак». Прозрачных, ювелирных разновидностей встречать не приходилось, но все же эти кристаллы очень красивы. К сожалению, полировать эти кристаллы крайне трудно. Они исключительно тверды; тверже корунда только алмаз. Обычные абразивные порошки его не берут. Ювелиры полируют

драгоценный корунд (сапфир и рубин) алмазным порошком или алмазной пастой.

Всех интересных находок предусмотреть нельзя, однако тем и интересна природа, что всегда, при каждом новом посещении карьера удастся найти что-либо новое и по-новому взглянуть на процессы, которые привели к образованию того или иного минерала и полезного ископаемого.

Любителю камня следует иметь в виду, что асбестовые руды представляют промышленную ценность даже при очень небольшом содержании асбеста. Некоторые месторождения содержат в среднем 3—4% асбеста, но выгодно обогащать руды, содержащие всего 1,5—2,0%, конечно, только в том случае, если месторождение крупное. Кроме того, нужно учитывать, что промышленности требуется не только длиноволокнистый асбест, находят потребителя и коротковолокнистые разновидности, всего в доли миллиметра. Эти требования можно резюмировать следующим образом: любая находка видимого асбеста может иметь практическое значение; всякое обнаруженное любителем камня месторождение асбеста безусловно должно быть показано специалисту и изучено.

НА АСБЕСТОВОЙ ФАБРИКЕ

Когда я первый раз попал в г. Асбест, а это было во время Великой Отечественной войны, меня страшно поразили асбестовые фабрики. Над ними, особенно над старыми, строительство которых было начато еще в прошлом веке, стояло облако белой пыли. Во время ветра эта пыль сыпалась на соседние дома и соседний лес, и от фабрики, как хвост от кометы, в сторону преобладающих ветров отходил белый шлейф. Внутри фабрики рабочие ходили в респираторах, защищавших легкие от попадания асбестовой пыли, и все-таки страшная, близкая к чахотке болезнь — асбестоз, — вызывавшаяся мелкой асбестовой пылью, навечно попадающей в легкие и «выводящей их из строя», была огромной опасностью для всех жителей Асбеста.

Недавно я снова был в Асбесте; это красивый зеленый город с новыми зданиями и комфортабельными квартирами, и нигде здесь ничто не напоминает те

«пыльные бури», которые вызывал работающий асбестовый завод.

Руда с автосамосвалов поступает в цех, где размеры кусочка породы доводятся до величины ореха. При этом выделяются и подвергаются распушиванию только самые крупные жилки асбеста. Дробленая руда вместе с распушенным асбестом поступает на крупные «грохота» — несколько наклонные плоские железные сита с крупными отверстиями. Мелкие кусочки породы вместе с заключенным в них асбестом проваливаются через грохот, а крупные скатываются в нижний конец грохота, здесь собираются и идут вновь в «крупное» дробление. Над грохотом располагается большое, шириной во весь грохот, сопло, напоминающее сопло обычного комнатного пылесоса. Сюда всасывается воздух из-под грохота, а вместе с ним вся пыль и сбившиеся в ватоподобные комки волокна асбеста, распушенного в процессе первого, самого крупного дробления асбестовой руды. В транспортёре волокна отделяются от пыли и составляют один из лучших сортов добываемого асбеста.

Кусочки породы, прошедшие сквозь грохот, подвергаются новому дроблению, которое сопровождается выделением более мелких волокон и его дальнейшей распушкой. Этот продукт поступает на грохот, и вновь от него отсасывают всю пыль и весь распушенный асбест. Естественно, что сюда попадают уже несколько более короткие волокна асбеста, чем волокна, получаемые после первого дробления, поэтому и сорт асбеста является более низким.

Длительная серия последовательных дроблений асбестовой руды, сопровождаемой распушкой все более и более коротких волокон асбеста, позволяет полностью освободить волокно от пустой породы, и последняя, содержащая только небольшую примесь асбестового волокна, поступает в отвал; собственно в отвал поступают далеко не все отходы; многие отрасли промышленности потребляют серпентиновый порошок, являющийся отходом асбестового производства.

Если Вам придется ехать на поезде между Свердловском и Омском, то обратите внимание на путевой балласт: он необычного темно-голубого цвета — этот песок и есть отходы асбестового производства. Темно-зе-

ленный искусственный песок можно встретить и на шоссейных дорогах Свердловской области.

Проходя по цехам современной асбестовой фабрики, очень трудно представить те исключительно тяжелые условия, в которых работали рабочие на старых дореволюционных асбестообогатительных фабриках. Надо отметить еще, что и волокно, получаемое на новых фабриках, много лучше того, которое удавалось извлекать на старых.

НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ АСБЕСТА

Начал я писать этот раздел, но дальше заглавия у меня не пошло. Отложив ручку и в «конец» расстроившись, решил выйти в город. По пути пришлось перебираться через канаву, группа рабочих полностью перекопала весь тротуар и часть дороги — проводят телефонные кабели в соседний, новостроящийся жилой массив. Еще несколько дней назад опустили в котлован большие цементные колодцы. Круглые чугунные крышки, которыми прикроют выход из колодцев, лежат сбоку, а сейчас в котлован, прорытый между двумя соседними колодцами, опускают длинные, двух-трехметровые серые трубы, скрепляя их цементом и такими же серыми манжетами. Телефонные кабели будут потом протянуты внутри этих труб; трубы пересыпают песком, укладывая одна на другую до десятка штук. Трубы тяжелые, килограммов двадцать в каждой. И как часто бывает, я остановился, залюбовавшись дружной работой. Присмотрелся, да ведь трубы то асбоцементные.

Вот этот яркий пример использования асбеста в народном хозяйстве и можно принять как начало. Легко подсчитать, что, если параллельно прокладываются хотя бы пять труб, то на 2,5 м телефонной линии будет уложено около 100 кг асбоцемента, а на километр требуется порядка 40 т. В асбоцементе примерно четверть чистого асбестового волокна. Легко прикинуть, что количество асбеста, необходимое для телефонизации Москвы, будет весьма велико. Но ведь Москва — не единственный город, использующий асбоцементные трубы для телефонизации.

Асбоцементные трубы использует сельское хозяйство для мелиорации земель. Используются они как водо-

проводные и канализационные трубы, трубы отвода раз-
ных отходов промышленности и для многих других це-
лей.

Еще одним очень широким применением асбоцемента является изготовление кровельного шифера. Это, пожа-
луй, наиболее удобный, наиболее популярный и деше-
вый кровельный материал для небольших жилых и
складских помещений. Большим достоинством асбоце-
ментного шифера является малый вес на единицу пло-
щади, легкость кладки и ремонта, относительно хоро-
шая прочность и долговечность.

Используется асбоцемент для изготовления крупных
стеновых панелей и отдельных архитектурных деталей,
там где необходима тонкость и прочность изделия.

Роль асбеста в асбоцементе примерно та же, что
железного каркаса в бетоне. Тонкое, прочное волокно
асбеста хорошо связывается с цементом и создает в
асбоцементном изделии прочный каркас, позволяющий
получить прочные тонкостенные трубы, довольно тонкие
панели для стеновых покрытий и кровельный шифер.
Асбест в этих изделиях работает на излом и растяже-
ние, а цемент создает связку между волокнами и рабо-
тает на раздавливание.

Старинное умение изготавливать из асбеста пряжу и
ткани сейчас значительно усовершенствовалось, и те-
перь для ряда хозяйственных надобностей они изготов-
ляются как из чистого асбестового волокна, так и с до-
бавкой небольшого количества хлопкового волокна. Из-
готавливаются также асбестовые тормозные ленты, иногда
с добавкой бронзовой проволоки, и много других по-
лезных изделий. Конечно, на текстильные изделия идет
самый лучший, самый длинноволокнистый асбест.

В лабораториях и в промышленности широко приме-
няется теплоизоляционный асбестовый шнур и асбесто-
вый картон; наконец, как ученые в лабораториях, так и
многие хозяйки в быту используют как огнеупорную
подкладку проволочную сетку с асбестовой смазкой.
Применяются различные асбестовые бумаги, теплоизо-
ляционная асбестовая вата и различные огнеупорные
обмазки, содержащие часто большое количество ас-
беста.

Асбест в тех или иных количествах входит в состав
лаков и красок, иногда с целью придания им большей

огнеупорности, иногда же для создания эффекта шелковистости.

В химической промышленности асбест, вернее асбестовую вату, используют как основу для изготовления катализаторов.

Очень большой отраслью промышленного производства является изготовление различных асбесто-резиновых и асбесто-пластиковых изделий. Волокно асбеста, так же как и в асбоцементе, укрепляется пластиком и придает ему значительную огнеупорность. Так, в частности, из особенно богатых асбестом асбопластиков готовятся многие автомобильные прокладки и уплотнители. Широко известны различные конструктивные и электроизоляционные асбопластики.

Химически стойкие асбопластики изготавливаются из наиболее стойкого химически антофиллитового асбеста. Для приготовления изделий, не соприкасающихся с агрессивными жидкостями, используют хризотилвый асбест.

Особенно высокие электроизоляционные свойства придает асбопластикам маложелезистый асбест, крупных месторождений которого у нас пока не найдено.

За рубежом сейчас, как указывается в литературе, при изготовлении асбопластиков используют исключительно мелкие асбестовые волокна. При этом, как отмечается, короткое волокно оказывается даже лучше, чем более длинное, однако необходимо асбестовое волокно освободить от пыли — мелких более или менее шарообразных частиц.

Современное народное хозяйство не может обойтись без асбеста, и несмотря на то, что общая мировая добыча асбеста довольно велика, его не хватает. Перспективы использования этого высокоценного минерального волокна исключительно велики. Особенно ценно было бы асбестовое волокно, если бы можно было изменять его свойства — повысить его электроизоляционную способность, изменить цвет или прочность, придать большую эластичность или твердость, повысить огнестойкость и т. д. Кроме того, промышленности необходима строгая стандартизация продукции, что крайне трудно достижимо при использовании природного продукта. Из всего этого вытекает очень простая мысль: а нельзя ли получать асбест искусственно в нужных нам формах и

в нужных количествах? Ведь теперь выращивают многие очень нужные промышленности кристаллы; даже алмаз сейчас получается искусственно. Неужели нельзя получить искусственный асбест? Это тем более заманчиво, что слагают асбест весьма широко распространенные в природе элементы.

Оказывается получить асбест искусственно можно, но говорить о промышленном синтезе пока еще рано; слишком плохо известны условия роста волокнистых кристаллов. Лабораторные опыты, проводившиеся в нашей стране и за рубежом, показали, что в некоторых условиях из растворов при высоких давлениях и температурах удается получать как хризотил, так и волокнистые разновидности роговых обманок. Однако получаемое волокно еще очень короткое.

Удачные опыты чередуются с неудачными, и необходима дальнейшая большая исследовательская работа, и только тогда, когда будут совершенно точно известны условия образования необходимых волокон, можно будет говорить о возможностях постановки опытов в крупных заводских или полужаводских условиях.

Вместе с тем, я не сомневаюсь, что будущее за искусственным асбестом, и, вероятно, недалеко то время, когда появятся фабрики, на которых в крупных автоклавах при больших давлениях и температурах будут искусственно выращиваться асбестовые волокна, обладающие заданными свойствами.

Это несомненно будет, но пока нам приходится пользоваться замечательными дарами природы и использовать природный асбест, возможности применения которого практически беспредельны.

VITRUM MOSCOVITICUM — СТЕКЛО ИЗ МОСКВЫ

ВВЕДЕНИЕ

Как-то, еще в самом начале двадцатых годов, на чердаке нашего дома в Тбилиси мне попался старый, развалившийся граммофон. После некоторой чистки, смазки и заклепки порванной пружины это сооружение, хрипя и срываясь, «выдавало» не очень громкое подобие музыки. Многое в этом «скрипе», «хрипах» и «срывах» зависело от моей починки, кое-что было связано и с системой этой старой машины, но меня вдохновляло уже то, что машина все-таки пела. Самое же главное, что привлекло мое внимание, тогда еще начинающего минералога, было то, что в этом граммофоне в качестве мембраны стояла тонкая слюдяная пластинка. Края слюдяной пластинки были закреплены в плотной оправе, а с центром мембраны был скреплен рычаг, связанный через ряд шарниров с граммофонной иглой. Колебания иглы, увеличиваясь с помощью рычага в амплитуде, передавались слюдяной мембране, колебания которой, усиливаясь рупором граммофона, создавали музыку, которая приводила в восторг меня и моих друзей.

Этот старый граммофон я всегда вспоминаю, когда сталкиваюсь со свойствами слюды. Слюдяная мембрана старого граммофона является яркой иллюстрацией этих свойств. Тонкая, совершенно ровная, упругая пластинка слюды — граммофонная мембрана — очень четко реагировала на колебания иглы, сама колебалась и пружинила, создавая звук в трубе граммофона.

Со слюдой тогда, в двадцатые годы, приходилось встречаться и в повседневной жизни. Все горожане готовили пищу на керосинках, фитиль в которых постоянно приходилось регулировать по высоте. Для этого в жестяной стенке керосинки делалось «окошко», закрывавшееся тонким листочком слюды, через которое хорошо был виден и фитиль, и характер пламени керосинки. Этот пример иллюстрирует еще одно свойство слюды —

ее тугоплавкость. Температуры до 500—700°C слюда выдерживает довольно хорошо и не теряет прозрачности.

Слюда — прекрасный электроизолятор. Ее листочки очень прочны, и для того, чтобы их разорвать в поперечном направлении, необходимо приложить очень большие усилия. Все эти свойства слюды сейчас широко используются в электро- и радиотехнике. Тонкие пластинки слюды, обрезанные точно по шаблону, используют как изолирующую прокладку конденсаторов, из них также штампуют очень сложные детали — изоляторы, на которых монтируют электроды радиоламп и различные радиодетали. Большое количество слюды используется как изоляторы в электромоторах и трансформаторах, при этом применяется как листовая слюда, так и различные комбинации из мелкой слюды.

Отошли в прошлое граммофоны со слюдяной мембраной, давно в городах не существует «керосиновых лавок», где вместе с керосином, свечами и мылом продавались листочки слюды для вставок в окна керосинок, но потребность в слюде не уменьшается, наоборот, она интенсивно растет, и главным потребителем слюды сейчас является электротехника.

Огромная потребность в электротехнической слюде и высокая ее цена были причиной организации в двадцатых и тридцатых годах нынешнего столетия очень широких геологических работ, охвативших буквально весь мир. К сожалению, однако, результаты этих работ были более чем скромными. Промышленная слюда оказалась очень редким минералом, хотя слюда в природе распространена очень широко. Общее количество слюды составляет несколько процентов от веса всей земной коры, но все это чрезвычайно мелкие листочки, зачастую различные только при микроскопическом изучении образца горной породы, промышленности же требуются ровные листочки размерами не менее 5—7 см².

Существует два типа промышленных слюд: мусковит — наиболее прозрачная, упругая и наиболее прочная слюда, в химическом составе которой относительно много глинозема и практически не содержится железа, и флогопит — слюда, в которой много магния и относительно много железа.

Слюдяная промышленность нашей страны самая древняя. По-видимому, еще новгородцы ломали муско-

витовую слюду на многочисленных месторождениях Карелии и Кольского полуострова. Эти месторождения до сих пор дают довольно много очень хорошей слюды. Более крупными являются месторождения, расположенные по течению р. Мамы, притоку Витима.

Имеются в нашей стране и месторождения флогопита. Старейшим из них считается Слюдянское, расположенное близ южного конца оз. Байкал. Из этого месторождения получено очень много слюды для промышленности, а в музей попало большое количество прекрасных образцов сопутствующих минералов. Сейчас это месторождение оставлено; добыча слюды здесь прекращена. Все любители камня, конечно, огорчены таким решением, но что делать, законы экономики неумолимы, и каждый рубль, вложенный в горную промышленность, должен обязательно давать прибыль. Слюда, видимо, еще осталась в недрах Слюдянки, но достать ее отсюда очень дорого и трудно.

Вторым районом месторождений флогопита является группа месторождений Алдана.

Наконец, флогопит добывают в Ковдорском месторождении на Кольском полуострове. Здесь слюда добывается с помощью глубоких шахт и больших подземных выработок.

Каждое слюдяное месторождение своеобразно как по минералам, которые встречаются вместе со слюдой, так и по условиям залегания слюды. В каждом месторождении распределение слюды по рудной зоне и по всему рудному району контролируют свои закономерности, определяемые в первую очередь условиями образования слюды и всех сопутствующих ей горных пород, и тем не менее, автору трудно рассказывать о всех месторождениях слюды нашей страны. Главное затруднение заключается в том, что для показа причин различий месторождений, а также их практического и теоретического значений необходимо привлечение очень большого дополнительного материала, который может увести изложение очень далеко в сторону.

