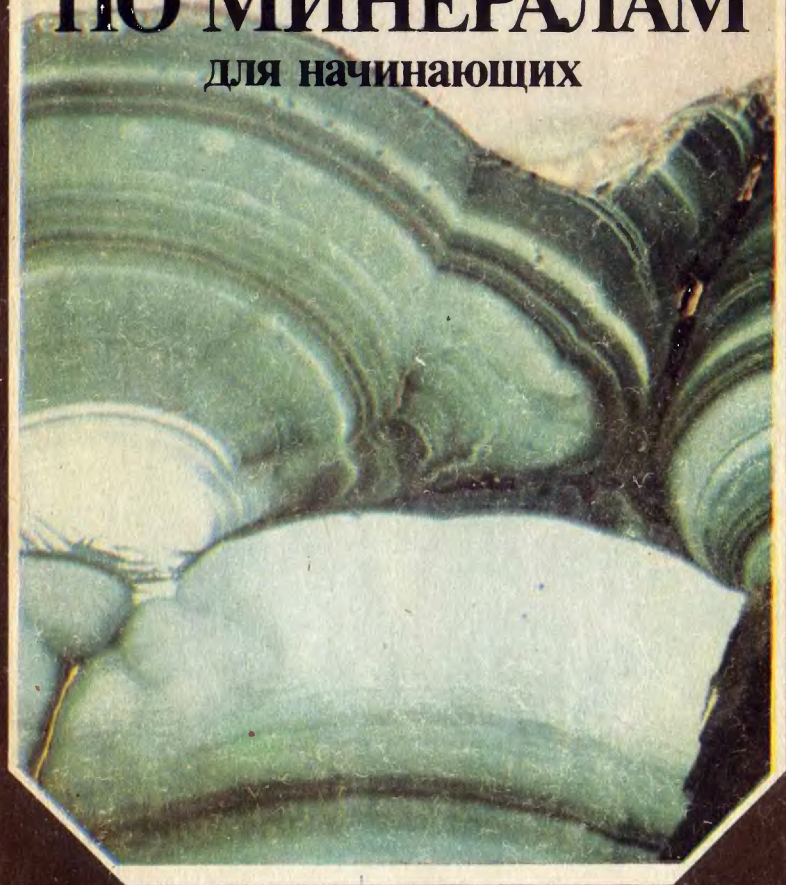


М. О'Донохью

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО МИНЕРАЛАМ

для начинающих



НЕДРА



Кальцит

Аметист



Beginner's guide to MINERALS

Michael O'Donoghue

Scan &
DjVu
IgorR

Newnes Technical Books

Майкл О'Донохью

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО МИНЕРАЛАМ для начинающих

Перевод с английского С. С. Филатова

Под редакцией проф. А. Г. Булаха



Ленинград
«Недра» Ленинградское отделение
1985

552
044
УДК 549

О'Донохью М.

- 044 Путеводитель по минералам для начинающих:
Пер. с англ. — Л.: Недра, 1985. — 207 с., ил. —
Пер. изд.: Великобритания, 1982.

Популярно, на современном уровне изложены основы изучения условий нахождения и образования минералов. Даны сведения о кристаллической структуре, формах и симметрии природных кристаллов. Описаны методы диагностики минералов. Рассказано о правилах сбора минералов, их обработки, о составлении и хранении коллекций. Рассмотрены наиболее распространенные минералы.

Для старшеклассников, студентов, краеведов и любителей камня.

О 1904020000—337 38—85
043(01)—85

552

ОТ РЕДАКТОРА

У вас в руках книга, написанная известным минералогом и знатоком драгоценных камней Майклом О'Донохью. В простой, легкодоступной для неискушенного читателя форме в ней вполне научно изложены основы современных представлений о минералах, их свойствах, составе, условиях образования, а главное — дано много ценных рекомендаций по работе начинающего коллекционера или просто любителя-минералога. В книге М. О'Донохью много своего оригинального материала, подходов и трактовок явлений. Кроме того, автор дает характеристику наиболее распространенных в природе и наиболее интересных для коллекционера минералов с указанием мест их нахождения.

Несомненно, книга стремится возбудить в читателе тот разумный подход к коллекционированию, при котором появляется тяга к истинно научному знанию и к контактам с профессиональной наукой. А это — единственная возможность превратить любительское собирательство в общественно полезное дело. Хочется предостеречь читателя от поспешного использования рекомендаций по чистке кристаллов: так можно легко уничтожить на них те «присыпки», наросты, примазки, которые нередко являются единственными свидетельствами об условиях образования минерала. Книга проста, лаконична и говорит сама за себя.

Примечания и пояснения переводчика и научного редактора даны в квадратных скобках в тексте непосредственно по ходу изложения. Нами составлен так-

же список необходимой специальной литературы для интересующихся минералогией читателей.

Отдельные части перевода просмотрены Л. Н. Шарпенко (Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт — ВСЕГЕИ), В. К. Шиманским, Н. А. Шейнерман (Всесоюзный нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт — ВНИГРИ) и В. Н. Маркиным (Ленинградский государственный университет — ЛГУ); их критические замечания были учтены переводчиком.

С согласия автора заменены снимки минералов. Фотоснимки минералов, помещенные в тексте, сделаны И. М. Пискижовым в музее кафедры минералогии ЛГУ, цветные слайды для обложки — А. Ф. Сягиным в горном музее Ленинградского горного института (ЛГИ).

А. Г. Булах,
доктор геолого-
минералогических наук,
профессор кафедры
минералогии ЛГУ

ОТ АВТОРА

Многим из вас хорошо известны минералы в качестве драгоценных камней или составных частей горных пород, однако немногие представляют себе, как их надо определять, классифицировать и коллекционировать. Из 2500 известных минеральных видов значительная часть представлена порошковатыми, корковыми, натечными и другими подобными образованиями, и лишь некоторые встречаются в виде четких крупных кристаллов. В этой книге рассматриваются только такие кристаллы, хотя принципы классификации и диагностики в равной степени распространяются и на те минералы, определить которые можно только под электронным микроскопом.

Я написал это руководство, чтобы возбудить интерес к изучению минералогии как у лиц, склонных заниматься собиранием камней, так и у любителей-коллекционеров. Здесь описаны физические и химические свойства минералов и рассмотрены те их особенности, которые могут быть полезными при полевой диагностике. Поскольку самые высококачественные фотоснимки минералов не способны передать всю красоту их лучших образцов, превосходным дополнением к штудированию этой книги будет посещение минералогических музеев. Перед любознательным умом там может открыться совершенно новый для него мир природы.

1

ВВЕДЕНИЕ

Горные породы, залегающие на поверхности Земли, состоят из минеральных агрегатов, по большей части мелко- или скрытокристаллических. Сравнительно редко минералы встречаются в виде крупных, хорошо сформированных кристаллов. Разнообразные процессы приводят к формированию минералов. Многие из минералов остаются неизменными в земной коре миллионы лет; другие возникают, возможно, под воздействием высоких температур и давлений в недрах на глубине нескольких километров; в ряде случаев минералообразование идет на поверхности земли в результате охлаждения горячих вод и газов вулканического происхождения.