Ниже рассказывается только о некоторых слюдоносных жилах Мамского поля и о Слюдянской флогопитоносной провинции, этого, видимо, будет достаточно, чтобы показать, что поиски, новые находки и успешные разработки выявленных концентраций слюды являются

результатом очень большой работы геологов, изучающих слюдяные месторождения, и свидетельством глубокого знания условий формирования этих сложных геологических образований.

Все это так, но сколько споров идет между геологами, сколько разных, совершенно противоположных мнений высказывается об одном и том же явлении. Как различны подходы, с которыми каждый специалист смотрит на то или иное явление. Многие, ранее хорошие друзья, стали потом, на почве теоретических споров, непримиримыми врагами... Но вместе с тем, сколько неожиданных новых открытий принесли исследования и сколько радости у самого исследователя, когда удастся найти новый факт, который, как лучом фонаря в темноте, осветит природу того или иного явления, и тем самым откроет путь к новым еще более интересным открытиям.

Это и составляет прелесть работы геолога-исследователя и из-за этого стоит жить, работать, спорить и даже ссориться.

ИСТОРИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛЮДЫ

Сейчас точно не известно, когда впервые была начата эксплуатация месторождений слюды, но безусловно, этот минерал «более молодое» полезное ископаемое, чем асбест. Причина этого мне, как геологу, совершенно очевидна и заключается она не в том, что слюда была менее полезна в народном хозяйстве, чем асбест, а в том, что месторождения слюды гораздо более редки, чем месторождения асбеста, и, кроме того, находятся очень далеко от центров древней цивилизации.

История использования слюды в промышленности во многом еще не ясна, но уже достаточно отчетливо видно, что первой крупнолистовой слюдой, с которой познакомилась европейская цивилизация, была слюда Карелии. В XVII и начале XVIII веков она широко возилась на запад из Архангельского порта и была одним из важнейших экспортных товаров нашей Родины. Своеобразным доказательством этого является само название — мусковит, которым сейчас называют светлую слюду, происходит это название от Москвы, или пра-

вильнее «Московии», откуда оконная слюда поступала на западный рынок. Научная история этого названия начинается с конца XVIII столетия, когда, следуя предложенной Линнеем двойной систематике, известный немецкий минералог Валериус дал промышленной слюде название, помещенное в заголовке раздела (*vitrum moscoviticum* Wall). Впоследствии система двойных названий в минералогии не удержалась — сохранилось только второе слово термина.

Первые случаи использования слюды для вставки в окна, видимо, имели место в древнем Новгороде в X—XII веках, когда в этом центре русской цивилизации шло освоение богатств Кольского полуострова и Карелии.

Завоевание Новгорода и Пскова Иваном Грозным, видимо, познакомило московских правителей с этим минералом. Во всяком случае, в исторических справочниках по слюде, как в монографии, составленной вскоре после революции И. И. Гинзбургом, так и в более поздней книжке, опубликованной экономистом Э. П. Либманом, считается, что в XVI веке шел большой торг слюдой и что английские купцы вывозили слюду из России, предпочитая ее еще не совершенному тогда оконному стеклу. Упоминает в своих записках, написанных около 1575 г., о слюде, добываемой в районе г. Кереть, немец-опричник Генрих Штаден. Э. Либман, кроме того, разыскал в архивах указание, что в 1562 г. Кирилло-Белозерский монастырь закупал для своих нужд карельскую слюду.

В самом начале XVII века существовала в Карелии уже достаточно крупная слюдяная промышленность. Имеются сведения, что уже к 1608 г. относится Указ московского правительства о сборе подати с добываемой слюды в размере одной десятой всего добытого ее количества.

Организатором слюдодобычи в начале XVII века становится Соловецкий монастырь, а главными специалистами по ее добыче продолжают оставаться жители г. Кеми. Количество слюды, добывавшейся в эти годы, установить довольно трудно; во всяком случае, она составляла сотни пудов ежегодно. Так, в частности, по собранным Э. Либманом сведениям, в 1689 г. десятая часть слюдодобычи, взятая в казну, составила 30 пудов;

другие приводимые для этого же времени цифры такого же порядка.

Однако совершенно очевидно, что далеко не всю добытую слюду удавалось учитывать. В ссылках на исторические документы постоянно указывается на «воровство» слюды и существование «воровского» торга слюдой вне всяких законных путей. Не безгрешны в этом смысле были сами руководители слюдяного дела, лица, которые должны были контролировать сбыт слюды. Так, указывается на жалобу, поданную во времена Алексея Михайловича на архимандрита Варлаама, который присваивал деньги, полученные за незаконно проданную слюду.

Центром торговли карельской слюдой являлся Архангельский порт, где собиралась слюдяная десятина для Москвы и где слюда покупалась иноземными купцами для западных рынков. Однако, кроме Архангельска, «воровской» торг слюдой, как можно видеть из многочисленных запретительных указов, пресекавших «воровство», велся и на Кольском берегу, куда подходили на мелких судах иноземные покупатели.

К середине XVII века выявляется самостоятельный центр слюдодобычи в Сибири. Из имеющихся в литературе сообщений не очень ясно, попадала ли сибирская слюда на московский и европейский рынки или целиком потреблялась на месте. Видимо, все-таки роль местного потребления слюды была довольно велика и сибирская промышленность развивалась независимо от карельской, хотя весьма вероятно использование карельского опыта слюдодобычи и слюдоиспользования.

Первыми из сибирских слюдяных месторождений, видимо, были открыты месторождения по р. Тасеевой. Здесь еще в 1642 г. Алексей Жилин начал добычу слюды и вел ее не менее 10—15 лет. Позднее были открыты месторождения на берегу оз. Байкал «в урочище за Костючной рекой». Открывателем месторождения был эвенк Зивсягла, сообщивший о нем в 1682 г. пятидесятнику Ангарского острожка Щербакову. На месторождение была послана партия под руководством служилого Андрея Маркова с товарищами, которые привезли пробу слюды весом 20 фунтов и сообщили, что попасть на месторождение можно «идучи от устья Верхней Ангары реки, по Байкалу озеру на правой стороне,

а от Байкала озера до той слюды в гору через два озерку версты с две». Поскольку это место было богатым и легкодоступным, тогда же была начата добыча слюды. Указывается, что уже в 1638 г. Иван Штиников, организовавший добычу, уплатил в казну десятинные сборы в размере 25 пудов и 2 фунтов, иначе говоря, добыл не менее 250 пудов слюды.

Освоение и изучение Сибири приводит в конце XVII века к новым интереснейшим открытиям. К 1683 г. относится указание Владимира Атласова о наличии слюды на Алдане. Месторождения эти позднее были забыты, и только через 250 лет, перед самой Великой Отечественной войной были открыты вновь. Тогда же началась их эксплуатация, дававшая слюду для обороны страны.

К последней четверти XVII века относится открытие слюдяных месторождений в Мамском районе Иркутской области. Большую роль сыграл Киренский монастырь, организовавший ломку слюды по р. Витиму (и, очевидно, на р. Маме) в 1689—1701 гг.

Реформа Петра I и организация русского флота резко увеличили потребность в слюде, которая шла в основном для защиты пламени фонарей от ветра. В 1706 г. вышел указ, запрещающий продажу слюды частным лицам и закреплявший всю добытую слюду за государством.

Однако уже через 20 лет ограничения были сняты и была разрешена беспощинная добыча слюды.

Первая четверть XVIII века была тем временем, когда окрепла стекольная промышленность и оконное стекло стало обычным в любом строительстве. Естественно, что это самым существенным образом сказалось на слюдяной промышленности. Добыча слюды в это время начинает резко уменьшаться, а затем прекращается, хотя, как указывается, в середине XVIII века в Карелии еще велась ломка слюды на многих месторождениях.

Добыча слюды в Сибири продолжалась, видимо, дольше, чем в Карелии. Очень интересные сведения на этот счет приводит акад. Василий Севергин в своей замечательной книге «Технология минерального царства», опубликованной в 1821 г. Он пишет (с. 187): «Ломка слюды, проводящаяся на Алдане с 1689, а на

Маме с 1705 года, составляет по сей стране главный промысел многих поселян. Они соединяются артелями человек по сорок, кои выбирают себе старосту, который распоряжает у них дела и ведет щеты. Ломщики закупают из общей складки утварь, съестной запас и пр. Добытую слюду за один поход продают сообща, и делят между собой деньги по мере участия каждого. Обыкновенно двое из них исправляют кузнечную работу, двое кашевары, а двое приискивают и обнаруживают новые слюдяные места. Слюдяные места имеют по большей части крышку из талька*, называемого «барга», который удобно выгребается».

«Ломщики (слюдяники) разделяют добытую слюду на три разбора: 1) мелкую, называемую у них шитую, то есть, которая сшивается вместе, и коей листы имеют не более 4 дюймов в квадрате (25 см^2); 2) среднюю от 5 до 10 квадратных дюймов (от 30 до 65 см^2); 3) широколистную в один фут (930 см^2) и более. Для сбережения пластин развозят их не расщепляя».

В отношении использования слюды В. Севергин, с ссылкой на академика И. Георги, путешествовавшего по Сибири в 1760—1770 гг., пишет (с. 188): «Хотя от заведенных мало по малу стеклянных фабрик и от привоза оконных стекол употребление слюды для окон весьма умалилось, однакож оно остается еще весьма значительно для корабельных окон, для фонарей и окон малых домов по городам и деревням, особливо в Сибири. Слюдяные окна зимой не обмерзают, и могут быть чищены мыльной водой; малые листы сшивают вместе для составления больших; также и дыры в больших листах зашивают малыми. Слюдяные листы на открытом воздухе становятся мутны, но как каждый лист,

* В. Севергин делает явную ошибку — барга ничего общего не имеет с тальком. Баргой и сейчас называют обрывки слюды, долго лежащей на дневной поверхности; при этом слюда теряет калий, поглощает некоторое количество воды и становится мягкой. Находка барги всегда вызывает интерес, поскольку под нею часто встречаются хорошие жилы, однако сейчас барга обычно встречается на «стариковских ямах», в тех местах, где ранее велась добыча слюды для окон. На богатых слюдой жилах барга может образоваться и без участия человека. Полевой шпат легко дробится в мелкий песок и смывается дождевыми водами. Слюда же остается в крупных листах на месте и образует баргу.

сколь бы он тонок ни был, состоит еще из большого числа листков, то через отщипливание оных можно верхние листы по нескольку раз возобновлять. Поелику большие листы имеют всегда более или менее волнистую плоскость, то сквозь них хотя из комнаты и хорошо видно, но в комнату не видно».

Вряд ли что-либо следует добавлять к этому описанию; здесь есть все, вплоть до сравнения слюдяных окон со стеклянными.

Последняя «вспышка» древней добычи слюды в Карелии была связана с тем, что в 1797 г. Адмиралтейская коллегия вынесла решение о более широком применении листовой слюды в фонарях морского флота и поручила главному командиру Архангельского порта обеспечить покупку слюды. Вскоре выяснилось, что мусковита в продаже нет совершенно. Тогда была организована ломка слюды силами чинов флота. В сохранившихся донесениях указывается, что «на Черноречном устье при селе Керетьском лейтенант Горяинов во главе 13 человек нижних чинов в два года мог заготовить слюды только 15 пудов 37 фунтов, тогда как посланный ему на смену констапер Кормацкий в пять месяцев доставил к Адмиралтейству слюды до 17 пудов». Флотская добыча слюды велась около 20 лет, причем было добыто более 500 пудов слюды.

Возрождение слюдяного промысла в начале XIX века было искусственным и не привело к его возобновлению. Рудники были вновь заброшены и месторождения забыты.

Дальнейшая история слюды относится уже к концу XIX столетия, когда на европейском рынке появилась индийская слюда. Весьма интересно, что в конце XIX и начале XX столетий слюду в основном употребляли на различные хозяйственные нужды, в числе которых И. И. Гинзбург, писавший сводку по слюде в 1919 г., указывал абажуры для ламп, очки для пожарных и рабочих-металлургов (при попадании искр или капель металла стеклянные очки лопаются, а слюдяные сохраняются полностью), плоские и цилиндрические «стекла» для керосинок, газовых горелок и различных печей, маски противогазов, упомянутые выше мембраны для граммофонов. Много слюды использовалось для покрытия икон, а слюдяной порошок добавляли в краску, при-

меняли в обойном деле и т. д. Главное же современное применение слюды — ее использование в электротехнической промышленности, развивалось очень медленно и только в период мировой войны, начавшейся в 1914 г., становится достаточно существенным.

Появление потребителей слюды привело в начале XX столетия к новым попыткам оживления слюдяной промышленности в России; в особенности это относится к сибирским месторождениям. Еще в девяностых годах прошлого столетия пытался добывать тасеевскую слюду промышленник Черемных, а в 1904 г. на Согдиогдонских месторождениях Мамской группы пытался возобновить добычу слюды «баргузинский купец — золото-промышленник» А. Л. Томчик, который тогда приобрел несколько слюдоносных копей. Позднее, в 1914—1916 гг. добычу слюды на Маме пытался вести предприниматель П. П. Гаряев. По имеющимся данным, количество слюды, добытой в эти годы, было невелико и вряд ли превышало первые десятки тонн.

Несколько большей была добыча флогопита на Слюдянском руднике на юге Байкала, где в 1912—1916 гг. было добыто до 82 т «обрезной слюды».

Военные события 1914 г., революция и необходимость восстановления народного хозяйства, в чем должна была огромную роль играть его электрификация, потребовали большое количество электротехнических материалов, среди которых одним из важнейших была природная слюда. Вопрос о необходимости возобновления слюдяного промысла был поставлен наиболее четко организованной в начале войны в Академии наук «Комиссией по изучению естественных производительных сил России», работавшей под руководством акад. А. Е. Ферсмана. Этой комиссией уже к 1919 г. была опубликована сводка И. И. Гинзбурга по слюде, где были показаны важнейшие места старой добычи слюды в Карелии и даны рекомендации по возобновлению слюдодобычи, а также приведено большое количество данных по зарубежной слюдяной промышленности.

Восстановление слюдяной промышленности в Мамском районе началось в 1925—1926 гг., причем большую роль в этих работах играли сотрудники московского Института минерального сырья. Не обошлось и без сложностей. В период интервенции П. П. Га-

ряев продал свои заявки американской компании, которая предъявила свои права на ряд Мамских рудников и пыталась взять все месторождения в концессию.

Следующий «акт» организации слюдяной промышленности Советского Союза имел место уже во время Великой Отечественной войны, незадолго до которой «были вновь открыты» Алданские флогопитовые месторождения, и уже во время войны была организована интенсивная добыча слюдяного сырья в таких количествах, что удалось полностью покрыть потребности военного времени.

Наконец, уже в послевоенное время было сделано еще одно крупное открытие. На Кольском полуострове в районе, богатом слюдяными месторождениями, около поселка Ковдор было выявлено месторождение флогопитовой слюды, совершенно непохожее на все ранее известные. То, что слюды здесь много, было видно уже в самом начале геологических работ. Однако вызывала большое сомнение возможность применения этой слюды в качестве электроизоляционного материала, поскольку ковдорские слюды содержали больше железа, чем слюды Слюдянки и Алдана, и кроме того, в них много воздушных включений. Однако опыты показали, что качество этих слюд может считаться удовлетворительным и сейчас здесь существует рудник, дающий относительно дешевую электротехническую слюду.

Потребление слюды с ростом электротехнической промышленности резко растет, а количество слюдяных месторождений увеличивается медленнее, чем хотелось бы. Особенно редко встречаются наиболее ценные белые мусковитовые слюды. Добыча их производится в старых районах: в Карелии и в Мамском районе, где велась ломка слюды еще в допетровские времена. Давно уже добыча слюды ведется шахтами с большой глуби-
ны.

ПРИЧИНЫ СВОЕОБРАЗИЯ СЛЮДЫ

Жарко. Мы сидим на вершине гольца, обращенного к Витиму, протекающему где-то внизу. Здесь лес вырублен, и ветерок, идущий снизу от реки, сдувает всех комаров. Можно немного отдохнуть после длительного пути по выработкам, в тайге, где над каждым из нас клубилась черная туча комаров.

Под нами разведочная канава. Только что здесь взята проба: из выработки вынут тщательно замеренный объем породы, обычно это около 1—2 м³, и из нее выбрана вся слюда. Кучка слюды еще лежит рядом. В ближайшие дни эта кучка в строго маркированных ящиках будет отправлена на фабрику, где слюду очистят, выделяют из нее все ценное, а отходы откинут, и можно будет точно сказать о содержании слюды в жиле, а может быть и о ее запасах. Это в будущем, но и сейчас уже видно, что жила богатая; кучка отобранной слюды довольно большая; слюда хорошая и легко расщепляется.