Не так-то легко сформулировать термин «минерал». Можно сказать, что минерал — это вещество естественного происхождения, представляющее собой химическое соединение или химический элемент. [Термин *minera* (лат.) означает «кусочек руды», «штуф». Понятие «минерал» не имеет однозначного определения. Минералом обычно называют природное химическое соединение или химический элемент, образующиеся в результате различных физико-химических процессов, протекающих в земной коре, водной оболочке или атмосфере. Наиболее существенное разногласие в толковании понятия «минерал» касается вопроса о том, относить ли к минералам только кристаллические вещества или к ним можно причислять вещества в любом агрегатном состоянии.]

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Интерес к минералам проявляли ученые еще в античные времена. Аристотель (384—322 гг. до н. э.) и Теофраст (372—287 гг. до н. э.) ссылаются на работы предшествующих исследователей в области минералогии. Аристотель упоминает о минералах в своей «Метеорологии»; Теофраст написал трактат «О камнях», который был, по-видимому, одной из первых специальных работ по минералогии. Многим известна «Естественная история» римского ученого Плиния Старшего, куда вошли четыре трактата о минералах; она была написана в 40—50-х годах н. э.

После заката Римской империи до средних веков никаких научных публикаций на эту тему не известно. В средние века наиболее причудливые особенности природы привлекли к себе внимание ряда авторов, в описаниях которых тесно переплетаются наблюдения и предрассудки. Минералам приписывались магические или целительные свойства, по-видимому, в соответствии с их внешним видом или редкой встречаемостью.

Хорошим примером работ такого рода может служить «Естественная история» Альбертуса Магнуса, жившего в послеримскую эпоху. Именно к этому времени относятся «Лапидарии» — книги о магических свойствах камней.

Позднее, однако, начались более серьезные минералогические исследования, и в монографии «О природе ископаемых» чешского ученого Георга Бауэра (1494—1555), известного под именем Георгиуса Агриколы, имеется раздел, где минералы классифицируются на основе диагностических свойств — по плотности, твердости и т. д. В труде «История драгоценных камней и гранильного искусства» (1609) Де-Бодта мы находим взгляды, значительно более близкие к современным, а некоторые наблюдения автора не потеряли значения и в наши дни.

При посещении минералогической выставки в большом музее читатели сразу заметят, что в порядке расположения образцов не учитываются их размеры или окраска. Образцы в музее экспонируются по совершенно иному принципу, который становится понятным только при усвоении учебника минералогии. В основу классификации образцов положен химический состав минералов: они расположены по группам, в каждую из которых соответственно входят самородные элементы или различные сложные соединения — окислы, сульфиды, силикаты и т. д.

Одним из пионеров такой классификации, предшественником которого был известный ученый А. Г. Вернер (1750—1817), является Джеймс Дуайт Дэна (1813—1895). Первое издание его капитального труда «Система минералогии» вышло в 1837 г., эта книга переиздается до сих пор. Составление экспозиции минералов или оформление витрины в музее всегда отвечает «порядку Дэна», согласно которому любая минералогическая коллекция начинается с самородных элементов. Некоторые любители, собирающие минералы, называют себя «коллекционерами Дэна» — они работают по его «Системе минералогии» и стремятся обнаружить как можно больше интересных, ценных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

Литература по минералогии не настолько обширна, чтобы отпугнуть изучающих эту науку. Хотя имеется множество серьезных минералогических исследований, в большинстве из них речь идет, в сущности, об одном и том же, и вполне достаточно иметь одно хорошее руководство для консультаций и справок в случае необходимости. Основные справочники всегда можно найти в библиотеке, но лучше иметь под рукой свои книги!

Я уже упоминал «Систему минералогии» Дж. Дэна. [Есть русский перевод. М., Иностран. лит., 1951—1954.] Имеется современное издание этой книги в трех томах, но в ней отсутствует раздел по силикатам. Монография Дж. Дэна — это фундаментальная работа, в которой дано детальное описание всех мине-

ральных видов и разновидностей. Начинающему любителю этот многотомный труд, пожалуй, не потребуется, однако для имеющего некоторый опыт настоящего коллекционера он очень скоро становится необходимым. Более простая книга — это сводка Майкла Флейшера «Словарь минералов», где приводятся их химический состав (последнее издание вышло в 1983 г.). Это руководство систематически переиздается. [В 1986 г. издательство «Недра» предполагает издать перевод этой книги.] В промежутках между публикациями выпускаются «дополнения и изменения», помещаемые в превосходном журнале «Mineralogical Record» («Минералогические записки»). Британский музей (Отдел естественной истории) публикует «Химический указатель минералов»; он выпущен в виде одного основного и двух дополнительных томов.

Лица, заинтересованные в ознакомлении с иллюстрированным руководством по минералогии, более современным по сравнению с книгой Дж. Дэна, должны обратиться к «Минералогической энциклопедии» Робертса, Раппа и Вебера. Первое издание этой книги вышло в 1974 г. В этой большой (и дорогой) книге характеристика минералов приводится в алфавитном порядке, причем для каждого минерала дается краткий перечень его основных свойств; кроме того, помещены ссылки на наиболее важную статью или книгу, где имеется подробное описание этого минерала. [Можно рекомендовать также «Минералогическую энциклопедию» под редакцией К. Фрея. Л., Недра, 1985.]

Есть много книг по минералогии меньшего объема, некоторые из них написаны вполне удовлетворительно. Например, очень полезным полевым справочником является «Хэмлинский определитель минералов, горных пород и окаменелостей». В «Энциклопедии минералов и драгоценных камней» автора этих строк помещена масса цветных фотоснимков, отдельные главы посвящены вопросам диагностики минералов, представлен большой материал по драгоценным камням (приводятся даже детальное описание способов их полировки).

До сих пор мы обсуждали книги по минералогии, не имеющие прямого отношения к учебной литературе. Начинающим минералагам можно порекомендовать и некоторые учебники. Вероятно, основным пособием может служить «Учебник минералогии» (первоначально написанный Дж. Дэна, а теперь опубликованный 19-м измененным и модернизированным изданием). «Минералогия» Рэтли (исправленная и дополненная Г. Ридом) является хорошим пособием, но несколько устаревшим. Для более эрудированных читателей мы настоятельно рекомендуем «Минералогию» К. Фрея.

После изучения учебников и руководств лица, всерьез заинтересованные в дальнейшем расширении своих знаний, почувст-

вуют необходимость подписаться на какое-либо периодическое издание. Несомненно, следует начать с журнала «Mineralogical Record». Он издается с начала 1970-х годов; в нем публикуются данные, способные заинтересовать серьезного коллекционера, причем особое внимание уделяется характеристике местонахождений наиболее важных минеральных видов.

Этот журнал рассчитан на уровень хорошо подготовленного любителя и не претендует на глубокие, специализированные исследования, которым посвящены статьи таких журналов, как «Mineralogical Magazine» («Минералогический журнал») и «American Mineralogist» («Американский минералог»). Невзирая на то что в обоих этих журналах публикуются все минералогические новинки и что в них печатаются наиболее интересные сообщения, по-видимому, для начинающего минералога не следует подписываться на эти журналы — их можно просмотреть и в библиотеке. Даже специалисты не в силах понять все статьи каждого выпуска этих журналов! [Из отечественных журналов можно назвать «Записки Всесоюзного минералогического общества» и «Минералогический журнал».]

Для тех, кто особенно заинтересован в изучении драгоценных камней, можно рекомендовать журнал «Gems» («Самоцветы»), где статьи интересны и написаны довольно просто. В них освещаются вопросы по диагностике, местам находок драгоценных камней и их огранке.

Журнал «Mineralogical Abstracts» («Минералогические аннотации») издается раз в три месяца. В каждом его выпуске имеется несколько разделов, посвященных таким темам, как экспериментальная минералогия, драгоценные камни, геохимия, исследования лунного грунта, региональная минералогия. Последний раздел представляет особый интерес для читателей, так как там помещаются аннотации статей, опубликованных не только в США и Великобритании, но и в других странах, благодаря чему можно найти много интересной информации о месторождениях всего мира. Следует подчеркнуть, что в «Mineralogical Abstracts» не печатаются аннотации на статьи из научно-популярных журналов; вопросы же прикладной минералогии ограничены информацией о драгоценных камнях.

[РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА]

Учебники и пособия

Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М., Госгеолиздат, 1956. 555 с.

Вертушков Г. Н., Авдонин В. Н. Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам. М., Недра, 1980. 295 с.

Лазаренко Е. К. Основы генетической минералогии. Львов, Изд-во Львовского гос. ун-та, 1963. 410 с.

Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., Высшая школа, 1971. 602 с.

Миловский А. В., Кононов О. В. Минералогия. М., Изд-во МГУ, 1982. 309 с.

Миловский А. В. Минералогия и петрография. 5-е изд. М., Недра, 1985. 380 с.

Монографии и справочники

Андерсон Б. Определение драгоценных камней. Пер. с англ. под ред. В. П. Петрова. М., Мир, 1983. 586 с.

Бетехтин А. Г. Минералогия. М., Гостоптехиздат, 1950. 956 с.

Винчелл А. Н., Вичелл Г. Оптическая минералогия. Пер. с англ. под ред. акад. Д. С. Белянкина. М., Иностран. лит., 1953. 562 с.

Годовиков А. А. Введение в минералогию. Новосибирск, Наука, 1973. 232 с.

Годовиков А. А. Минералогия. 2-е изд. М., Недра, 1982. 642 с.

Григорьев Д. П., Жабин А. Г. Онтогенез минералов. Индивидуальности. М., Наука, 1975. 315 с.

Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Пер. с англ. под ред. В. П. Петрова. М., Мир, 1966. Т. 1. 370 с. Т. 2. 406 с. Т. 3. 317 с. Т. 4. 482 с.

Жабин А. Г. Жизнь минералов. М., Сов. Россия, 1976. 220 с.

Жабин А. Г. Онтогенез минералов. Агрегаты. М., Наука, 1979. 259 с.

Корнилов Н. И., Солодова Ю. П. Ювелирные камни / Под ред. Н. И. Гинзбурга. М., Недра, 1983. 239 с.

Костов Иван. Минералогия. М., Мир, 1971. 584 с.

Куликов Б. Ф. Словарь камней-самоцветов. Л., Недра, 1982. 155 с.

Самсонов Я. П., Туринге А. П. Самоцветы СССР. М., Недра, 1984. 335 с.

Смит Г. Драгоценные камни. Пер. с англ. под ред. В. П. Петрова. М., Мир, 1984. 558 с.

Херлбат К., Клейн К. Минералогия по системе Дэна. М., Недра, 1982. 728 с.

Научно-популярные книги

Банк Г. В мире самоцветов. М., Мир, 1979. 157 с.

Барабанов В. Как собирать минералы и горные породы. М.—Л., Детгиз, 1952. 26 с.

Кантор Б. З. Коллекционирование минералов. М., Недра, 1982. 176 с.

Соболевский В. И. Замечательные минералы. 2-е изд. М., Просвещение, 1983. 191 с.

Ферсман А. Е. Рассказы о самоцветах. Л., Когиз, 1954. 228 с.

Ферсман А. Е. Занимательная минералогия. 4-е изд. Л., Дет лит., 1975. 238 с.

Шаскольская М. П. Кристаллы. 2-е изд. М., Наука, 1978. 208 с.

2

КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

СБОР МИНЕРАЛОВ

Начинающему любителю камня, пожалуй, лучше всего вступить в минералогический кружок и приобрести опыт сбора минералов в организованных полевых походах. В поле есть возможность проводить широкие наблюдения (подобно тому, как это делают изучающие ботанику и другие естественные науки), и часто бывает, что любители обнаруживают местонахождение того или иного минерала. Очень важно для человека, впервые приступающего к полевым наблюдениям, почувствовать к ним «вкус». В первую очередь надо четко уяснить себе конкретную цель поиска, например иметь в виду, что искомый минерал представлен очень мелкими кристаллами в ассоциации с другими, возможно более заметными, разновидностями. В процессе полевых работ необходимо установить, какую часть исследуемой территории целесообразно детально осмотреть. Следует знать, какие минералы могут сопутствовать друг другу и какие сочетания минеральных видов в природе не встречаются (так называемые запрещенные ассоциации). Данные о тех или иных локализациях минералов можно получить из публикаций (см. главу 1). Имеет смысл также заняться литературными изысканиями в библиотеках геологических музеев.

Если вы самостоятельно собираетесь осматривать рудные отвалы, вам обязательно нужен спутник. В целях соблюдения правил техники безопасности и чтобы не беспокоить семью, поставьте в известность

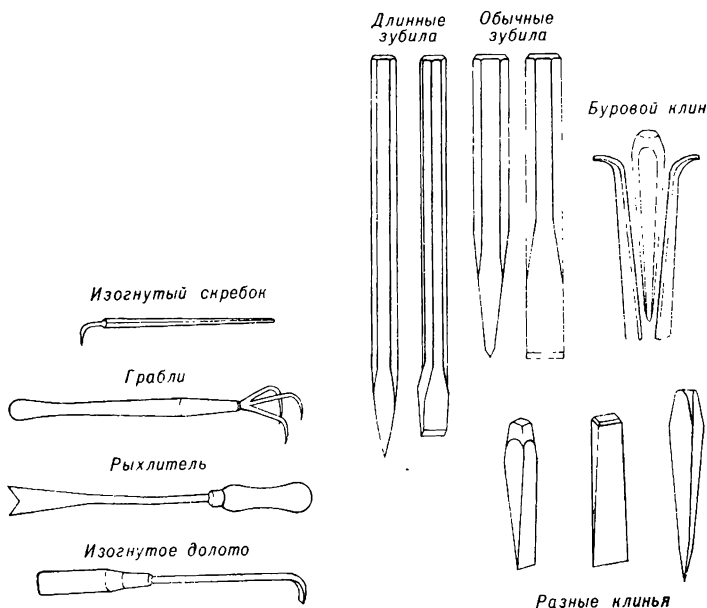


Рис. 1. Набор типовых инструментов, необходимых коллекционеру.