Мы — это очень серьезные люди; два профессора — один из Ленинграда, другой из Москвы, главный геолог районного Геологического управления, геолог рудника, геолог участка, проводящий здесь разведку, и два молодых студента, «бравших пробу»: хорошенькая девчоночка и паренек с любопытными глазами, оба «вдребезги» испуганные комарами. Разговор наш тоже очень серьезен, рудник почти исчерпал разведанные ранее запасы слюды, через некоторое время некуда будет ставить рабочих. Разведку нужно срочно направить так, чтобы она по возможности скорее выявила бы слюдоносные жилы. Выработка, на которой мы сидим, позволяет надеяться на нужные результаты; но как зацепиться за эту выработку? Куда пойти дальше? И мы спорим, взвешивая все «за» и «против».

В разгаре спора мне вдруг становится не по себе: что же я делаю? Взял кусок слюды из лежащей рядом пробы и усиленно его разрываю на мелкие листочки. Чем активнее спор, тем быстрее движутся мои руки, и тем тоньше листочки, падающие на землю. Я ведь порчу пробу; из этого куска выйдет несколько граммов деловой слюды, правда, при общем содержании слюды во многие десятки килограммов эта потеря не так велика, но все же портить пробу совершенно недопустимо для геолога. Отрываюсь от спора, смотрю на моих спутников, и у каждого из них в руках по кусочку слюды, и каждый «дерет» слюду ничуть не меньше моего. Ленинградский профессор очень интересно, просто талантливо, рассказывает об особенностях рассматриваемой жилы, которые мы все видели, но никто ранее не придавал им значения, а вместе с тем именно они, эти особенно-

сти, решают всю проблему. Однако и у него в руках оторванный листочек слюды. Смотрю на геолога рудника, за ним последнее слово, он соглашается и вместе с тем не соглашается, «внимательно», явно ничего не видящим взглядом, смотрит на кусок слюды, который держит в руках, отрывает от него тонюсенький листочек и кладет на прежнее место; листочек немедленно приклеивается; геолог пытается оторвать его, ничего не получается, зацепляет ногтем, но слюда рвется по своему месту. Бросает кусок, и, продолжая слушать, берет новый кристалл слюды и снова начинает его «щипать». Даже девчоночка, которая, открыв рот и смотря большими глазами на знаменитого профессора, внимательно его слушает, держит в руках кусочек слюды, от которого время от времени отрывает тонкие листочки и бросает на землю.

Наконец спор закончен; все единодушно решили, что жила «стоящая»; на основе немногих признаков наметили ее возможное продолжение и решили подсечь ее на глубине с помощью буровых скважин. Сейчас же геолог рудника отдал приказ, и уже на следующий день к жиле начали пробивать просеку для перевозки буровой установки. Забегая вперед, скажу, что жила оправдала наши ожидания и дала много хорошей слюды.

Описывая наш спор на вершине гольца, я совсем не имел в виду судьбу жилы. Меня заинтересовало другое; споря на месторождении все участники совершенно механически щипали слюду. Позднее я всегда стал присматриваться к людям, имеющим дело со слюдой, и должен отметить, что щипка слюды удивительно завлекательное занятие, и оно так же захватывающе, как «лузганье» семечек.

Способность слюды разрываться на тончайшие пластинки изумительна. Она присуща слюдяному кристаллу, и чем лучше кристалл, тем совершеннее эта способность. Прекрасно раскалываются как природные, так и синтетические кристаллы. Причина этой способности, безусловно, лежит в структуре слюдяных кристаллов.

Слюда принадлежит к группе минералов, которая носит название силикатов. В этом названии подчеркнута, что основу химического состава составляет кремне-

зем — окись кремния (или силиция). Кислород и кремний определяют структуру всех силикатов. Мы уже имели случай упоминать, что кремний четырехвалентен и поэтому каждый атом кремния связан с четырьмя атомами кислорода. Каждый из двухвалентных атомов кислорода с атомом кремния связан одной связью, вторая же остается свободной и может войти в соединение с каким-либо другим катионом или другим атомом кремния.

Четыре атома кислорода расположены на равных удалениях один от другого, а это возможно только в том случае, если эти атомы расположены в углах правильного четырехгранника — тетраэдра, хорошо знакомого всем по форме молочных пакетов.

В структуре всех силикатов обязательно присутствуют такие кремне-кислородные тетраэдры, но роль их в структуре разных силикатов различна. Свободные кислородные связи тетраэдров могут быть связаны с каким-либо катионом, и тогда в составе минерала будет содержаться четыре атома кислорода на один атом кремния (SiO_4). Такое строение имеют многие минералы, наиболее обычен среди них оливин, формула которого $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \times \text{SiO}_4^*$. Однако возможны структуры, в которых один кислород связан с двумя кремниевыми ионами; такая связь может быть схематически изображена двумя тетраэдрами с одной общей вершиной. Возможны и более многочисленные связи между тетраэдрами, вплоть до того, что каждый кислород связан с двумя кремниями (рис. 38, б). Получается в результате сплошная вязь тетраэдров, как это имеет место у кварца, формула которого SiO_2 . Возможны и промежуточные случаи. Так, в структуре пироксена в каждом тетраэдре два атома кислорода являются общими с соседними (рис. 38, а), в результате возникает единая цепочка тетраэдров. В составе этих минералов на один кремний приходится два кислорода; формула наиболее

* К группе оливина относится чисто магнезиальный минерал форстерит Mg_2SiO_4 , а к группе пироксена известково-магнезиальный диопсид $\text{MgCa}(\text{SiO}_3)_2$ — оба минерала очень широко распространены в районе слюдяных месторождений к югу от Иркутска.

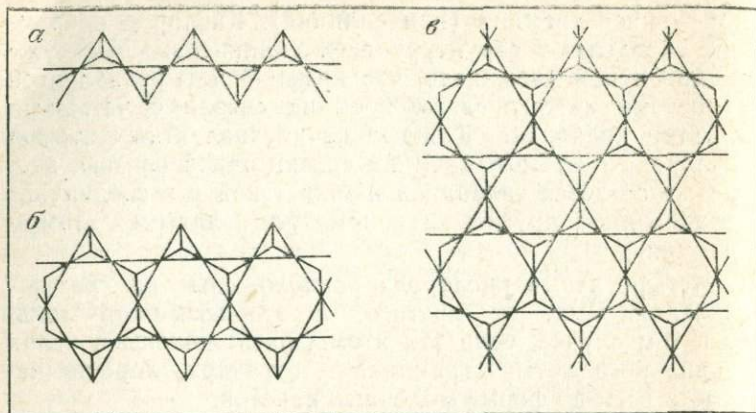


Рис. 38. Соединение кремне-кислородных тетраэдров через общий кислород.

а — цепочка — основной элемент строения минералов группы пироксенов (диопсид); *б* — двойная цепочка («пояс») — основной элемент строения минералов группы амфиболов; *в* — бесконечный лист — основной элемент строения слюд и других «листовых силикатов»

простого минерала энстатита из группы пироксенов пишется как MgSiO_3 .

В том случае, когда каждый кремне-кислородный тетраэдр связан общим кислородным атомом с тремя другими — возникает сплошная, в принципе, бесконечная сетка, в которой стороны тетраэдров образуют шестигранники, полностью выполняющие плоскость (рис. 38, *в*). Состав минералов с такой структурой изображается формулой, в которую обязательно входит частица Si_4O_{10} , именно это и имеет место у слюды. В разрезе (рис. 39) хорошо видно, что в сетке с одной стороны располагаются атомы кислорода, одна из валентностей которых свободна и может быть связана каким-либо катионом. В основе структуры слюды лежат две сетки, одна из которых располагается внизу, другая вверху, а выходящие в середину свободные кислороды насыщаются катионом, находящимся в промежутке. Промежуточным катионом обычно бывает алюминий (в мусковите) или магний (во флогопите). Такие очень прочные листочки в общей постройке слюды связаны между собой крупным одновалентным катионом, обычно калием.

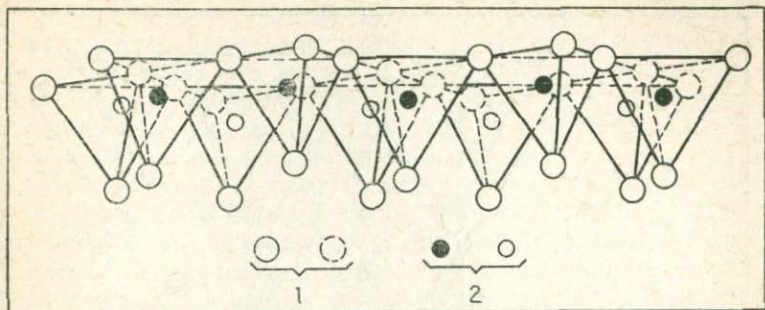


Рис. 39. Бесконечный лист кремне-кислородных тетраэдров. Вид сбоку; внизу располагаются «свободные» кислородные ионы, обладающие способностью связывать катионы.

1 — ионы кислорода; 2 — ионы кремния

Уже простой взгляд на изображенную на рис. 40 структуру слюды, если, конечно, учесть, что она «бесконечно» продолжается во все стороны, позволяет видеть, что слюдяная постройка будет легко разрываться по плоскостям между структурными листочками (через калий) и будет очень трудно рваться поперек листов, что в действительности и имеет место. Структурой, близкой к структуре слюд, обладают и другие минералы (хлориты, тальк и др.), и все они очень легко разрываются на тонкие листочки; конечно, на свойствах таких, оторванных по спайности, листочков довольно сильно сказывается состав промежуточного слоя, характер межслоевой связи и расстояние между слоями. У слюд межслоевая связь слаба, а слои очень прочны, поэтому слюдяные кристаллы, если их раскалывать по спайности, дают тонкие и упругие листочки.

То, что разобранное только что строение слюды справедливо и что слюда действительно «рвется по калию», можно легко увидеть из очень простого опыта. Оторвите свежий листочек слюды и на место отрыва капните капельку раствора иодистого калия. Когда капля раствора высохнет, на поверхности слюды останутся мелкие кубические кристаллики иодистого калия. На слюде же, если посмотреть на кристаллики в лупу, все кристаллики выглядят как трехгранные пирамидки и все своими гранями ориентированы закономерно по отношению к слюде, хотя все они разные по размерам. Как

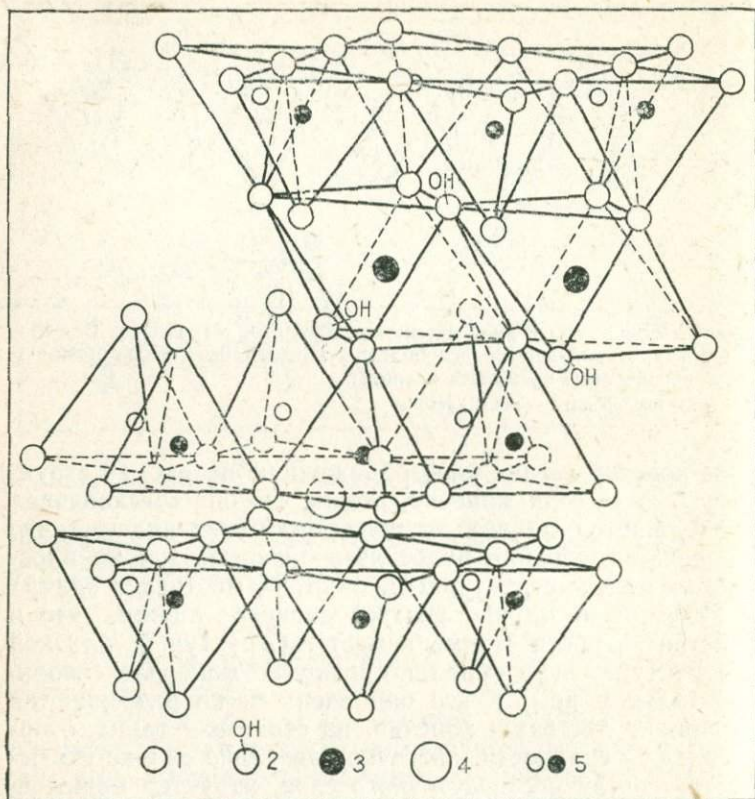


Рис. 40. Структура мусковита.

Отчетливо видно, что основу слюды составляет трехслойный пакет, с обеих сторон которого располагаются листы кремне-кислородных тетраэдров. Направленные внутрь ионы кислорода этих листов насыщаются катионом, образующим третий внутренний слой (у мусковита этот катион представлен алюминием). Трехслойные пакеты связываются между собой через ион калия. 1 — кислород; 2 — гидроксил; 3 — алюминий; 4 — калий; 5 — кремний (на $\frac{1}{4}$ замещен алюминием)

будто кто-то разрезал кубики через углы и тщательно разложил параллельно один другому. Причина этого очень проста: расстояния между ионами калия на оторванном листочке слюды примерно такие же, как между ионами калия в кристалле иодистого калия. Поэтому в начале кристаллизации ион иода «ошибается» и садится на ионы калия, принадлежащие слюде, так же, как

и на «свои» ионы. Таким образом, листочек слюды играет роль затравки для иодистого калия, а поскольку на всей поверхности листочка слюды ионы калия располагаются совершенно одинаково, постольку все кристаллы иодистого калия, нарастающие на эти ионы, тоже оказываются одинаково ориентированы.

При разрыве слюдяного кристалла часть ионов калия остается на нижней части листочка, часть на противоположной, верхней. Энергия, которую необходимо приложить для расщепления слюды, в конечном итоге идет именно на разрыв связей иона калия с обоими структурными слюдяными ионами. В свежеоторванных слюдяных листочках эти связи оказываются свободными, и если вскоре после отрыва на слюдяной листочек положить другой, тоже свежеоторванный, то может произойти весьма замечательное явление: оторванные листочки так плотно «приклеятся» друг к другу, что никакой возможности их вновь оторвать не будет, слюда будет рваться по новому месту. Особенно прочно такая «склейка» произойдет в том случае, если оба листочка будут находиться в параллельном положении или под углом около 60° . Тогда большое число свободных связей, разорванных при расщеплении, смогут в той или иной мере восстановиться.

Спайность — способность кристаллов раскалываться по определенным граням, очень строго связанным со структурой кристалла — замечательное и чрезвычайно важное свойство. У слюды эта способность выражена наиболее четко и лежит в основе ее использования.

При структурном единстве всех слюд химический состав отдельных их разновидностей резко различен, главным образом за счет выполнения промежуточного слоя. В наиболее распространенной группе промышленных слюд, в мусковитовых слюдах, в промежуточном слое располагается алюминий. Для них характерно большое постоянство состава, и, самое главное, в них, как правило, содержится очень мало железа. Вторая группа слюд, распространенная в природе значительно шире, чем мусковитовые слюды, характеризуется присутствием магния в промежуточном слое. Для этой группы слюд типично большое содержание железа; атом железа в структуре слюды может занимать то же место, которое занимал магний. В зависимости от состава эти

слюды имеют и разные названия: чисто магнезиальные слюды и те слюды, в которых мало железа, называются флогопитами, а слюды, в которых железа примерно столько же, сколько и магнезия, называются биотитами, и наконец, почти чисто железистые — лепидомеланами. Флогопитовые слюды являются хорошими изоляторами и используются в промышленности, как мусковит, а богатые железом биотитовые и лепидомелановые слюды имеют много худшую изоляционную способность, малопрозрачны, и поэтому не имеют практической ценности, хотя и встречаются в природе иногда в крупных листочках.

Различия в составе разных слюд определяют и условия их встречаемости в природе; мусковитовые слюды встречаются среди пород, богатых глиноземом, а флогопит можно найти только там, где вмещающие породы богаты магнезией, но одновременно бедны железом, иначе возникнут слюды, богатые железом, но эти слюды, очень интересные для исследователя, не нужны промышленности.

МАМСКОЕ СЛЮДОНОСНОЕ ПОЛЕ

Город Мама, расположенный на р. Витим, является центром слюдяного района. Полоса слюдоносных жил протягивается почти меридионально (рис. 41) и р. Витим пересекает ее ближе к северному концу. Если от г. Мама следовать вверх по Витиму, то попадешь на прииск Колотовка, расположенный на левом берегу реки, а еще выше, но уже на правом берегу, располагаются прииски Большой и Малый Северные. Отсюда дорога идет в «гольцы», к северу, где иногда удается находить жилы, содержащие слюду.