кого-либо из ваших домашних, где вы находитесь и когда собираетесь вернуться. Пренебрежение правилами безопасности может привести к смертельному исходу и, безусловно, доставит массу беспокойства другим людям. Поэтому призадумайтесь, стоит ли рисковать жизнью и спокойствием, чтобы завладеть минералогическими образцами. Дайте себе честный ответ на этот вопрос!

Важно обладать достаточными техническими навыками, чтобы при обнаружении кристаллов освободить их от пустой породы с помощью того или иного инструмента (рис. 1). В большинстве случаев кристаллы настолько прочно связаны с вмещающими по-

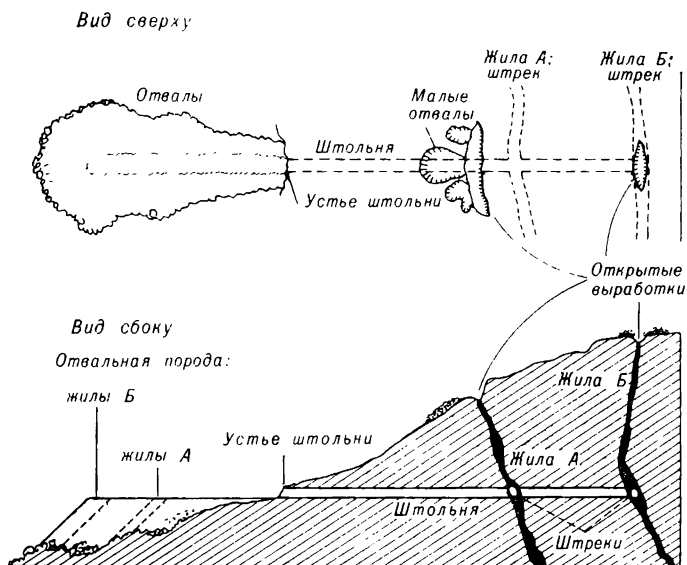


Рис. 2. Отвалы горных выработок.

Видно, что далеко не везде можно обнаружить рудные минералы. Поскольку штольня, пересекающая две рудные жилы, пройдена в основном по пустой породе, здесь заслуживают интереса только два конусообразных отвала, где представлены рудные минералы, извлеченные из штреков, пройденных по простиранию жил. Вместе с тем в малых отвалах, расположенных вблизи открытых горных выработок (у вершины холма), также можно встретить много интересных минералов.

родами, что нетерпеливый любитель может испортить их при откалывании. В таких ситуациях надо следовать простому правилу: лучше оставить образец, чем повредить его. Но если вы сможете отколоть кусок вмещающей породы вместе с «засевшими» там кристаллами, сделайте это и постарайтесь разделить их в домашних условиях.

Надо откровенно сказать, что всем должно быть знакомо то состояние азарта, которое охватывает са-

мого осторожного минералога, когда он оказывается на месте сбора образцов. Всегда есть вероятность необдуманных, неосторожных действий. Нельзя забывать об этом. Многие отвалы высоки и состоят из громадных глыб. При работе в верхней части отвала надо стараться не свалить обломки пород на головы находящихся внизу людей. Нежелательно также защемить руку или ногу между глыбами породы. Обязательно проверяйте устойчивость каждого обломка, прежде чем ступить или опереться на него. И надо знать, что нельзя рассчитывать на обнаружение образцов минералов в любой части отвала. Если хотите понять — почему, взгляните на рис. 2.

Еще раз напомним, что лучший способ заниматься сборами минералов, это — участвовать в каких-либо экспедициях или походах в качестве члена минералогического кружка вместе с опытными специалистами.

ОБРАБОТКА И ДЕМОНСТРАЦИЯ ОБРАЗЦОВ

Во многих случаях лучше всего оставлять образцы без какой-либо обработки, но иногда очистка минералов от тех или иных загрязнений значительно улучшает их внешний вид.

Обработка образцов начинается еще до извлечения минералов из материнской породы; это надо делать с большим умением и без излишней спешки. Многие минералы находятся в породе, отбить от которой штуф очень трудно, не говоря уже о том, что кристаллы при этом почти наверняка окажутся поврежденными. В таких случаях лучше всего отколоть нужный минерал с частью вмещающей породы. Многие минералы, несмотря на значительную твердость, достаточно хрупкие. Поэтому как только вы закончили сбор минералов, надо каждый образец завернуть в отдельную бумагу во избежание их трения друг об друга. Иначе мелкие кристаллы могут оказаться вы-

ломанными из породы и есть риск повредить их грани. Если же минерал обладает спайностью, то при плохой упаковке вы сможете наглядно убедиться в этом, обнаружив вместо целого кристалла несколько осколков. Для транспортировки образцов лучше всего подходят фруктовые коробки из продовольственных магазинов.

Многие образцы бывают покрыты землей, которую можно очистить щепкой мягкой древесины. Не рекомендуется использовать для этой цели металлические предметы. Если вы имеете дело с очень мелкими кристаллами, просеивать породу следует над миской, а не над раковиной, где погибла масса прекрасных образцов! Приходится проявлять осторожность при удалении вмещающей породы, если минералы хрупкие; при этом хотя бы часть породы необходимо оставить в образце. Существуют разнообразные тиски, которые можно использовать для устранения лишнего каменного материала сдавливанием, избегая тем самым резкого удара.

Хорошим инструментом при обработке образцов являются иглы. Их следует насаживать на деревянные рукоятки остриями внутрь. Совершенно необходимы зубила разных размеров и оборудование для шлифовки минералов. Если один минерал закрыт другим, бывает нужно избавиться от верхнего слоя. Слюда, например на биотитовых сланцах, легко снять жесткой щеткой. Кальцит можно удалить (хотя бы частично) скалыванием, используя его характерное свойство — совершенную спайность; те остатки, которые нельзя сколоть, удаляют при помощи соляной кислоты. Прибегая к этому способу, следует соблюдать осторожность, чтобы не испортить скрытый под кальцитом минерал.

Ультразвук лучше не применять, особенно при обработке хрупких минералов. Например, танзанит — драгоценная разновидность цоизита (голубой проз-

рачный минерал) — часто разрушается в ультразвуковой установке. Если вы уже знаете, что минерал от воды не пострадает, используйте ее в качестве моющего средства, добавив несколько капель какого-либо растворителя. Помните, однако, что многие минералы растворимы в воде. В таком случае для отмывки образца можно пользоваться спиртом, но на значительном удалении от пламени горелки. Иногда рекомендуется применять ацетон (CH_3COCH_3) с соблюдением тех же мер предосторожности. Образец, промытый в воде, можно высушить, погрузив его в спирт.

ХИМИЧЕСКИЕ ОЧИСТИТЕЛИ

При использовании химических реагентов для чистки образцов необходимо соблюдать большую осторожность. Например, фтористоводородная (плавиковая) кислота (HF), с помощью которой можно удалить наросты полевого шпата с кристаллов берилла и турмалина, очень опасна в обращении, и к работе с ней могут быть допущены только опытные специалисты. Если плавиковая кислота попадет на кожу, немедленно промойте пораженное место большим количеством проточной воды; не дышите парами этой кислоты. Обращайтесь к врачу при малейшем инциденте, связанном с плавиковой кислотой, каким бы незначительным он вам ни казался.

Если вы опытный работник, покройте ту часть образца, которую хотите предохранить, пчелиным воском и обрабатывайте плавиковой кислотой другую его часть. Не оставляйте образец в кислоте на длительное время, так как грани кристалла окажутся разрушенными. Воск можно удалить ацетоном после завершения чистки. Промывка образца должна проводиться в течение нескольких часов, чтобы полностью удалить малейшие следы кислоты. Использо-

ванную кислоту можно нейтрализовать кальцитом, а затем смыть большим количеством воды.

Несколько менее опасен кислый фтористый аммоний (NH_4HF_2), применяемый при чистке силикатов. Но с теплой водой он образует плавиковую кислоту, поэтому, работая с этим реагентом, надо соблюдать все меры предосторожности. Следует также защитить поверхность минерала, не подлежащую обработке.

Другие хорошо известные кислоты: соляную (HCl), азотную (HNO_3) и серную (H_2SO_4), — как правило, не применяют в концентрированном виде. Когда готовите разбавленный раствор, имейте в виду, что всегда и во всех случаях кислоту вливают в воду, а не наоборот! Струйку кислоты при этом надо вливать в воду равномерно; это особенно важно, если имеешь дело с серной кислотой. Соляную кислоту обычно используют для чистки карбонатов, так как она растворяет корочки кальцита, часто присутствующие на их поверхности. Лучшим для этого является 5—10%-ный раствор. Держать соляную кислоту следует в пластмассовой либо стеклянной посуде, но никогда — в металлической. Будьте внимательны и к пластмассовым емкостям, поскольку кислота способна просачиваться сквозь стенки микропористых сосудов.

Серная кислота может разрушать водосодержащие минералы, обезвоживая их. Смесь азотной и соляной кислот в пропорции 1:3 растворяет золото; такая смесь получила название царской водки. Состав из двух частей азотной кислоты и девяти частей соляной растворяет платину. Все эти кислоты в чистом виде или в различных сочетаниях друг с другом опасны, если их использовать без должной осторожности.

Железистые натёки, часто встречающиеся на поверхности минералов, представлены лимонитом. Они могут быть удалены щавелевой кислотой ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$). Она тоже опасна в обращении, и ее пары не следует вдыхать; особую осторожность надо соблюдать при

работе с ее порошковидной формой. Уксусная кислота, тоже небезопасная, может быть использована для растворения кальцитовых корочек.

Ниже приводится классификация природных соединений в зависимости от их растворимости, что надо иметь в виду при работе с образцами.

Водорастворимые соединения

Нитраты

Некоторые гидроокислы

Хлориды (за исключением хлоридов свинца, серебра и ртути)

Карбонаты аммония, натрия и калия

Бораты, содержащие кристаллизационную воду

Большинство сульфатов (за исключением сульфатов бария, свинца и кальция)

Фосфаты аммония, калия и натрия

Некоторые арсенаты

Соединения, растворимые в кислотах

Металлы (например, золото и платина в царской водке)

Сульфаты

Некоторые окислы

Гидроокислы

Фтористые соединения (соли плавиковой кислоты)

Карбонаты

Бораты

Силикаты (большинство силикатов растворяется с трудом в кипящей плавиковой кислоте, однако минералы группы цеолитов растворимы в соляной кислоте)

Сульфаты

Фосфаты

Арсенаты

Ванадаты

Молибдаты

Нитраты

ЧИСТКА НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Предлагаем читателю список распространенных минералов, с которыми он, по всей вероятности, будет

иметь дело в своей практике, и даем краткие советы, какими способами лучше всего проводить их чистку.

Альбит (полевой шпат). Часто сопровождается налетами гидроокислов железа, которые могут быть удалены с помощью щавелевой или соляной кислоты. Черные налеты и включения органического вещества удаляются серной кислотой.

Амазонит (зеленая разновидность микроклина). Гидроокислы железа могут быть удалены щавелевой кислотой, включения гематита — теплой концентрированной соляной кислотой.

Аурипигмент. Если он покрыт корочками кальцита, их лучше всего удалить с помощью уксусной кислоты.

Бирюза. Промывают дистиллированной водой. Бирюзу следует держать в изоляции от жирных и загрязняющих веществ; надо помнить, что бирюза — пористый минерал.

Ванадинит. Корочки кальцита с этого минерала могут быть удалены при помощи органических кислот.

Виллемит. Кислоты применять не следует. Налеты и корочки можно отколоть и счистить.

Галит. Очищают только спиртом (воду применять нельзя).

Гипс. Любые глинистые примазки на кристаллах могут быть отмыты водой.

Гранаты. Многие из них встречаются в слюдистых сланцах. Слюда счищают при помощи жестких щеток и игл. Железистые натёки растворяются в щавелевой кислоте. Разновидность граната андрадита — демантоид (Италия) — присутствует в биссолите (группа амфибола), от волокнистой массы которого минерал легко может быть очищен.

Кварц. Пленки гидроокислов железа снимаются щавелевой кислотой, корочки кальцита — соляной. Если кристаллы кварца помещаются в теплые очист-

тельные растворы, следует избегать затем быстрого охлаждения.

Малахит. Вначале отмывают дистиллированной водой с небольшим количеством аммония, затем промывают чистой водой и, наконец, погружают в ацетон. Нельзя использовать этот метод для чистки смеси азурита с малахитом.

Марказит. Этот сульфид железа быстро разлагается, что сопровождается запахом серы. Промойте его в теплой дистиллированной воде, добавив затем немного аммония. Прополощите чистой водой и пропитайте ацетоном перед просушкой.

Пирит. Железистые пленки могут быть удалены щавелевой кислотой, включения кварца — плавиковой.

Пренит. Если быстро воздействовать соляной кислотой, она ликвидирует корковые образования, прежде чем разрушатся грани кристаллов, на которых появится порошковидный налет. Железистые наteki между волокнами минерала удалить, по-видимому, не удастся.

Прустит. Претерпевает поверхностные изменения под воздействием солнечного света. Образовавшаяся побегалость может быть снята протираaniem и последующей обработкой ультразвуком.

Рутил. Наросты силикатов ликвидируют плавиковой кислотой.

Слюды. Минералы, относящиеся к группе слюд, состоят из листочков, напоминающих страницы книги. Некоторые листочки слюды можно отделить один от другого при помощи воды. Для их чистки используются кислоты.

Сподумен. Примазки глинистых минералов могут быть удалены с помощью плавиковой кислоты.