Дорога на прииски, расположенные к югу от р. Витима, идет от прииска Колотовка. По р. Колотовке, через гольц Переважный можно перейти в долину Луговки, где встречались богатейшие слюдоносные жилы. Несколько южнее рудника Луговки слюдоносная полоса переходит через р. Маму, и здесь располагается наибольшее число приисков, многие из которых до сих пор дают слюду. Наиболее крупным из них является рудник

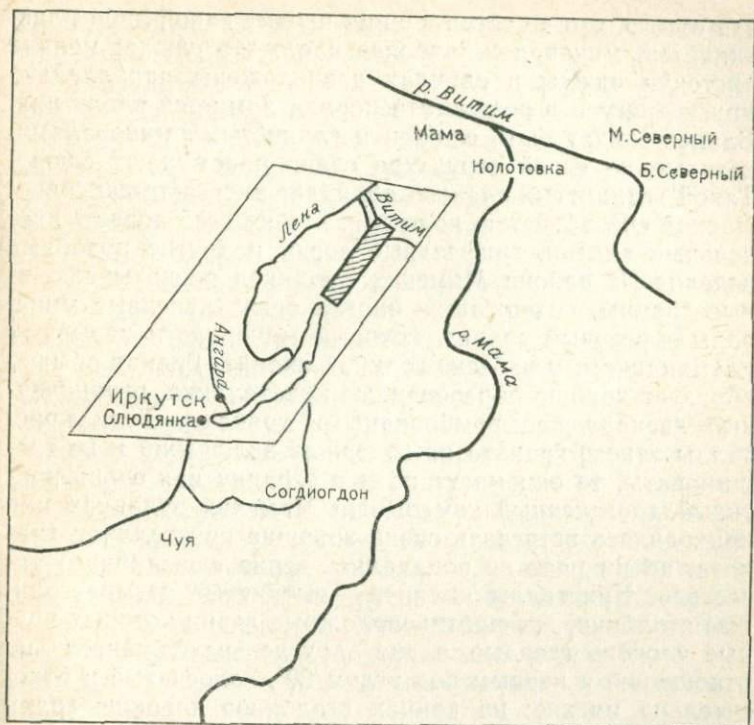


Рис. 41. Схема расположения рудничных поселков в Мамском слюдоносном районе

Чуя, расположенный на западном склоне Мамско-Чуйского водораздела.

Попав на рудник, геологу прежде всего необходимо создать общее представление о геологии района и об условиях залегания полезного ископаемого, которое он ищет в данном районе. Река Витим, как и его небольшой приток р. Колотовка, глубоко врезан в окрестные горы, или, как их здесь принято называть — гольцы. По руслам речек и ручейков, а также на всех крутых склонах обнажаются древние сланцы, слагающие местность. Сланцем, вообще, петрографы называют горную породу, которая способна раскалываться на относительно тонкие пластинки. Как бы Вы не ударили молотком по сланцу, он всегда дает плоские обломки. Происходит

это оттого, что в состав сланца входит какой-либо пластинчатый минерал — наиболее часто это слюда; мелкие листочки слюды в сланцах расположены параллельно друг другу и в результате порода ломается вдоль них. Сланец может быть сложен и глинистыми минералами, которые по своей структуре очень напоминают слюду. Такой «глинистый сланец» обладает иногда такой совершенной способностью колоться, что из него делают кровельные плитки, грифельные доски и другие подобные изделия. В районе Мамских рудников развиты слюдяные сланцы, содержащие иногда очень красивые минералы — розовый гранат, который минералоги называют альмандином, и небесно-голубой кианит. Гранат обычно образует хорошо образованные кристаллики, ограниченные двенадцатью ромбовидными гранями. Если кристаллы такого граната не содержат включений и не трещиноваты, то они могут идти в огранку как очень красивый драгоценный камень. На Мамских рудниках мне приходилось встречать очень хорошие кристаллики граната, но ни разу не попадались зерна «ювелирного качества». Кристаллы кианита — вытянутые четырехгранные столбики, две противоположные грани которых ровные и очень твердые, а две другие, находящиеся по отношению к первым под углом 90° , полосчатые и относительно мягкие; на концах столбиков хорошие грани встречаются очень редко; в большинстве случаев здесь в кианите обильны включения слюды и других загрязняющих примесей. В обнажениях рек и гольцов сланцы, содержащие только слюду и кварц, чередуются со слоями сланцев, содержащих гранат и кианит. Различия в минеральном составе сланцев говорят об их и химических различиях. Кианит богат глиноземом и образуется только в тех слоях, где было много глинозема, но не хватало щелочей для образования слюды. Гранат концентрирует магний или марганец и железо. Слюдяно-кварцевые сланцы обычно богаты кремнекислотой.

Слоистость сланцевой толщи отчетливо говорит о том, что эта толща образовалась за счет первоначально слоистых осадочных пород. Вероятно, это были различные глины, осевшие на дне какого-то довольно соленого водоема — в море или на окраине океана. После отложения эти породы горообразующими усилиями были опущены в толщу земной коры, где под влиянием глу-

бинного тепла, высокого давления и постоянно присутствующих в горных породах поровых растворов перекристаллизовались. За счет глинистых минералов образовалась слюда, а если был избыточный глинозем, то и кианит. Если же в исходной породе присутствовал магний — образовывался альмандиновый гранат.

Помимо сланцев в районе встречаются и граниты. В типичных образцах гранит слагают относительно крупные, размером около 1 см, кристаллики кварца и полевых шпатов с небольшой примесью слюдяных листочков. Все эти компоненты равномерно распределены по породе. Весьма характерно, что кристаллы минералов, составляющих гранит, лишены характерных для них огранений; это плотно сросшиеся между собой более или менее изометрические зерна; такую форму и строение зерна минералов приобретают при более или менее одновременном росте кристаллов всех минералов.

Залегают гранит отдельными участками среди сланцев, иногда слагая крупные участки, иногда небольшие тела (жилы), которые в одних случаях вытягиваются вдоль сланцеватости, в других — располагаются в трещинах, секущих сланец. Иногда можно уверенно говорить, что эти трещины образовались в результате разламывания сланцев при их изгибании в процессе горообразующих усилий.

Наиболее часто гранит, слагающий жилы, не отличается от гранита крупных массивов, но иногда, имея тот же состав, жильные образования могут резко отличаться от гранита по «структуре» — крупности зерен и их взаимному расположению. Обычно различают два структурных типа жильных гранитных пород: во-первых, мелкозернистые и равномернозернистые породы, называемые аплитами, и, во-вторых, очень крупнозернистые (правильнее назвать гигантозернистые) — пегматитовые жилы (рис. 42), или, как их принято называть в просторечии, пегматиты. Размеры кристаллов, встречающиеся в пегматитах, могут быть самые разнообразные — от 3—5 см до 1 м и более; однажды, на Кавказе, в пегматитовых жилах близ сел. Гореша в Западной Грузии мне пришлось видеть небольшую каменоломню, заложенную в одном кристалле полевого шпата более 10—12 м в поперечнике.

Слюда является обычным компонентом гранита, од-

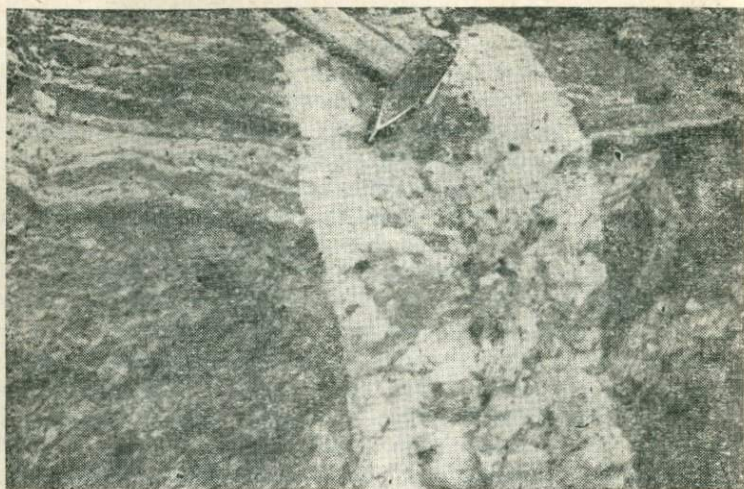


Рис. 42. Небольшая пегматитовая жила, секущая гнейсы.

Хорошо видна сланцеватость гнейсов и секущее положение жилы; в центре жилы концентрируются выделения кварца (серое), образуя подобие кварцевого ядра. В центре кристаллы полевого шпата крупнее, чем по краям

нако здесь, как уже отмечалось, размеры слюдяных кристаллов несколько миллиметров, реже достигают 1 см. В пегматитовых жилах, где кристаллы приобретают гигантские размеры, иногда встречаются очень крупные слюдяные кристаллы, являющиеся полезным ископаемым. Мне приходилось видеть кристаллы мусковитовой слюды размером около 1 м в поперечнике.

Еще одна особенность характеризует некоторые пегматитовые жилы. Они могут быть неоднородны как по крупности слагающих их кристаллов, так и по составу отдельных частей жилы, причем одинаковые по типу породы могут слагать отдельные зоны, располагающиеся симметрично по отношению к краям и центру жилы, создавая ее зональность.

Граниты, аплиты и пегматиты, как считают большинство специалистов, возникают за счет одной и той же гранитной магмы — глубинного высокотемпературного расплава, обогащенного кремнекислотой и водой, различия же отражают условия ее застывания. Гранитные массивы образуются при застывании магмы в крупных

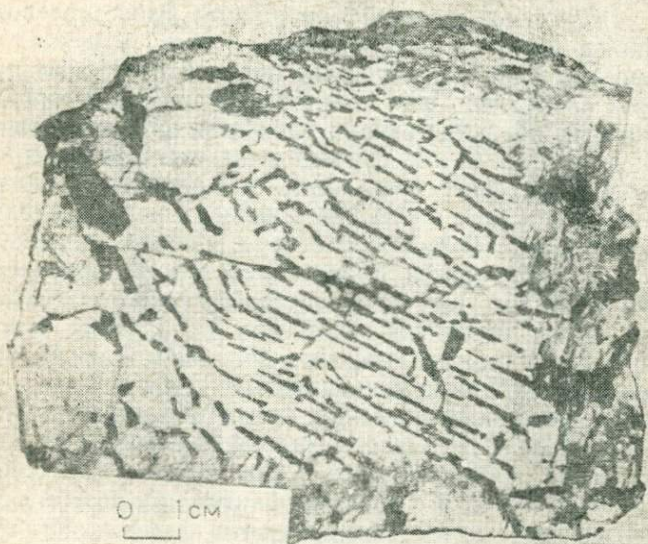


Рис. 43. Пегматит из зоны «графики» (фото Ю. И. Темникова).

полостях. Аплитовые жилы возникают при быстрой кристаллизации магмы в том случае, когда вода легко уходит из кристаллизующейся магмы во вмещающие породы. Если же воде уйти некуда и она остается на месте, то возникают пегматитовые жилы. Первоначально на кристаллизации магмы вода не сказывается и выделяется краевая аплитовая зона, сложенная безводными силикатами; в результате этого остаточная магма обогащается водой, делается менее вязкой, а это способствует росту кристаллов, и аплитовая зона сменяется зоной «графики» (рис. 43), где одновременно кристаллизуются крупные кристаллы кварца и полевого шпата. Остаток при этом еще более обогащается водой и его уже следует рассматривать, скорее, не как магму, а как концентрированный водный раствор, и на характер кристаллизации начинает очень сильно влиять растворимость минералов в воде. Поэтому кристаллизуются крупные кристаллы полевого шпата и слюды — зона

пегматоида и, наконец, кристаллизуется один кварц, создавая так называемый «кварцевый блок», располагающийся обычно в центре жилы.

При изучении слюдоносных пегматитовых жил приходится иметь дело еще с одной своеобразной породой, получившей название «кварц-мусковитового комплекса». Образуется она в том случае, если уже охлажденный раствор, из которого кристаллизуется пегматоидная слюда и кварц, придет в соприкосновение с ранее выделившимися зонами. В таком растворе полевошпатовый шпат неустойчив и растворяется и за его счет кристаллизуются слюда и кварц. Поскольку составы полевошпата и слюды довольно близки, постольку небольшие количества раствора смогут заместить довольно большой объем других зон кварц-мусковитовым комплексом.

Выше рассмотрена общая схема образования пегматитовых жил. В каждом отдельном случае есть свои особенности, связанные с положением жилы, характером вмещающих пород и с другими факторами, поэтому геолог всегда должен иметь в виду, что каждая жила имеет свою специфику и расшифровать ее — важнейшая задача геолога.

Попав в Колотовку, мы прежде всего начали внимательно изучать небольшую жилу, расположенную близ устья реки. Для того чтобы оценить жилу, с ее поверхности через определенное расстояние были сняты почвенный покров и рыхлые породы. Местами для этого пришлось копать шурфы — колодцы, доходящие до «коренных пород». Однако гораздо интереснее были «разведочные канавы», отличающиеся от обычных канав тем, что дно их обязательно должно вскрывать «коренные породы». На пегматитовых жилах такие канавы обычно располагаются поперек жилы, чтобы было видно строение жилы по всей ее мощности.

В канавах было очень хорошо видно, что жила грубосимметрична; в обоих краях жилы, примыкая к границе со сланцем, располагается аплитовая зона. Ближе к центру кристаллизуется графический пегматит, или «графика».

В крупном кристалле полевошпата начинают встречаться сначала отдельные вроски, а потом «стаи» вростков кварца в виде тонких полос или, в поперечном разрезе, коротких треугольничков, уголков, пересекаю-

щихся линий и узорчатых сростков (рис. 44), несколько напоминающих древнееврейские письмена. Из-за этого сходства такие сростки получили название письменного гранита, еврейского камня или просто «графики». Более строгое научное название таких сростков пегматит, или пегматитовая структура. От этих сростков жилы и получили название пегматитовых жил.

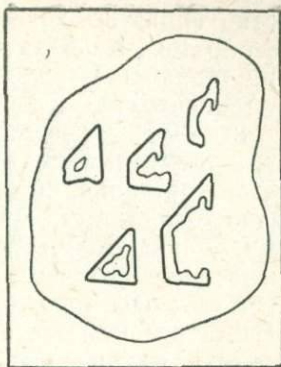


Рис. 44. Схематическая зарисовка наиболее характерных вростков кварца в полевошпате

Особенно красив структурный пегматит, когда в розовом полевошпате встречаются мелкие вростки дымчатого кварца. Лучшего материала для изготовления брошек и кулонов не найти, и наша экспедиционная молодежь все свои свободные часы проводила на отвалах пегматитовых жил, высматривая эффектные обломки структурного пегматита.

Изучавшаяся нами жила была бедна «графикой», зона, сложенная структурным пегматитом, едва достигала 1 м. Ближе к центру жилы в полевошпатовых кристаллах уже нет кварцевых зерен; кварц, если и встречается, образует самостоятельные выделения. Зато полевошпатовые кристаллы здесь очень крупны и хорошо образованы. Это типичная «зона пегматоида». Далее количество полевого шпата уменьшается, кварцевые вростки увеличиваются в объеме и постепенно переходят в сплошной «кварцевый блок», сложенный чрезвычайно крупнозернистым поликристаллическим, но однородным кварцем, слагающим всю центральную часть жилы.

Выделения крупной слюды приурочены к границе зоны пегматоида и кварцевого блока. Кристаллы слюды обычно начинают расти в пегматоиде и часто вырастают в кварцевый блок.

В тех случаях, когда удастся отделить полевошпатовые кристаллы, слагающие пегматоид, от кварца кварцевого блока, прекрасно видно, что полевошпатовые

участки образуют хорошо ограненные кристаллы. Равным образом, и слюда в тех случаях, когда вырастает в кварц, приобретает хорошие кристаллические окончания. Вообще, слюда из пегматоида исключительно своеобразна. Прежде всего надо указать, что здесь встречается так называемая А-образная слюда (рис. 45): участок кристалла, который вырастает в зону пегматоида, обычно тонкий, а его конец, который включается в кварцевый блок, толстый. При росте такого кристалла отдельные его части не совпадают и возникает «ельчатость» слюды (рис. 46). Ельчатая слюда не расщепляется, а рассыпается на вытянутые очень неровные пластинки, поэтому выход хороших промышленных пластин не очень велик.

Существуют и другие типы промышленной слюды. Особенно интересной в этом смысле была жила № 7 на гольце Асанкина, рудника Луговка. Здесь присутствует еще и кварц-мусковитовый комплекс. Как явствует из названия, порода эта состоит из кварца и слюды, причем размеры кристаллов слюды здесь могут быть довольно значительны. Слюда в кварц-мусковитовом комплексе никогда не дает правильных кристаллов; как кварц, так и мусковит образуют неправильные зерна, по краям взаимно прорастая друг в друга. Кристаллы слюды из этого комплекса равномерны по толщине и очень плотные. Эти кристаллы прекрасно расщепляются и из них получают лучшие штампованные детали для радиоламп. Наиболее часто эта слюда имеет розовато-желтый оттенок; поэтому слюда кварц-мусковитового комплекса в американской практике называется «рубиновой» слюдой и ценится дороже всех других видов слюды.