Сфалерит (цинковая обманка). Корочки и наросты кальцита следует быстро удалить, предпочти-

тельно раствором соляной кислоты, прежде чем потускнеют грани кристаллов.

Топаз. Налеты гидроокислов железа снимают щавелевой кислотой, а примазки глины — плавиковой.

Флюорит. Верхний слой, образованный кальцитом, растворяется под воздействием соляной кислоты.

ХРАНЕНИЕ ОБРАЗЦОВ

Образцы минералов надо предохранять от пыли, слишком яркого света и от непосредственного контакта друг с другом. Следует избегать резких перепадов температуры; поэтому ящик с образцами, прислоненный к радиатору или обращенный к окну, — не лучший способ для размещения коллекции, которая так или иначе пострадает от этого.

Некоторые минералы восприимчивы к теплу; например, образец самородной серы может растрескаться, если его какое-то время подержать в руке. Некоторые минералы легко впитывают влагу из воздуха, и поэтому их приходится хранить в герметичных сосудах. К таким минералам относятся сильвин, улексит (боронатрокальцит) и галит. Другие минералы имеют свойство рассыхаться; это — торбернит, отенит (урановая слюдка) и некоторые разновидности опала. Досадно, что многие красивые опалы спустя некоторое время после их извлечения из вмещающей породы покрываются сеткой тончайших волосяных трещинок. Этому подвержены не все разновидности опала; к сожалению, нельзя знать заранее, угрожает ли эта опасность именно вашим кристаллам. Пока что не удалось придумать какой-либо эффективный способ, устраняющий этот недостаток.

Минералы, на поверхности которых появляются налеты или побежалость, например серебро, следует держать вдали от сернистых соединений. Пары серы могут содержаться в загрязненной атмосфере, источником их может оказаться также близлежащий пи-

рит. Некоторые минералы нельзя выставлять на яркий солнечный свет, под его влиянием они изменяют свой цвет и могут раскрошиться (как, например, реальгар и вивианит). Драгоценные камни, имеющие искусственную окраску, полученную в результате подогрева или облучения, могут поблекнуть и даже обесцветиться на ярком солнечном свету.

ДОКУМЕНТАЦИЯ ОБРАЗЦОВ

Когда сбор и чистка минералов закончены, настает время задокументировать их. Временные (полевые) этикетки надо заготавливать в процессе отбора образцов. Всем полевикам известно, как просто можно отколоть один минерал, затем поднять другой или сесть завтракать, не записав местонахождение первого образца и сопутствующих ему минералов. Следует взять себе за правило ничего не откладывать «на потом», ибо будет слишком поздно! Каталог образцов должен составляться на месте; еще лучше, если вы сразу же и сфотографируете отобранные минералы. По возвращении домой немедленно сделайте описание всего маршрута и ваших находок. Каждый образец должен быть помещен в коробочку и снабжен этикеткой. Если нет под рукой коробок, все минералы должны быть тщательно заэтикетированы; на этикетке надо проставить номер или название минерала. Лучше давать номера, которые впоследствии можно использовать в качестве инвентарных при составлении каталога коллекции.

Когда обработка образцов закончена и проведена достаточно квалифицированная диагностика минералов, все детали должны быть отражены в инвентарных списках. Даже если с вашей точки зрения собранная коллекция не имеет особой ценности, она, как любая другая, имеет познавательное значение и может представить определенный научный интерес,

особенно если вы посещали место, где до вас побывало не так много коллекционеров.

Детальная характеристика образца включает в себя следующие основные пункты:

- 1) регистрационный номер;
- 2) наименование образца (с описанием результатов проведенной диагностики, если это необходимо);
- 3) место находки образца и сопутствующие минералы (если возможно, с обзорной картой);
- 4) размеры образца (в миллиметрах);
- 5) индивидуальные особенности минерала (цвет, форма и облик кристаллов, включения и т. д.);
- 6) ссылка на литературные источники (преимущественно на журналы);
- 7) дата отбора образца.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ МИНЕРАЛОВ

Многие любители камня хотят иметь фотоснимки минералов своей коллекции, стремясь лучше ее систематизировать, просто получить удовольствие, а также с научной целью или для отсылки другим коллекционерам в надежде на обмен. Хотя сфотографировать образец — дело в общем не сложное, но для получения высококачественного снимка приходится затратить немало времени и усилий. При этом надо помнить, что выбор фона и освещение объекта съемки столь же важны, как тип и возможности применяемого фотоаппарата.

Если говорить о фоне, то самое важное — добиться нужного цветового контраста между фоном и минералом. Следует помнить, что яркое на ярком режет глаз; раздражает также и слишком грубая фактура фона. Когда готовилась к печати моя предыдущая книга, помню, с какими трудностями мне пришлось столкнуться при выборе подходящего фона для группы различно окрашенных драгоценных камней. В кон-

це концов, я остановился на выкрашенной в черный цвет бальзовой древесине. Некоторые фотографы предпочитают бархат, однако почти полная невозможность избавиться от случайно приставших к нему волосков и пылинок (которые прекрасно видны на снимках небольших по размеру драгоценных камней) заставила меня отказаться от такого фона. В тех случаях, когда фотографируют обычные (как правило, большего размера) минералы, можно давать менее крупный план и не обращать внимания на эти мелкие погрешности. Если вы все-таки захотите выбрать в качестве фона бархат, особенно черный, единственная возможность избежать пятнышек на снимках — это протереть бархат липким пластырем.

После того как выбран надлежащий фон, остается расположить минералы таким образом, чтобы они отчетливо на нем выделялись. Ткань может быть накинута на книги или ящик, чтобы она висела, свободно драпируясь; концы ткани должны быть закреплены. Хорошего эффекта удастся достичь, если поместить образец на зеркало. Разумеется, это делается только в тех случаях, когда имеет смысл показать на снимке не только переднюю, но и тыльную сторону образца. Именно так следует фотографировать ограненные самоцветы; эта техника была использована для иллюстраций в целом ряде книг по минералогии.

Большинство образцов не имеют достаточно плоского основания, которое могло бы служить для них опорой. Такие образцы приходится закреплять при помощи воска или клейкой ленты. У многих любителей есть в коллекции минералы, слишком мелкие для съемки обычной фототехникой. Можно сконструировать специальные насадки для фотографирования с помощью микроскопа (микрофотосъемка). Все, что необходимо иметь для микрофотосъемки, это — фотоаппарат, микроскоп и удлиненный тубус-насадку. В некоторых случаях тубус используется для насадки

непосредственно на фотоаппарат (без микроскопа).

С помощью объектива 50 мм и тубуса можно делать вполне удовлетворительные снимки мелких объектов с 20-кратным увеличением. Картон, оклеенный с одной стороны черным бархатом, сворачивают в трубку, которой плотно охватывают кожух объектива. Для получения достаточно резкого снимка объектив не должен находиться ближе 5 см от образца. Это создает трудности с освещением минерала, но если оставить диафрагму открытой и осветить объект съемки с разных сторон лампами-вспышками, мы получим требуемый эффект. Для достижения необходимой резкости лучше брать фокусное расстояние $f=16$. При этом надо давать большую выдержку — вплоть до 16 с. Если вы ведете съемку не в специальном подвале с антивибрационной установкой, то самое легкое сотрясение, например чихание, способно смазать резкость.