В некоторых жилах, кроме мусковита, кристаллизуется биотит — железистая слюда. Обычно он встречается в зоне аплита и в зоне графического пегматита, иногда образуя длинные кристаллы, которые по сходству с древними мечами называют «саблевидным биотитом». Биотит не имеет практического значения, но если вблизи такого кристалла окажется кварц-мусковитовый комплекс, то наблюдается исключительно интересное явление. Мусковит нарастает на биотит, а местами в биотите появляются самые разнообразные срастания между биотитом и мусковитом. Бывали случаи, когда главную

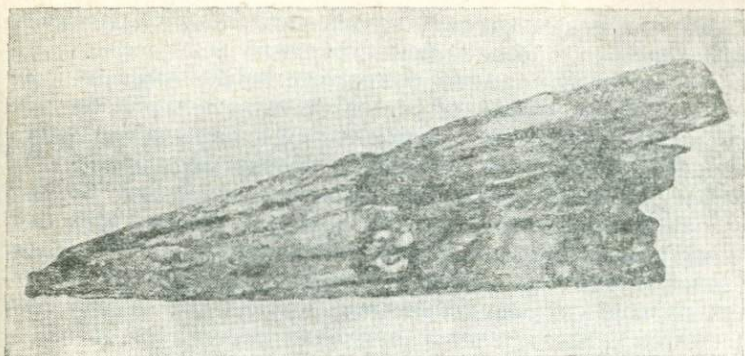


Рис. 45. А-образный (клиновидный) кристалл мусковита

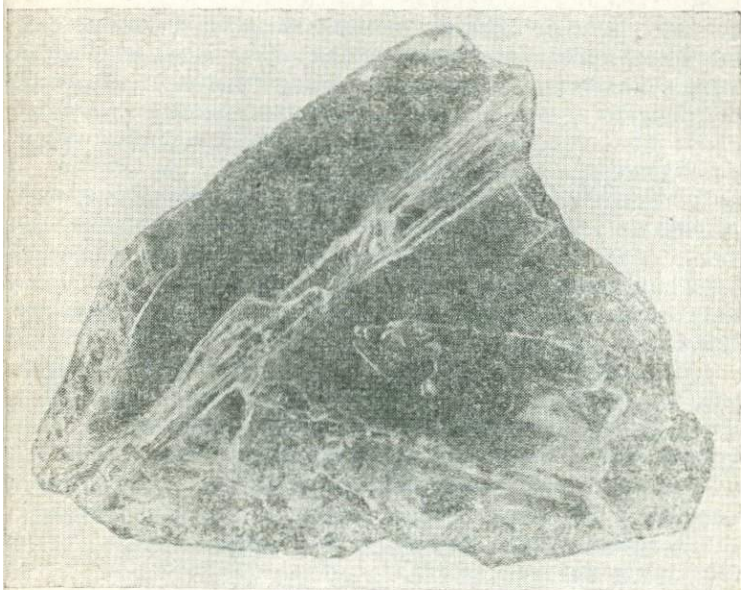


Рис. 46. Кристалл мусковита с ельчатостью (полосы, идущие под углом)

массу слюды, получаемой из жилы, составлял мусковит, находящийся в ассоциации с биотитом.

В качестве примера более или менее обычной, не очень богатой слюдяной жилы можно сослаться на жилу № 67, дававшую совсем незадолго до нашего приезда огромное количество слюды. Когда мы осматривали жилу, она была уже полностью выработана и на ее месте остался карьер, в центре которого стоял крупный, более или менее изометрический кварцевый центральный блок. Вокруг него карьер достигал наибольшей глубины; именно отсюда добывался крупнокристаллический пегматоид, где имелась крупнолистовая слюда в очень большом количестве, говорят, иногда до 1000 кг в 1 м³ добытой горной породы. Поскольку кубический метр породы, слагающей пегматитовую жилу, весит примерно 2,5 т, это значит, что почти половина всего веса добытой породы приходилась на крупнолистовую, хорошо окристаллизованную слюду. Вообще это бывает, но очень редко. Ну, раз «говорят» — мы должны верить, но так это было или не так, я не знаю; человек склонен приукрашивать прошлое: и как рыбак, рассказывая о своих уловах, как правило, преувеличивает размер пойманной им когда-то щуки, так и геолог часто склонен преувеличивать богатство того или иного месторождения, разрабатывавшегося в прошлом.

В стенке карьера, при удалении от кварцевого блока, слюды уже не было, здесь находилась зона пегматонда, содержащая кристаллы полевого шпата, иногда с графическими сростками и с кварцем; очень скоро жила переходила в тонкую аплитовую зону и контактировала со сланцами.

По склону гольца вверх жилу можно было проследить на довольно большое расстояние, и при этом было видно, что продуктивная часть жилы являлась ее «раздувом». Здесь мощность жилы увеличивается в 3—4 раза. Вне этого раздува в жиле нет кварцевого ядра, хотя и сложена она крупнозернистым пегматоидом, но содержание слюды здесь так мало, что разрабатывать ее не имеет смысла.

Форма слюдоносных жил имеет огромное значение для их поисков и разработки, поэтому мы во время нашего пребывания в Мамском слюдоносном районе с большим интересом узнали, что на Дальней Северке

вскрыта и разрабатывается «паукообразная» жила. Принципиальное отличие такой жилы от нормальных жил, которые развиты гораздо шире, в том, что последние по форме грубо напоминают доску или, вернее, блин, и обогащенный промышленной слюдой крупнозернистый участок приурочен или к центральной, наиболее толстой части этого блина, или к какому-либо, вероятнее всего, тоже утолщенному краю. «Паукообразные» же жилы скорее напоминают палку, которая получается, если от кривой елки отрубить ветки, да еще на разном расстоянии от ствола. Крупнозернистые участки в большинстве случаев встречаются в центре такой жилы, но удивительно причудливо расположены. Однако слюда в таких жилах бывает хорошая и ее бывает много.

Конечно, мы сейчас же проехали на эту жилу, вернее прошли, поскольку в те времена счастьем было, если удавалось найти лошадь под выюк, сами же весь переход шли пешком, да еще несли довольно тяжелые рюкзаки, поскольку, конечно, уложить все необходимое имущество в один выюк невозможно. Вид жилы с поверхности был очень неблагоприятный, маленькое тело (рис. 47, а) и небольшой участок ослюденения. Однако с глубиной она увеличилась и приобрела «паукообразный» вид (рис. 47, б).

Разведка скважинами таких жил в стороны совершенно обязательна, так как иногда в «ногах паука» встречаются раздувы с крупнозернистыми участками, дающими много хорошей слюды.

Чтобы покончить с мамскими впечатлениями, хочется мне еще сказать несколько слов о замечательном руднике Большом Северном. Этот рудник разрабатывает очень любопытное тело, которое получило название «гигантомигматита», поскольку очень напоминало строение породы, называвшейся мигматитом. Порода эта близка к сланцам и состоит из полос, очень богатых биотитовой слюдой, между которыми располагаются небольшие участки гранита; полосы, богатые биотитом, иногда непрерывны, иногда разорваны, временами сходятся или расходятся, и гранитные участки в них образуют небольшие линзы.

Рудничная скала, расположенная в самой непосредственной близости к пос. Большой Северный, во многом напоминает мигматит, но увеличенный в десятки раз.

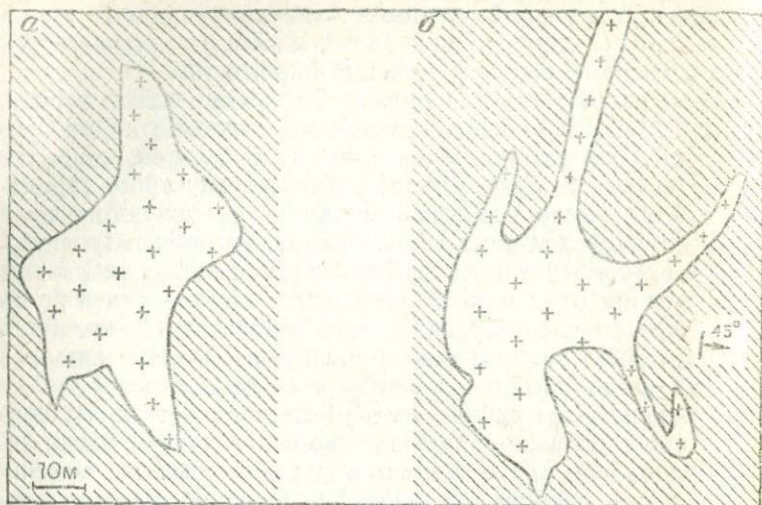


Рис. 47. Сечение паукообразной жилы.
а — близ поверхности; б — на глубине 250 м

Если в обычных мигматитах линзы гранита имеют мощность один или несколько миллиметров, а их протяженность измеряется отдельными сантиметрами, то в гигантомигматите Большого Северного линзы гранитов протягиваются иногда вдоль всей скалы на несколько сотен метров, при мощности в 10—15 м, причем слюдо-содержащие сланцевые прослойки имеют относительно небольшую мощность, около 1 м, редко более; прослойки эти протягиваются через всю скалу. Так же как в настоящих мигматитах, эти полосы сходятся, расходятся и обхватывают гранитные линзы. Размер зерен, составляющих гранит, и прослой слюдоносных сланцев обычно такие же, что и в нормальных гранитах и слюдистых сланцах района. Однако в некоторых местах, как правило, непосредственно под прослоем слюдистых сланцев встречаются линзовидные участки крупнозернистых пород, причем эти участки имеют практически ту же зональность, что и обычные зональные пегматитовые жилы с зоной «графики», пегматоида со слюдой и кварцевым ядром в центре линзы. Размер слюдяных кристаллов в пегматоидных линзах иногда довольно велик.

В Мамском слюдоносном поле разрабатываются одновременно многие десятки пегматитовых жил. У каждой свой характер, свои особенности, свои закономерности, контролирующие распределение слюды, и даже свои особенности слюды.

Выше мы постарались описать некоторые типичные жилы и хоть немного показать возможные пути и природные закономерности, пользуясь которыми можно оценить слюдоносную жилу и наметить схему эксплуатации.

Вместе с тем, успех возможен только при творческом подходе к каждой жиле, и успешная разработка месторождения возможна лишь с учетом огромного опыта как инженерного состава рудника, так и горнорабочих.

НА СЛЮДЯНКЕ

Были ли Вы в Иркутске? Это очень интересный старинный сибирский город. Старый Иркутск расположен в излучине Ангары, и можно часами бродить по его улицам, любоваться архитектурой города, его старыми церквями и улицами. Кое-где еще сохранились деревянные тротуары, но сейчас их надо искать, как и старинные деревянные дома с маленькими окошечками, закрывающимися на железный кованый засов, с изумительными по красоте наличниками на окнах и дверях, а также с узорным крыльцом перед дверью. То, что старые дома уходят — об этом жалеть не приходится; жить в этих домах тяжело, холодно, тесно и неудобно. Но сохранить некоторые из них, как память о прошлом, наверное, стоило бы. Замечателен и краеведческий музей. Здесь работало много великих людей, и они много сделали для своего края.

Сильно изменился облик Иркутска за последние годы. Эти изменения заметны и в центре города, но особенно разрослись окраины, где появились новые районы с огромными новыми домами. Шагнул Иркутск и на левый нагорный берег Ангары, в Завокзалье. Сейчас Иркутск является крупным центром мировой науки.

Расположен Иркутск в важнейшем узле дорог прошлого. Через него протекает чистая многоводная Ангара, связывающая «Славное море, Священный Байкал» с Енисеем и путями на запад. Позднее через Иркутск

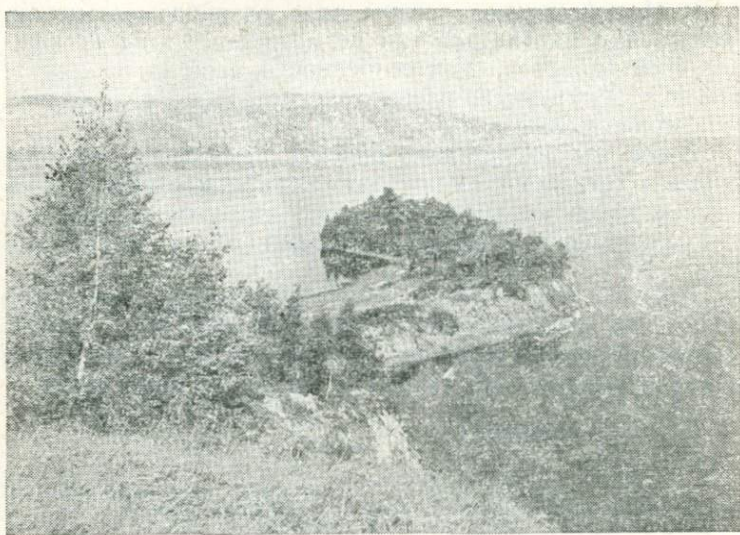


Рис. 48. Вид на оз. Байкал у города Слюдянки

прошел Сибирский тракт, а в конце прошлого столетия была сооружена транссибирская железная дорога. Раньше она проходила по берегам Ангары и Байкала, теперь же построена новая ветка; дорога от Иркутска поднимается в горы, переваливает через них и спускается к Байкалу, минуя прибрежные участки только в районе с. Култук и г. Слюдянки.

Обнажения железной дороги и скалы вокруг Слюдянки являются замечательным местом для любителя камня (рис. 48). Здесь описаны многие десятки редчайших минералов, и отсюда происходят красивейшие образцы, хранящиеся во всех музеях мира. Причиной этого является геологическая уникальность района.

Породы, развитые в районе Слюдянки, принадлежат к древнейшим осадочным породам мира и образовались на дне глубокого моря, вероятнее всего более чем 2—2,5 млрд. лет назад. Видимо, море, из которого отлагались эти осадки, было даже более соленым, чем современное, и на его дне осаждались углекислые соли кальция и магния, образуя слои известняка, если они

состояли из чистого углекислого кальция, или доломита, когда углекислый кальций и магний осаждались совместно, образуя двойную соль. Отложения эти происходили совсем недалеко от берега и, кроме химически выделявшихся карбонатов, в осадок на дно моря речками сносилось довольно большое количество кварцевого песка. Временами его было так много, что возникали песчаные слои, в которых была только относительно небольшая примесь карбонатных пород. Имела место еще одна особенность отложения этих осадков; недалеко от этого места находился, видимо, действующий вулкан, и на отложившиеся карбонатные и песчанистые породы излился лавовый поток. Может быть таких потоков было несколько, но то, что мы пока знаем, позволяет говорить только об одном потоке. После лавового излияния продолжалось осаждение карбонатных химических осадков с песком. В результате здесь образовалась очень мощная толща карбонатных пород, среди которых залегал пласт лавы.

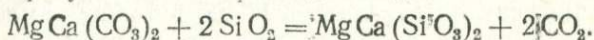
Впоследствии вся эта толща под действием горообразующих сил погрузилась глубоко в толщу земной коры. Мы не знаем, что было над интересующей нас толщей пород, но хорошо знаем, что глубина погружения была не менее 20—30 км, а может быть даже больше.

Мы знаем, что сейчас в шахтах и буровых скважинах с углублением в недра температура повышается в среднем на 1° на каждые 33 м углубки, но эта величина очень сильно колеблется в разных местах. Если предположить, что в те годы, когда слюдяные породы находились в глубинах, повышение температуры с глубиной было равно средней современной величине, то она должна была прогреться до температур порядка 600°C и даже выше. Одновременно горные породы подвергались высоким давлениям. Величина этого давления не может быть меньше веса залежавших над ними горных пород. Поскольку вес единицы объема горных пород примерно в 2,5 раза больше веса воды, то можно подсчитать, что на глубине 20 км давление будет превышать 5000 атм. Даже при значительно более низких давлениях и температурах минералы, возникшие на земной поверхности, неустойчивы и претерпевают сильные изменения, или «метаморфизм», как геологи называют такое изменение. Чем сильнее отличаются условия метаморфизма от ус-

ловий первоначального образования, тем значительнее изменения, которые происходят с горной породой в процессе ее метаморфизма. Условия давлений и температур, господствовавшие при метаморфизме горных пород Слюдянки, были очень велики и в результате изменение пород здесь весьма глубокое.

Процесс метаморфизма может выражаться в некоторых случаях в простой перекристаллизации минералов и образовании крупных кристаллов за счет мелких. Это, в частности, имеет место в процессе метаморфизма чистых известняков и доломитов. Никаких изменений состава здесь не происходит, и только за счет мелкозернистого известняка возникает крупнозернистый мрамор. На Слюдянке такой мрамор местами содержит исключительно крупные кристаллы, до 4—5 см в поперечнике.

В других случаях при метаморфизме может происходить реакция между минералами, составляющими осадочную горную породу. На Слюдянке такая реакция имеет место между доломитом и кварцем с образованием в результате минерала диопсида

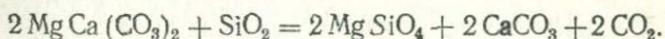


доломит

кварц

диопсид

Эта реакция идет тогда, когда в материнской породе много кварца; в результате в слюдянской толще возникли пласты диопсидовых и диопсид-кварцевых горных пород. Если кварца было мало, возникал минерал более богатый щелочными землями, форстерит — минерал из группы оливина:



доломит

кварц

форстерит

кальцит

Слон форстеритовых мраморов в слюдянской толще встречаются довольно часто. Если в осадочной породе немного глинозема, наряду с упомянутыми выше силикатами может возникнуть шпинель ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) — минерал, образующий очень красивые розовые кристаллы, иногда используемые как драгоценный камень. Несколько западнее Слюдянки есть карьер мраморов «Перевал», где крупнокристаллические мраморы добываются для цементной промышленности. В этом карьере автору приходилось встречать много очень красивых кристаллов шпинели. Находили мы там даже ювелирные

зерна, но извлечь их из плотного мрамора очень трудно; почти всегда при извлечении кристаллы шпинели трескаются.

Выше отмечалось, что среди известковых отложений залегал лавовый пласт. При метаморфизме минеральный состав и структура пласта резко изменились. В лаве после ее охлаждения почти всегда встречается стекло, которое представляет собой переохлажденный силикатный расплав, в это стекло погружены отдельные кристаллы минералов, которые успели закристаллизоваться в процессе остывания лавы. При метаморфизме это строение полностью нарушается и вместо минералов, характерных для лавы, кристаллизуются новые минералы, устойчивые в условиях метаморфизма. Для слюдянской лавы таким минералом оказался амфибол. В результате первоначальная лава превратилась в агрегат вытянутых кристаллов амфибола, спутанных так, как спутаны волокна шерсти в войлоке. Такая порода носит название амфиболита.

В процессе метаморфизма, и особенно в конце его, когда вся толща изменяющихся слоистых пород поднималась к дневной поверхности, она изгибалась, растягивалась, а местами и сильно сжималась. Пласты, которые ранее были параллельны и горизонтальны, сейчас во многих местах собраны в складки, а местами сильно изогнуты. При таких деформациях в толще слюдянских пород появились многочисленные разломы, видимо, местами довольно глубокие, по которым внедрялось большое количество глубинного гранитного расплава, образующего отдельные массивы, штоки, жилы и линзы среди слюдянских пород. Пути, по которым проникала гранитная магма, могли приоткрываться и замыкаться вновь при деформации слюдянской толщи. В результате некоторые гранитные тела сейчас лишены подводящих каналов.

Следует обратить внимание читателя еще на то, что пластичность слюдянских мраморов и амфиболита была резко различной. При растяжении всей толщи очень пластичные мраморы несколько растягивались, тогда как значительно менее пластичные амфиболиты лопались поперек, создавая трещины — пути для движения водных растворов.

Надо отметить, что в метаморфизируемой толще было

довольно много воды. Вода была в подвергавшихся метаморфизму породах, а кроме того, значительное количество воды принес с собой и гранит. Гранитный расплав обязательно содержит в себе 3—4% воды; при застывании расплава вся эта вода выделяется в окружающие породы. Как слюдянские породы, так и циркулировавшие в них водные растворы в процессе метаморфизма находились под очень большим давлением и были сильно прогреты. Выше отмечалось, что чем выше давление и температура воды, тем более интенсивно эта вода растворяет различные силикаты и кремнекислоту.

На первом этапе метаморфизма вода, циркулировавшая по слюдянской толще, видимо, интенсивно растворяла породы, с которыми соприкасалась, превращаясь при этом в высококонцентрированные растворы. Позднее, при охлаждении всей толщи, вдоль трещин и в пустотах, образовавшихся в результате растворения, из этих растворов идет кристаллизация минералов, устойчивых при давлении и температуре, господствовавших во время кристаллизации. Одним из важнейших продуктов такой кристаллизации являются крупные кристаллы магнезиальной слюды — флогопита, месторождения которого здесь разрабатывались многие годы. Поэтому выявление мест кристаллизации является важнейшим условием поисков флогопитовых рудных тел. Оказалось, что наиболее хорошие и наиболее крупные кристаллы формировались в трещинах отрыва в амфиболитовом пласте; продукты кристаллизации выполняют сейчас эти трещины целиком, образуя слюдоносные жилы. Выше говорилось, что трещины образовались в связи с меньшей пластичностью амфиболита по сравнению с вмещающими карбонатными породами. Растворы, попадавшие в трещины, были насыщены материалом карбонатных толщ, через которые проходили прежде, чем попасть в трещины амфиболита, кроме того, находясь в трещинах, они интенсивно растворяли амфиболиты и обогащались глиноземом и железом.

Вид слюдоносных жил Слюдянки исключительно интересен и, конечно, ни один любитель минералов не сможет пройти мимо них равнодушно. Красота слюдянских минералов и была причиной открытия этого месторождения. Края амфиболитового тела вблизи жилы несколь-

ко осветлены, и состав их резко меняется; вместо преобладающего в амфиболите амфибола по краям главным минералом становится диопсид, который в отличие от бесцветного диопсида в карбонатных толщах имеет желто-зеленый цвет. Причина этого — присутствие в нем наряду с магнием и кальцием небольших количеств железа, которое отсутствует в диопсиде из карбонатных пород. Непосредственно в амфиболите это бесформенные образования, мало интересующие любителя камня, но в жилах на них нарастают изумительные по красоте кристаллики диопсида. У них прекрасное огранение, блестящие, как полированные, грани и очень сложная комбинация граней. Кристаллы этого диопсида были привезены в Петербург еще в самом начале прошлого столетия и получили тогда специальное название «байкалита» (рис. 49). Потом, когда были сделаны анализы и было доказано, что этот минерал ничем не отличается от диопсида, название осталось, и хотя в учебниках пишут, что байкалит — синоним диопсида, каждый минералог при слове байкалит вспоминает крупные прекрасные желтовато-зеленые кристаллы. Особенно красивы крупные куски, отбитые от стенки жилы. Здесь, на плотной породе сидит несколько кристалликов, головки которых смотрят в разные стороны. Кроме байкалита на таких кусках — иногда их называют друзами — встречаются и шестигранные кристаллы флогопита и реже светло-голубые кристаллы апатита. Апатит встречается и в толщах карбонатов, но нигде он не достигает таких размеров, как в слюдоносных жилах. Этот минерал обладает очень характерным жирным блеском, кристаллизуется в форме шестигранных призм с головкой в виде плоской шестигранной пирамиды. Все внутреннее пространство жилы выполнено карбонатом и обычно для того, чтобы получить друзу кристаллов для коллекции, кристаллы байкалита и других минералов надо очистить от карбоната. Наиболее просто это сделать, положив образец в слабый раствор соляной кислоты. Карбонат растворится, а все остальные минералы останутся, но я не люблю так делать; всегда в образце остается кусочек карбоната, «обсосанный» как старая конфетка, или наоборот, весь карбонат будет растворен и из амфиболита, где его хоть мало, но он есть, и тогда под красивыми кристал-

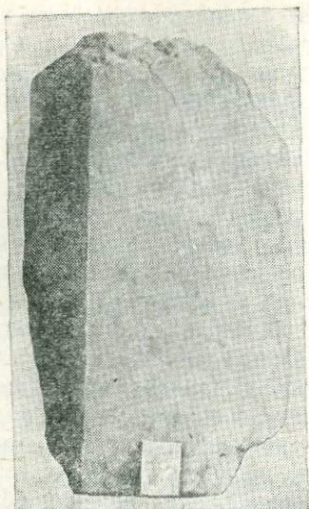


Рис. 49. Крупный кристалл «байкалита». Для масштаба около кристалла стоит коробок спичек

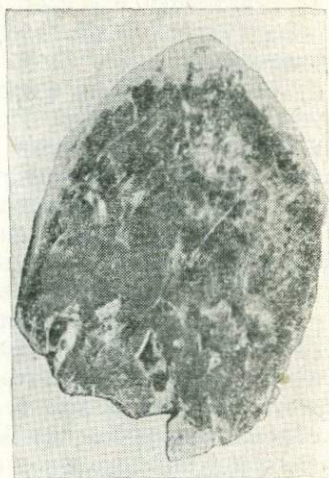


Рис. 50. Крупный кристалл слюды размером более 1 м

лами будет видна довольно уродливая бесформенная пористая масса. Наверное, лучше выбивать карбонат маленьким зубильцем, осторожно ударяя молотком. Карбонат тогда расколется по спайности и поверхность его будет довольно красива, да и кристаллы силикатов хорошо обнажатся.

Кроме кристаллов силикатов, растущих со стенок жилы, в жилах встречаются кристаллы, лежащие в массе карбонатов, выполняющих центральную часть жилы. Иногда кристаллы слюды начинаются с краю и заполняют всю жилу, а иногда один кристалл нарастает на другой. Самые крупные кристаллы слюды (рис. 50) встречаются именно в центре жилы. Здесь обычно слюда и апатит достигают наибольшей величины. Мне приходилось видеть в жилах кристаллы слюды, пластинка которых имела более 1 м в поперечнике, но обычно добывавшиеся слюды имели размер в поперечнике 8—10 см. Правда, края у них были весьма несовершенными и их приходилось почти целиком обрезать. Кристаллы апатита обычно небольшие.

В коллекциях, как правило, выставляются слюдяные кристаллы апатита, имеющие 5—7 см в длину и около 3—4 см в поперечнике, но на месторождении встречаются кристаллы и много крупнее. Как-то, когда слюдяной рудник еще работал, на столе у главного геолога я видел кристалл апатита длиной около 70 см при ширине 30—35 см. Конечно, я, как это делают все геологи, посещающие рудник, долго «клянчил» кристалл у его хозяина, но обладатель этой драгоценности был непреклонен, и где сейчас этот замечательный кристалл — я не знаю, в известных минералогических музеях я его не видел.

Кроме жил, образовавшихся в трещинах отрыва амфиболита, флогопитовая слюда встречается и в мраморах там, где имелись пути, по которым могли сюда проникнуть растворы. Растворы привносят в мраморы кремниевую кислоту, глинозем и щелочи, и среди мрамора кристаллизуются слюды и многие другие силикаты.

Разработка слюды на первых этапах велась в открытых карьерах (рис. 51), но очень скоро началась подземная добыча. Шахты пробивались вдоль жил, причем извлекался весь слюдосодержащий материал. Особенно богатой была жила, расположенная в пади Улунтуй, но после нескольких лет отработки в ней появилась вода. Большой приток воды и уменьшение содержания слюды привели к тому, что в конце шестидесятых годов месторождение пришлось законсервировать, и сейчас только по старым отвалам, да по заросшим травой карьерам и остаткам штолен можно узнать те места, где недавно велась добыча слюды.

Добыча слюды на Слюдянке прекратилась, но Слюдянка не перестала быть горнопромышленным районом. Горные породы, выходящие на дневную поверхность близ г. Слюдянки, представляют собой большую ценность. Уже говорилось о расположенном к западу от Слюдянки, на водоразделе рек Похабиха и Слюдянка, мраморном карьере; ведется добыча мрамора и на правом притоке пади Улунтуй — на самой стрелке хребта, располагается сейчас карьер белого мрамора. Мрамор добывается взрывами и поступает на дробильную установку. Отсюда, после дробления, мраморная крошка ссыпается вниз на наклонный грохот, откуда по желобам, уже рассортированная по крупности, поступает



Рис. 51. Карьер рудника № 8 в пади Улунтуй

в бункера — огромные цилиндры с конусовидным низом, служащие временным складом продукции и расположенным у подножия горы. Мраморная крошка из бункеров грузится на автосамосвалы и идет на строительство для производства искусственной мраморной мозаики, плит, ступенек, подоконников и пр.

В самой Слюдянке, в устье пади Улунтуй располагается сейчас весьма хорошо оборудованный камнеобрабатывающий комбинат. Сырьем ему служат розовые крупнозернистые мраморы из карьера месторождения «Буровщина», расположенного в нескольких километрах к востоку от города, почти на берегу Байкала, на склоне довольно крутого горного отрога. Мраморы здесь те

же, что на Слюдянке, но в ряде мест в них встречаются гранитные участки, вокруг которых мрамор более железист и поэтому имеет розовый цвет. Этим мрамором облицована станция Баррикадная Московского метрополитена; он действительно красив и очень напоминает розовый гранит.

Бедутся еще поиски новых выходов хороших облицовочных камней и, по-видимому, небезуспешно. Показали нам замечательный белый крупнообломочный мрамор месторождения «Бугульдейка» на противоположном берегу Байкала. Предполагают осваивать одно из месторождений гранита по дороге в Иркутск.

Нет сейчас на Слюдянке добычи слюды и все любители камня, конечно, очень огорчены этим; уже крайне трудно получить красивые друзы байкалита и знаменитые голубые кристаллы апатита. Тем не менее, любителям камня можно все-таки рекомендовать поехать в Слюдянку. Здесь сохранились старые карьеры, вокруг которых имеются большие отвалы, содержащие многие редкие, а иногда и редчайшие минералы. В скалах и обнажениях мраморов можно найти очень красивые образцы, содержащие прекрасные кристаллики магниевого оливина (форстерита), диоксида, белой флогопитовой слюды, почти не содержащей железа, кристаллы шпинели и многое другое. Интересны и карьеры облицовочного мрамора; в них и в отвалах можно найти те же минералы, но извлечь из обломков мрамора их легче, чем непосредственно из скалы.

ОБРАБОТКА СЛЮДЫ

Выборка слюды на руднике. При разработке слюдяных месторождений всегда очень трудна выборка слюды из горной массы. Более тяжелую и неприятную операцию трудно представить. Хорошо, если слюдоносное тело разрабатывается открытым способом, тогда хоть светло и обломок слюдяного кристалла легко отличить от других минералов. Под землей, в узкой выработке довольно темно, много пыли и вести выборку очень трудно и неудобно.

Слюда в месторождении залегает в очень плотной породе, ни клином, ни киркой ее взять не удастся. Обычно в рудном теле с помощью твердых сплавов или, в по-

следнее время, с помощью мелких алмазов высверливают несколько скважин, в которые закладывают заряды взрывчатого вещества и одновременно взрывают. Иногда взорванная масса выбрасывается в открытое место, но чаще закладывают такой заряд, чтобы в массиве горной породы проявилось большое количество трещин и порода только «вздохнула». После этого порода разбирается, причем самая крупная слюда выбирается непосредственно при разработке. Вся остальная часть извлеченной породы поступает на разборку, конечно, только в том случае, если это порода из «продуктивной зоны» и в ней есть хоть немного слюды. Если же это «пустая вскрыша», такая горная порода поступает в отвал или идет на засыпку подземных выработок.

Разборка извлеченной породы, содержащей слюду, велась раньше обычно на деревянных подмостках. Сюда добытый материал вываливался из вагонеток или с транспортера, и несколько рабочих крючьями или граблями разбирали насыпанную кучу, по камушку выбирая всю сколько-нибудь стоящую слюду. Особенно тяжела такая работа зимой, на морозе, когда влажная порода смерзается, и пальцы примерзают к камню, а брать камень все-таки приходится, иначе отобранную слюду в ящик не положить.

Позднее отборку несколько усовершенствовали. Добытый продукт насыпали на «грохот» — крупное сито, куда проваливались все мелкие кусочки, в том числе и мелкая слюда, но она и не нужна; ценными являются только кристаллы более 2 см в поперечнике, а такие через грохот не проходят. Из оставшихся на сите крупных кристаллов отбирать слюду было уже много легче, а в некоторых местах еще облегчили эту работу. Весь продукт, оставшийся на грохоте, постепенно сбрасывали на транспортер, где среди небольшого количества крупных камней выбрать слюду было еще проще, вся же пустая порода оставалась на транспортере и шла в отвал.

Еще большим усовершенствованием явился «уголковый грохот». После того как из добытого продукта отсеивалась вся мелочь, крупная фракция поступала на своеобразный грохот — сито, сделанное из уголкового металла, уголками вверх, отверстия же в грохоте не круглые, а плоские, протягивающиеся через весь грохот. Куски кварца и полевого шпата, а также их агрегаты

имеют более или менее одинаковые размеры по всем направлениям, и поэтому скатываются по уголкового грохоту как шарик и идут в отвал. Другое дело слюда: раскалываясь по спайности, она почти всегда представляет собой тонкие пластинки. Если такая пластинка лежит на широкой плоскости, то она не пройдет через грохот, но при потряхивании грохота она неизбежно попадает между углами и проскочит вниз. В результате главная масса слюды оказывается под уголковым грохотом, а работнице наверху остается только следить, чтобы в отвал не попали толстые слюдяные куски или сrostки слюды с кварцем и полевым шпатом.

Пропускание добытой «слюдяной руды» через грохот, и особенно через уголковый грохот, было большим достижением. Рабочие уже не сидели на жестоком морозе, снаружи, на ветру, а, кроме того, производительность резко возросла и можно было освободить от тяжелого труда многих женщин.

Отобранная слюда тут же, на руднике, очищается от посторонних минералов и несколько вскрывается, чтобы видеть, что в каждом кристалле есть хотя бы минимальный участок ровной, хорошо расщепляющейся слюды.