Надо заметить, что фотоснимки минералов, пригодные для репродуцирования в лучших журналах, могут быть получены только способом макрофото съемки. Как бы ни были хороши ваше оборудование и техническое оформление съемки, острота углов кристаллов и четкость контуров их граней не могут быть переданы на фотоснимке при фотографировании с помощью аппарата 35 мм. Для стационарной камеры следует брать форматную плоскую, а не роликковую (катушечную) фотопленку. Это очень большой фотоаппарат по сравнению с 35-миллиметровым. Но объективы, которыми приходится пользоваться, рассчитаны на относительно продолжительную выдержку, и поэтому в таких случаях надо выбирать линзы с фокусным расстоянием $f=64$ (обычным аппаратом 35 мм фотографируют при $f=22$); благодаря этому достигается большая глубина резкости. Можно получить увеличение до $\times 24$ и более; таким образом, отпадает необходимость в микроскопе и насадках.

Обычный формат кадра при этом составляет 4×5 дюймов ($10 \times 12,5$ см), но при необходимости могут быть получены кадры 16×20 дюймов (40×50 см) и более. Если иметь в виду четкость изображения, то фотоснимки на форматной плоской пленке в 13 раз более резкие, чем на роликовой пленке (в аппарате 35 мм).

Используя стационарную камеру, мы будем иметь при съемке такие возможности, какие нам не сможет предоставить никакой другой фотоаппарат. Объектив и кассету можно регулировать независимо друг от друга, что невозможно при пользовании камерой 35 мм. Это позволяет получать хорошие снимки даже в тех случаях, когда наиболее эффектная сторона образца находится в невыгодном ракурсе по отношению к объективу.

Общеизвестно, что стационарная камера стоит недорого, и большинство читателей располагают, скорее всего, однолинзовым зеркальным фотоаппаратом, широко применяемым при обычных фотосъемках. Если вы решили использовать «зеркалку» для крупномасштабной фотографии, надо иметь съемные объективы; необходимо также привлекать наилучшую оптику и механические приспособления. Зеркало надо обязательно закреплять в верхнем положении, иначе оно может вибрировать в момент экспозиции, и резкость снимка будет нарушена.

Подходящее освещение надо выбирать в зависимости от «фактуры» поверхности образца; например, металлический блеск минерала будет отражаться в виде блика, и на снимке может выйти белое пятно. Расположение искусственных источников света также должно быть тщательно продумано. Многие фотографы предпочитают пропускать свет от ламп через полупрозрачный экран, например пластмассовый. Этим достигается мягкая, равномерная освещенность объекта.

Не существует единого мнения о том, как именно должны выглядеть на фотоснимках различные минералы — прозрачные, полупрозрачные, самоцветы и т. д. Некоторые специалисты считают, что применение тщательно выбранной подсветки для того, чтобы минерал сиял в полном блеске, является своего рода фальсификацией природы. Другие предпочитают добиваться максимально возможных световых эффектов. Большинство фотолюбителей готовы удовлетвориться фотоснимками, как можно более близкими к действительности. А некоторые коллекционеры хотят иметь такие снимки своих минералов, которыми можно было бы блеснуть на выставках, чаруя восхищенную публику.

3

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И СЛАГАЮЩИЕ ИХ МИНЕРАЛЫ

Горные породы подразделяются на три главные группы: магматические (изверженные), осадочные и метаморфические. Коллекционер-любитель должен научиться различать в пределах каждой из этих групп основные типы пород. Во многих горных породах не встречаются хорошо ограненные кристаллы. Естественно, что для коллекционера наибольший интерес представляют те разновидности пород, для которых характерно присутствие красивых минералов. Из названных выше трех генетических групп пород в этом отношении наименее интересны метаморфические — в них очень редко можно встретить кристаллы совершенной формы; впрочем, образцы некоторых метаморфических пород сами по себе достаточно эффектны.

МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Магматические горные породы образуются из естественного расплава (магмы), поднимающегося вверх из глубин земной коры и подкоровых слоев. Если это расплавленное вещество достигает земной поверхности, оно изливается из вулканических кратеров в виде лавы. В результате выброса раздробленного материала в воздух при взрывном извержении вулкана образуются пирокластические породы, состоящие из вулканических бомб и других обломков. Изверженные породы, застывающие на земной по-

верхности, получили название эффузивных. Они покрывают огромные пространства; примером может служить плоскогорье Декан в Индии.

Если застывание расплава происходит быстро, образуется порода, состоящая из мелких кристалликов, обычно видимых только под микроскопом. К таким породам относятся базальт и обсидиан. [Базальт — скрытокристаллическая эффузивная порода основного состава; обсидиан — вулканическое стекло темного цвета (названо по имени римлянина Обсиуса, привезшего этот камень из Эфиопии).] В лаве могут возникнуть полости различной формы; они появляются на месте пузырьков газа во время застывания лавы. В этих полостях часто встречаются кристаллы различных минералов.

Магматический расплав, не достигший земной поверхности, застывает на некоторой глубине в виде масс различных форм и размеров (рис. 3, 4). Такие массы получили название интрузий или интрузивных тел, а слагающие их породы — интрузивных пород.

Батолиты — крупные интрузивные тела с глубокими корнями, уходящими в глубины магмы. Выходы батолитов на земную поверхность известны в Дартмуре, Бодминмуре (Британские острова), на островах Сцилли (Талеле) в Океании и др. [Установлено, что батолиты могут формироваться в различной геологической обстановке, и представление о них как о «сквозных и бездонных плутонах» устарело. Батолиты, как правило, оказываются сформированными различными по составу, разновозрастными комплексами пород.]

Штоки — интрузивные массивы, по форме напоминающие батолиты, но меньших размеров.

Некки (пробки) — тела приблизительно цилиндрической формы, сформировавшиеся на месте питающих (подводящих) каналов в жерлах потухших вулканов.

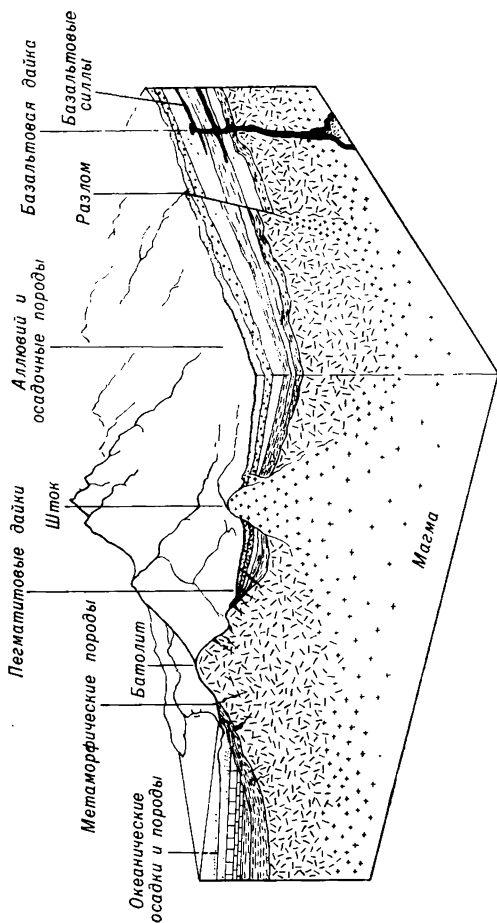


Рис. 3. Блок-диаграмма участка земной коры.