Выделенная и предварительно очищенная слюда тщательно упаковывается в небольшие ящики и отправляется на слюдяные фабрики для дальнейшей обработки.

На слюдяной фабрике. Самое первое впечатление от слюдяной фабрики — малое количество машин. Здесь нет крупных станков, плавящегося металла, да и рабочих в касках, ворочающих тяжелые детали, тоже не видно. Слюдяная фабрика — это «девичье царство».

Ящики со слюдой поступают прежде всего на очистку и отделку. Острым тонким ножом работница делает сбоку кристалла косой срез и отщепляет сверху и снизу запачканные и поцарапанные поверхностные слои, расщепляет кристалл на пластинки не более 1 см толщиной, а затем отрезает от них все загрязненные и плохо колющиеся участки.

Очищенные от всех дефектов слюдяные пластинки сортируются. Часть из них, наиболее ровная и плотная, идет на штамповку деталей для радиоламп. Из плотных и крупных листочков вырезают конденсаторы и, наконец, самые маленькие листочки идут на изготовление штампованной слюды. Особо ценны крупные листочки

совершенно чистых кристаллов, которые могут быть использованы в телевизионной технике. Такие листочки учитываются поштучно и специально упаковываются.

Рассортированные пластинки поступают на щипку. Это крайне интересный процесс, и, когда мне удастся посетить фабрику, я могу часами смотреть на ловкие руки девушек, ведущих щипку слюды. Вся работа ведется на стеклянных столах, которые освещены снизу. Внизу, под стеклом, стоят ящики, куда работница сбрасывает все слюдяные обрезки — слюдяной «скрап». Самое главное, что толщина слюдяного листочка для штамповки и обрезки должна быть порядка 0,30—0,35 мм, причем колебания этой величины не должны превышать 10%.

Девушка, ведущая щипку, работает очень быстро. Все тем же тонким и очень острым ножом прежде всего срезает бок пластинки, а затем кончиком ножа отделяет листочек нужной толщины; главным измерителем толщины при этом являются только девичьи пальцы. Мне говорили, что в понедельник, после того как в выходной день пальцы загрубеют от домашней работы и стирки, работница делает гораздо больше ошибок в толщине пластинки, чем в остальные дни недели. Трудным является и отщепление листочка по всей его толщине; нужно не поцарапать его поверхности и не погнуть. Просматривая отдельный листочек на свет, работница убеждается, что он имеет одинаковую просвечиваемость и, следовательно, одинаковую толщину, и кладет его рядом.

Затем следует процедура для меня совершенно неожиданная; на столике у работницы, сбоку, лежит кучка очень мелко тертой слюды, раньше я этой кучки не замечал. Девушка захватывает на кончик ножа немного мелкой слюды и набрасывает ее на отщепленный листочек, затем откалывает следующий листочек, кладет на первый, совершенно параллельно, и снова на поверхность вновь отщепленного листочка набрасывает щепотку мелкой слюды.

— «Скажите, а зачем Вы сыплете на листочки слюды эту мелкую слюдяную пыль? Ведь она загрязняет поверхность листочка».

— «Что Вы, разве можно без этого припудривания, ведь свежешотщепленные листочки слюды без этого так между собой склеятся, что их никак не отдерешь, а если

и удастся оторвать, то по новому месту, а на поверхности другого листочка останется тонкая пленочка, под которой будет большое количество воздушных пузырьков, и такой листочек придется отправить в «скрап».

Мне пришлось признать справедливость этого ответа; склеивание слюдяных листочков мне приходилось наблюдать многократно; это неизбежное следствие самой природы слюды и ее раскалывания «по калию». Девушка, безусловно, права. Несмотря на то, что я занял девушку разговором, руки ее продолжали делать свою работу. Лезвие ножа аккуратно отщипывало новый листок, проверка на свет и новая щепотка порошка.

За то время, которое Вы, читатель, уделите чтению раздела про щипку слюды, ловкие руки девушки отщипили бы, наверное, листочков 10—15, причем каждый листочек имел бы гарантированную толщину.

Забегая вперед, отмечу, что это еще очень толстые листочки и здесь относительно небольшая точность колебаний толщины листочка.

Есть на слюдяной фабрике еще один выпускаемый продукт — так называемая щипаная слюда, которая идет на производство различных клееных слюдяных композиций. Здесь отщепленный листочек слюды должен иметь 30 микрон, и отдельные листочки должны различаться по толщине не более чем на те же 10%. И опять главным контролером толщины являются пальцы работницы, которая почти не ошибается. Впрочем, на рабочем столе часто стоит микрометр для контроля толщины, но работницы пользовались им, пока мне удалось следить за их работой, только для того, чтобы показать мне, насколько точно они могут чувствовать толщину пластинки.

После щипки пластинки слюды поступают на штамповку. Листочек слюды работница подставляет под штамп, который вырубает из него деталь исключительно сложной конфигурации. В каждой детали имеется несколько строго калиброванных отверстий, в которых должны крепиться отдельные части радиолампы. Количество таких отверстий иногда очень велико.

Легко представить себе, как велики требования к качеству слюды, если учесть, что при штамповке таких деталей листочек слюды не должен дополнительно расщепляться, иначе деталь придется отправить в «скрап».

Квадратные пластинки слюды, идущие для производ-

ства конденсаторов, вырезаются по шаблонам, иногда с помощью резакон, подобных знакомым каждому фотолюбителю «гильотинок», которыми обрезаются фотографии. Отдельные слюдяные детали, являющиеся продукцией фабрики, тщательно упаковываются и отправляются потребителю.

В последние годы на некоторых слюдяных фабриках появились новые цеха, совсем не похожие на старые цеха переработки слюды. Это крупные механизированные предприятия, на которых очень мало рабочих. В эти цеха поступает весь фабричный и рудничный «скрап», т. е. все обрезки слюды с фабрики, мелкая или тонкая слюда, которую невыгодно расщеплять, и те слюдяные листочки, которые были извлечены на руднике, но плохо образованы и не могут быть расщеплены на хорошие листочки. Все поступающее в цех слюдяное сырье подвергается мелкому дроблению. Надо отметить, что раздробить слюду — дело чрезвычайно трудное. Если слюда очень легко разделяется на листочки, то разорвать этот листочек поперек чрезвычайно трудно. Какие только ухищрения здесь не применяют специалисты: сухое дробление с помощью шаров и стержней, дробление в струе жидкости и т. д., но все равно после дробления в жидкой суспензии, в которой взмучивается дробленая слюда, отчетливо видны отдельные относительно крупные чешуйки, да и сама суспензия, перетекая, очень своеобразно отражает свет — видны отдельные блестящие струйки; это может получиться только в том случае, если в струе взвешены именно листочки, а не обломки какой-либо другой формы; только листочки в процессе течения суспензии ориентируются одинаково.

В дальнейшем суспензия дробленой слюды тонкой ровной струей наносится на сукно бумагоделательной машины. Здесь вся вода отходит через сукно, а слюдяные листочки задерживаются на сукне, давая своеобразную слюдяную бумагу. Надо сказать, что пластинчатость слюды в суспензии при этом играет очень большую положительную роль. Дело в том, что слюда обладает резко различной проводимостью в разных направлениях; если для тока, идущего перпендикулярно к листочку, слюда является прекрасным изолятором, то вдоль листочка она проводит ток много лучше. Именно то, что один слюдяной листочек ложится на другой, образуя в

слюдяной бумаге своеобразную мозаику, где каждый листочек лежит параллельно поверхности бумаги, делает слюдяную бумагу очень хорошим изолятором, почти не уступающим по качеству листовой слюде.

Листочки слюдяной бумаги, в том виде, как они выходят из бумагоделательной машины, очень слабые, легко рассыпаются, их совершенно нельзя изгибать. Для большей прочности листочки слюдобумаги проклеивают между собой различными синтетическими смолами или шеллаком. При этом им можно придавать любую нужную форму. Получаются прочные, очень устойчивые и удобные слюдяные изоляторы. При изготовлении многих изделий, где раньше применялась листовая слюда (в первую очередь, многие электроприборы, бытовые и промышленные электромоторы) сейчас в значительной мере используется слюдобумага.

БУДУЩЕЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ СЛЮДЫ

Огромен тот труд, который нужно приложить, чтобы извлечь из недр даже очень небольшое количество слюды, пригодное для изготовления различных электроизоляционных деталей. Кроме того, даже небольшое количество слюды, которое выбрано из жилы, попадая на фабрики, подвергается обрезке и штамповке, и в результате большая часть отобранной на руднике слюды идет в «скрап» — в отходы. И только совсем небольшая часть добытой слюды используется в промышленности. Вместе с тем потребление электричества увеличивается, увеличивается количество электроприборов, содержащих слюдяные детали. В результате потребность в слюде резко растет. Особенно плохо с наиболее ценной мусковитовой слюдой. Интенсивные поиски слюды не привели к новым открытиям, и мусковит сейчас добывается в тех же местах, где ломали слюду слюдянщики еще 250—300 лет назад. Больше того, за это время старые месторождения слюды разработаны до очень больших глубин и получать из них слюду с каждым годом делается все труднее, да и обходится сейчас эта слюда много дороже, чем она стоила 5—10 лет назад.

Естественно, что уже с самого начала использования слюды специалисты стремились заменить редкую и чрезвычайно ценную крупнолистовую слюду более мелкой.

Один из путей такой замены — использование щипаной мелкой слюды для получения крупных клееных листов, был предложен еще в конце прошлого века лабораторией Эдисона. Такой клееный материал — «миканит» стал широко использоваться в качестве изоляции. Позднее из щипаной слюды начали изготавливать более тонкий листовой материал, наклеивая ее на бумагу или обклеивая склеенные щипаные листочки слюды бумагой с обеих сторон (микалента и микафолий). Клееные композиции выгодны еще тем, что гибким слюдяным листочкам можно придавать при их проклеивании довольно сложную форму, что представляет большое удобство.

Позднее было начато изготовление изоляционных материалов из мелкой дробленой слюды — слюдяного порошка, и различных легкоплавких стекол или полимерных материалов, в качестве склеивающего материала (микалекс, слюдопластики), где слюдяной порошок запрессовывается в связующую массу. Весьма важным является то, что микалекс может механически обрабатываться, обтачиваться, фрезероваться и сверлиться.

Последним направлением использования мелкой слюды как заменителя крупнолистовой слюды является изготовление различных слюдобумаж, о которых говорилось выше; производство их интенсивно растет во всем мире.

Выше мы рассматривали только слюдяную изоляцию, однако этим не исчерпывается использование мелкой слюды. В прежние годы, когда использование слюдяного скрапа для производства изоляционных материалов не было широко распространено, слюдяные фабрики усиленно искали пути использования своих отходов и имели большой успех. Мелкая слюда нашла применение в красках — она придает окрашенной поверхности очень эффектный блеск. Стала использовать мелкую слюду и обойная промышленность, где в результате присыпки мелкой слюдой поверхность обоев приобретает характерные переливы. Используется мелкая слюда как наполнитель многих пластмасс и как присыпка резин. Слюдяная чешуйка с большим успехом используется как поверхностная броня листов мягкой кровли, входит она и в состав многих штукатурок для внешних покрытий зданий. Во всех этих случаях слюдяная чешуйка несет двойную нагрузку. Они очень декоративны — штукатурка со слюдяной чешуйкой отражает солнечный свет,

а кроме того, чешуйка защищает штукатурку от внешних воздействий — дождя, ветровой эрозии и т. д.

Еще в начале пятидесятых годов, посещая слюдяные рудники, можно было видеть около крупных шахт и карьеров, в рудничных дворах и т. д., огромные кучи слюдяных отвалов — рудничного слюдяного скрапа. На дворах слюдяных фабрик также лежали в ящиках или просто на земле, в кучах, целые горы слюдяных отходов — фабричного «скрапа». Найти применение этому «скрапу» тогда было очень сложной задачей. Прошло время и потребитель привык к мелкой слюде, потребность в ней резко увеличилась, увеличилось и само число потребителей «скрапа», на слюдяных фабриках появились цеха по его дроблению и использованию дробленной слюды. Это, в свою очередь, привело к уменьшению количества «скрапа». И сейчас создается такое положение, что «скрапа» не хватает. На многих наших рудниках теперь наряду с крупнолистовой слюдой ведется выборка слюды, считавшейся ранее некондиционной, для переработки на слюдяную чешуйку или слюдяной порошок.

Дефицит мелкой слюды созданся и за рубежом во многих промышленно развитых странах. Так как там нет слюдяных рудников, то в ряде случаев были созданы специальные предприятия по добыче мелкой слюды. Эти предприятия оказались очень рентабельными и сейчас существует специальный рынок мелкой слюды. Например, в США, в 1972 г. было добыто 150 тыс. т мелкой слюды, на 4,5 млн. долларов. Слюда эта была использована для приготовления слюдобумаги, слюдопластиков и других продуктов.

Очевидно, целесообразной будет организация добычи мелкой слюды и в Советском Союзе. Поэтому советские геологи очень озабочены поиском этого нового вида слюдяного сырья. Конечно, из пегматитовых жил такого количества мелкой слюды, в котором нуждается промышленность, получить невозможно. Нужно найти новый источник сырья. Задача эта трудная и интересная; чем скорее и успешнее она будет решена, тем больше пользы получит народное хозяйство.

Второй путь перспективных работ в области слюды — это ее искусственная кристаллизация. Слюда состоит из очень широко распространенных веществ. Как было бы

хорошо, если бы все трудности добычи и выработки слюды на месторождениях заменить заводскими цехами, где можно было бы растить кристаллы слюды до нужных размеров и в необходимых количествах. Однако синтезировать слюду в лаборатории оказалось чрезвычайно трудным делом.

Первоначально слюду удавалось получить только случайно. Знаменитый немецкий ученый Е. Митчерлих еще в 1822—1823 гг. встретил биотит в металлургических шлаках, но современники в его открытие не поверили. Только в 1892 г. норвежец И. Фохт подтвердил данные Е. Митчерлиха.

Второе, также относительно случайное искусственное образование биотита зафиксировано в 1854 г. датчанином И. Форхгаммером, который сплавил мергель с поваренной солью и в продукте реакции среди других образований отмечает «уверенный биотит».

Первый научный синтез слюды был проведен в 1887 г. Константином Дмитриевичем Хрущевым, профессором минералогии Петербургской Военно-Медицинской Академии. К. Д. Хрущев создал установку, в которой мог вести синтез силикатов при высоких температурах даже в присутствии воды. Эта задача и сейчас является исключительно трудной, а тогда это было сделано впервые. Слюду К. Д. Хрущев получил из шихты, содержащей фтористые соединения. Получение искусственной слюды было крупным открытием, но оно, к сожалению, не нашло у современников той высокой оценки, какой заслуживало это большое достижение. Судя по работам К. Д. Хрущева, — это был очень интересный и талантливый исследователь, но среди современников он не пользовался авторитетом. Его работы, хотя и относились к изучению русских горных пород, были опубликованы за границей и почти не цитируются в старых русских работах. Пронзшло это, как можно думать, потому, что он учился и начал работать в Германии, и по свидетельству современников, немецким языком владел лучше, чем русским. Только уже пожилым исследователем К. Д. Хрущев приехал в Россию и, видимо, сторонился петербургских коллег; в некрологе, помещенном в «Записках Минералогического общества» указывается с огорчением, что, «будучи занят своими исследованиями, он в последние годы не бывал на заседаниях обще-

ства». Таким образом, «более чем равнодушное» отношение, которое встретила у современников интересная статья К. Д. Хрущева о синтезе слюды, вполне закономерно.

После К. Д. Хрущева, в 1890 г. разные слюды опять-таки из шихты, содержащей фтор, удалось получить австрийскому физико-химику К. Дельтеру, а еще позднее, в 1891 г., совместно с другими минералами, слюду синтезировали французские исследователи Ф. Фуке и А. Мишель-Леви. Они плавили 3 г гранита в присутствии 1,5 г воды. После плавления и охлаждения сплава в сосуде, где велось плавление, воды не оказалось. Поэтому авторы посчитали, что вода в этом синтезе не играла какой-либо роли.

Все эти исследования не давали самого главного — уверенного пути синтеза слюды. Ни один из этих способов синтеза не был проверен повторно, не было и теории слюдообразования. Во все шихты, давшие слюду, входили фтористые соединения или вода. Если роль воды понятна — она входит в состав слюды, роль фтора долгое время не понималась, и то, что фтор в структуре искусственных слюд занимает место воды, стало ясно только после интереснейших опытов, проведенных в тридцатые годы Д. П. Григорьевым, тогда еще молодым специалистом, а впоследствии профессором Ленинградского горного института.

Первые работы Д. П. Григорьева по синтезу слюды и амфибола из шихт, содержащих фтор, были опубликованы в 1934—1935 гг., а в 1938 г. Д. П. Григорьев опубликовал работу, где показал полную возможность уверенного образования слюды из шихты, содержащей все необходимые компоненты слюды — окись магния, окись калия, кремнезем и глинозем, а также некоторое количество фтора, которое может вводиться в самых различных формах, например, в виде кремне-фтористого калия или просто фтористых калия и магния. Самое же главное — из такой шихты кристаллизация слюды идет при нормальном давлении. Делается ненужной сложная аппаратура, создающая давление и удерживающая летучие вещества в зоне реакции.

Исследовав искусственно полученные слюды, Д. П. Григорьев показал, что среди фторсодержащих слюд можно найти те же разности, что и среди природных

слюд, содержащих воду, а следовательно, можно получить и маложелезистые слюды, являющиеся хорошими изоляторами. Была, однако, одна большая беда, кристаллики слюды, полученные Д. П. Григорьевым, были исключительно малы, и размер их пластинок не превышал единичных квадратных миллиметров. Сначала казалось, что этот дефект легко устраним и что после некоторых упорядочений метода кристаллизации слюдяного расплава можно будет получить кристаллы промышленных размеров. В действительности же это оказалось совсем не так. Слюда кристаллизовалась очень быстро, и как только создавались условия, благоприятные для кристаллизации, весь расплав сразу кристаллизовался, давая много мелких кристаллов.

Вместе с тем, преимущества, которые сулил метод Д. П. Григорьева, были настолько велики, что во всем мире начались работы по синтезу слюды. Особенно интенсивно эти исследования шли в Германии, США и Японии, странах, лишенных собственных месторождений слюды. Продолжались эти работы и в нашей стране.

Какие только ухищрения не предпринимались исследователями. Прежде всего изменялась форма тигеля, в котором плавился и застывал расплав слюдяной шихты. При кристаллизации из расплава других минералов применение тигеля с конусовидным основанием и медленное охлаждение снизу вверх давали очень хорошие результаты. При конусовидной форме тигеля охлаждение начинается с самого нижнего узкого конца и здесь возникает несколько мелких кристаллов, ориентированных весьма различно. Скорость роста различных граней различается также довольно сильно, кристаллы, которые ориентированы быстро растущими гранями в сторону стенок, при дальнейшей кристаллизации достигают стенок и прекращают свой рост. Остается только один кристалл, который и заполняет всю верхнюю широкую часть тигеля. «Всегда» этот прием удавался, ну, а вот у слюды так и не удалось добиться выделения одного кристалла; в тигеле всегда получался агрегат мелких кристаллов, да к тому же часто переполненных включениями. Конечно, может быть тогда, когда лучше будут известны условия кристаллизации слюды, можно будет подобрать такую скорость кристаллизации, что конусовидный тигель даст хорошие результаты, но пока успеха

нет, хотя применяли тигели с самой различной формой основания.

Вторым путем, к которому прибегали исследователи, было увеличение размеров расплава. В этом направлении кое-какие успехи появились, но все-таки полного удовлетворения не было. Схема такой плавки тоже проста (рис. 52). В металлический контейнер загружается большое количество шихты (точки), в центральную его часть помещаются графитовые электроды (черное), вызывающие плавление шихты (штрихи), прилегающей к ним. Над расплавом образуется пустота (белое); внешняя не прореагировавшая шихта образует спекшуюся корку (параллельная штриховка) и служит сосудом, в котором скапливается расплав. После того как значительная часть шихты будет расплавлена, ток выключают и расплав очень медленно охлаждается, особенно в центре, где возникают достаточно крупные тонкопластинчатые кристаллы.

Правда, эти кристаллы часто взаимопрорастают, и этим сильно портят друг друга. Однако в некоторых случаях удавалось выделить хорошие участки, расщепить их и получить некоторое количество деталей. Но выход годной продукции был очень мал, а стоимость изделий во многие десятки раз выше стоимости изделий из природной слюды.

Тем не менее, это был очень большой успех; удалось изучить свойства искусственной слюды в крупных пластинках и испытать их в изделиях. Такое изучение уверенно показало, что искусственная слюда ведет себя в изделиях много лучше, чем естественная. Во-первых, листочки искусственной слюды много прочнее, и поэтому лучше штампуются и лучше служат в изделиях; во-вторых, из-за отсутствия железа в составе искусственной слюды ее электроизоляционные свойства лучше и, наконец, в-третьих, замена гидроксила фтором оказалась чрезвычайно выгодной. Увеличилась термостойкость слюд, а кроме того, в чрезвычайно тяжелых условиях

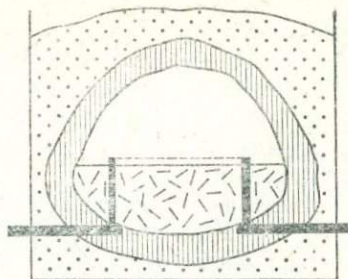


Рис. 52. Схема бестигельной кристаллизации слюды

глубокого вакуума и высоких температур, в которых служит слюда, во многих радиодеталях из естественной слюды начинает выделяться вода, вакуум нарушается и деталь выходит из строя. Искусственная слюда в этих же условиях никаких газов не выделяет, и тем самым не «портит» детали.

Если из огромных блоков искусственной слюды, получаемых при таких массовых плавках, использовалось только очень небольшое количество листовой слюды, которое можно было получить из такого блока, то дело было бы совершенно безнадежно. Однако сторонники этого метода синтеза пытались использовать всю слюду, в том числе и микрокристаллическую, для получения различных слюдопластиков, микалекса и слюдобумаг. Хотя электроизоляционные качества этих продуктов, изготовленных из искусственной слюды, много лучше, чем таких же материалов, изготовленных на природной слюде, тем не менее их производство экономически оказывается не очень оправданным. Стоят эти продукты много дороже, чем такие же продукты на основе природной слюды.

Несмотря на использование всей мелкой слюды и на высокое качество искусственной листовой слюды, метод крупных плавок оказался очень неудачным. Плавки часто не выходили, и слюда оказывалась всегда очень дорога. До сих пор (до середины семидесятых годов) в литературе не сообщалось о том, что где-либо организовано успешно работающее предприятие для промышленного получения искусственной слюды, хотя попыток на этот счет было очень много.

Во многих странах существуют сейчас лаборатории, синтезирующие искусственную слюду. Ищут наиболее удобные составы слюды и шихты, лучшие условия кристаллизации расплава, изменяют методику кристаллизации и охлаждения, пробуют растить на уже готовых кристаллах, да мало ли что может придумать и испытать ищущий человек. Успехов пока мало, хотя уже прошло 40 лет с тех пор, как Д. П. Григорьев получил первую слюду, содержащую фтор. И все-таки будущее за синтетической слюдой. Конечно, и, я думаю, очень скоро будут построены заводы искусственной слюды, и этот замечательный минерал будет использоваться в промышленности значительно шире, чем сейчас.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Только что Вы, дорогой читатель, прочли три рассказа. В каждом из них рассматривалась отдельная группа минералов, очень близких между собой, но резко отличных от двух других групп, и, таким образом, внешне кажется, что эти рассказы ничем между собой не связаны. Однако это только внешнее впечатление; все рассказы, в сущности, рассматривают одну и ту же проблему — проблему большого разнообразия свойств минералов и широкую возможность практического их использования при хорошем знании свойств этих минералов.

В случае слюды промышленность использует способность минерала расщепляться на мелкие листочки. В случае асбеста полезным свойством служит способность асбестовых минералов давать при кристаллизации тончайшие волокнистые кристаллы, которые по своим свойствам подобны растительным волокнам. Наконец, на примере цеолитов мы знакомимся с минералами, где промышленность использует внутренние структурные особенности их кристаллов.

Сравните эти полезные ископаемые с рудами различных металлов. Для руды на первое место выходит содержание полезного компонента. Химический состав руды является важнейшим показателем, по которому оценивается качество руды. В противоположность этому минералы, рассмотренные в наших рассказах, состоят, в общем, из одних и тех же главных элементов, исключительно широко распространенных в природе. Большинство из веществ, составляющих эти минералы, входят в первую десятку наиболее распространенных в природе элементов, и в природе имеются многие десятки минералов, близких по химическому составу к рассмотренным. Оцениваются же рассмотренные минералы — полезные ископаемые, по совершенству кристаллов, по их размеру и количеству, а не по общему химическому составу всей породы.

Конечно, слюда, асбест и цеолиты не исключительны, можно указать еще на многие вещества, для которых важнейшим является их структура и качество кристаллов. Как на дополнительный пример можно указать на алмаз — прозрачный и самый твердый минерал из всех существующих, и графит — самый мягкий, непрозрачный и электропроводный минерал, состоящие из углерода. Кроме того, алмаз, как и другие драгоценные камни, может быть примером большого влияния совершенства и размеров кристаллов на их стоимость. Один крупный кристалл минералов — драгоценных камней — стоит во много раз больше, чем мелкие кристаллы, взятые в том же количестве.

Использование пьезоминералов служит примером практического значения тончайших структурных особенностей кристаллов. Важнейшим полезным ископаемым являются минералы, используемые в оптических приборах: исландский шпат, флюорит, оптический кварц и многие другие вещества.

Чем больше развивается техника, тем чаще промышленность предъявляет требования на кристаллические вещества — полезные ископаемые. Условно всю эту группу можно объединить термином — кристаллосырьё. Эта группа полезных ископаемых играет очень большую роль в народном хозяйстве. Геологи их усиленно разыскивают и изучают. Существуют рудники, где ведется усиленная добыча кристаллосырья. Следует также отметить, что рыночная стоимость единицы веса этих полезных ископаемых на мировом рынке исключительно высока.

Большое своеобразие кристаллосырья определяет очень многое в работе геолога и горняка при его поисках и разведке, а также при добыче. Если к поискам руд металла можно применять методы так называемых «геохимических поисков», заключающихся в выявлении закономерностей концентрации металлов, а также в определении содержания их следов в горных породах, то к поискам минералов, состоящих из обычных элементов, эти методы не применимы. Геолог в этом случае должен выявить физико-химические условия, где наиболее вероятно образование ископаемых минералов. Конечно, химический состав вмещающих пород играет здесь очень большую роль, но первостепенными являются все же физико-химические условия образования минералов. Для образования цеолитовых пород необходимы очень малые давления и температура в пределах 100—200°C, для возникновения хризотил-асбеста более высокие, но все же не очень большие давления и примерно те же температуры. Еще более высокие давления и температуры необходимы для образования роговообманковых асбестов. Наконец, для слюды необходимы такие давления и температуры, которые могут существовать только в самых нижних горизонтах земной коры.

На примере асбеста и слюды можно видеть еще одну, очень важную особенность кристаллических минералов, используемых как промышленное сырьё. Для них огромное значение имеет величина и совершенство кристаллов. Так, например, по подсчетам специалистов слюда разного типа составляет не менее 3—5% всей массы земной коры, однако промышленная слюда исключительно редка и встречается только в очень немногих местах. Примерно то же имеет место в случае асбестов; хризотил почти полностью слагает огромные массивы ультрабазитовых пород, распространенных в природе довольно широко, но месторождения длиннотрубчатого хризотила, имеющего промышленное значение, составляют ничтожную часть от всех ультрабазитовых массивов.

Требования промышленности на получение только крупных кристаллов (причем, чем крупнее кристаллы, тем они дороже) определяют во многом и исследовательскую работу геолога, и путь их поисков. Исследователю надо не только выявить условия образования того или иного минерала — полезного ископаемого, но и найти места, где могла бы происходить спокойная кристаллизация, иначе говоря, имелись бы «кристаллизаторы», в которых могли образовываться правильные крупные кристаллы.

Существует и еще одна особенность кристаллосырья, являющаяся закономерным следствием того, что хорошие крупные кристаллы очень редки и стоят очень дорого, а материал, из которого они сложены, весьма дешев и встречается в природе в очень больших количествах. Все эти кристаллы человек стремится получить искус-

ственно. Так, например, синтезируют цеолиты, причем получаются многие формы, отсутствующие в природе и обладающие особо благоприятными свойствами. Синтезируют кристаллы кварца; во многих странах построены заводы, где кварцевые кристаллы растут в течение длительного срока, в мощных автоклавах, давление и температура в которых достигают тех параметров, которые господствовали в недрах Земли при кристаллизации кварца в природе.

Синтез кристаллов рубина, подобных кристаллам природного рубина, ведется в специально сконструированных печах, где температура в узкой области кристаллизации минерала достигает почти 2000°C. Синтетические рубины широко используются как украшения, но главное их применение — в часовой промышленности. Синтетические кристаллы рубина, которым в процессе кристаллизации придают форму стержней, используются в лазерной технике, в текстильной промышленности, где эти кристаллы служат как нитеводители, и для других целей. Рубин — это прозрачный корунд, окрашенный окисью хрома в тот или иной оттенок красного цвета. Сейчас синтезируют рубины, окрашенные в синий, желтый, фиолетовый и другие цвета, не встречаемые в природе. Изготавливается и мелкокристаллический корунд, очень чистый бесцветный (коррекс), а также розовый и желтый. Из такого корунда делают абразивные (точильные) бруски, круги и другие изделия, используемые при обработке металлов.

Конечно, нужны заводы синтеза слюды и асбеста, и они, безусловно, возникнут; это будет огромное достижение науки, и в процессе их организации будут выявлены многие тайны природы о процессах кристаллизации вообще и о путях образования именно этих кристаллов. Однако мне все-таки будет жалко расстаться с очень поэтичным процессом поиска месторождений крупных кристаллов и их добычей, где никто не может быть равнодушен, и каждый, даже старый, опытный горняк, многие годы ведущий добычу слюды, волнуется и радуется, когда удастся встретить хороший участок жилы с крупными совершенными кристаллами.

Впрочем, огромное количество синтетического рубина, поступающего на рынок, не уничтожило промысел природных рубинов. По-прежнему в долинах Бирмы и на юге о. Шри Ланка существует много приисков, где из речных наносов вымываются прекрасные, очень высоко ценимые рубины. Да и у нас на Северном Урале продолжают разработки невысокого по качеству рубина. Все-таки природный материал обладает специфической прелестью, и искусственный продукт не может его полностью вытеснить.

Я очень люблю камень во всех его проявлениях, особенно приятно, когда тот или иной каменный продукт оказывается нужен человеку. Исключительно интересны поиски месторождений, процесс прослеживания отдельных жилок и их продолжения в тех многочисленных случаях, когда жила теряется или пережимается. Многое при этом приходится продумывать и учитывать, это дает возможность открыть многие новые законы природы, и какое великое счастье, когда все Ваши предположения оправдываются и Вы вновь находите потерянную жилу или рудоносную зону.

А какое удовольствие доставляет красивый характерный образец, где видна природа месторождения, или просто хороший эффектный кристалл. У меня на столе стоят несколько таких образ-

цов из слюдяных и асбестовых месторождений, и мне бы не хотелось с ними расставаться.

Если в своих рассказах я сумел показать читателю, что работа геолога, изучающего месторождения кристаллосырья, полна радостей и открытий, как мелких, имеющих значение только для самого исследователя, так и больших, дающих научные результаты, меняющие многие взгляды, ученых; если читатель, прочтя эти рассказы, иначе, чем раньше, взглянет на листочек слюды, поддерживающий конструкции в радиолампе, или в музее с большим вниманием подойдет к витрине с прекрасными кристаллами цеолитов, то я буду считать, что мои рассказы выполнили свою задачу.

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	3
Цеолиты — цветы Земли	5
Первые находки	5
Устье реки Уравель	20
Необычный кальцит	28
Происхождение цеолитов	39
Цеолиты — полезные ископаемые	48
Где искать цеолиты	55
Асбест — горный лен	63
История использования	63
Типичные месторождения	69
Почему асбест волокнистый	99
Спутники асбеста	108
На асбестовой фабрике	112
Настоящее и будущее асбеста	114
Vitrum moscoviticum — стекло из Москвы	118
Введение	118
История использования слюды	121
Причины своеобразия слюды	128
Мамское слюдоносное поле	136
На Слюдянке	149
Обработка слюды	159
Будущее промышленной слюды	165
Послесловие	173

ИБ № 1907

Валерий Петрович Петров

РАССКАЗЫ О ТРЕХ НЕОБЫЧНЫХ МИНЕРАЛАХ

Редактор издательства В. И. Макеев

Переплет художника Н. И. Шевцова

Художественный редактор В. В. Ездокимов

Технические редакторы Н. В. Балашова, Л. Н. Шимаиова

Корректор Е. И. Микрякова

Сдано в набор 20/X 1977 г. Подписано в печать 6/XII 1977 г. Т-21034
 Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 2. Печ. л. 5,5. Усл. п. л. 9,24 Уч.-изд. л. 9,65
 Тираж 71 000 экз. Заказ 1576/6709-1 Цена 30 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
 Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном
 комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии
 и книжной торговли, Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

30 коп.

2325

ПЕДРА