Показаны три группы пород: магматические — расплав, внедрившийся в верхние горизонты земной коры, привел к формированию батолита (выражен в рельефе в виде горного хребта); осадочные — образовались в результате эрозии и перетолжения магматических и других пород, залегают в близповерхностных частях литосферы (на рисунке — по обоим сторонам хребта); метаморфические — залегают на более значительных глубинах.

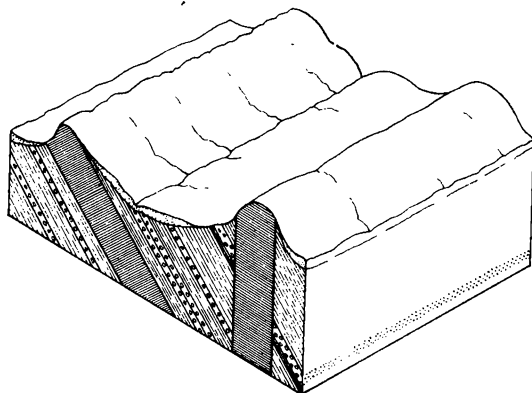


Рис. 4. Базальтовые дайка и силл.

В результате выветривания или под воздействием оледенения породы разрушаются в разной степени. Выделяющиеся в рельефе скалы и гребни гор сложены базальтами, значительно более устойчивыми к эрозии, чем другие породы.

Лополиты — крупные интрузии плоско-выпуклой (чаще- или блюдцеобразной) формы.

Дайки и силлы — относительно небольшие трещинные интрузии, секущие (первые — несогласно, а вторые — согласно) ранее сформированные породы.

Крупные интрузии застывают в глубинных условиях постепенно. Слагающие их породы называются

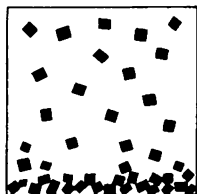
глубинными (плутоническими или абиссальными); они характеризуются полно- и крупнокристаллической структурой. Породы более мелких интрузивных тел состоят из меньших по размеру кристаллов плутонических пород, но эти кристаллы больше, чем в эффузивных породах. В медленно застывающей магме может идти фракционная кристаллизация, так что скопления того или иного минерала оказываются приуроченными к определенному уровню магматического резервуара (рис. 5).

Магматические породы по размеру слагающих их кристаллов (зерен) подразделяются на мелко-, средне- и крупнозернистые. В основу их химической классификации положено содержание кремнезема (SiO_2). Если магматическая порода богата кремнеземом, ее называют кислой. Кремнезем в породе может находиться в виде свободного кварца либо в соединениях с различными элементами, образуя другие минералы, например полевые шпаты.

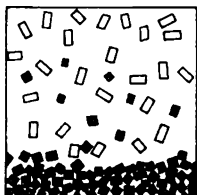
Породы с содержанием SiO_2 более 66% называются кислыми, от 66 до 52% — средними, от 52 до 45% — основными, менее 45% — ультраосновными. [В советской литературе к кислым относят породы с содержанием SiO_2 от 64—65 до 75%. Иногда выделяют ультракислые породы ($>75\% \text{SiO}_2$).] В табл. 1 показаны главные разновидности магматических пород, выделенные по содержанию кремнезема и по размерам кристаллов.

Большинство кислых изверженных пород являются светлоокрашенными, или лейкократовыми (состоящими преимущественно из светлых минералов); большинство основных и ультраосновных пород — темноокрашенными, или меланократовыми (обогащенными темноцветными минералами). Основные и ультраосновные породы богаты железомagneзиальными минералами (которые называют также мафическими); в составе этих пород вместе с кремнеземом присут-

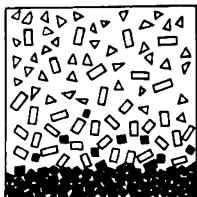
I. Кристаллы, образовавшиеся в первую стадию застывания расплава и обладающие наиболее совершенной формой, оседают на дно магматической камеры.



II. В следующую стадию застывания наряду с более ранними минералами начинают кристаллизоваться минералы с менее совершенными кристаллографическими формами (на рисунке — в виде белых четырехугольников).



III. Затем формируются минералы, окристаллизованные еще хуже (белые треугольники).



IV. На конечной стадии застывания магматическая масса постепенно превращается в горную породу.

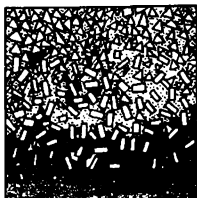


Рис. 5. Схематическое изображение процесса фракционной кристаллизации.

Минералы, образующиеся на разных этапах застывания очага, формируют породы различного состава, хотя источником исходных компонентов во всех случаях служит одна и та же материнская магма. Из рисунка видно, что определенные уровни интрузии богаты одними минералами и бедны другими. [Рассмотрен лишь один из возможных типов фракционной кристаллизации минералов из единого магматического очага, связанный с формированием расслоенных интрузий.]

Таблица 1

Классификация магматических горных пород

По содержанию кремнезема (SiO_2)	По размеру зерен		
	Мелкозернистые	Среднезернистые	Крупнозернистые
Кислые	Риолиты	Микрограниты	Граниты
Средние	Андезиты	Микродиориты	Диориты
Основные Ультраосновные	Базальты (Редки)	Долериты (Редки)	Габбро Серпентиниты *

* [Вернее назвать такие породы оливинитами. Серпентиниты являются продуктами полного преобразования оливинитов под действием постмагматических и других растворов.]

ствуют в значительных количествах окислы железа и/или магния.

В состав изверженных пород часто входят полевые шпаты. К ним относятся: 1) натриево-калиевые полевые шпаты, называемые также ортоклазами [в отечественной литературе этот термин в таком значении не используется]; они включают в себя три главных минерала: ортоклаз, санидин и микроклин; 2) натриево-кальциевые полевые шпаты, или плагиоклазы; в зависимости от соотношения натрия и кальция плагиоклазы подразделяются на следующие минералы: альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит. В табл. 2 приводится минеральный состав пород в зависимости от содержания в них кремнезема.

Иногда изверженные породы могут состоять только из одного минерала (мономинеральные породы). В качестве примера можно привести дуниты, состоящие из оливина, и анортозиты, состоящие почти целиком из плагиоклаза.

Таблица 2

Присутствие минералов в разных по составу горных породах

Минералы	Горные породы			
	Кислые	Средние	Основные	Ультраосновные
Кварц	В существенных количествах (обычно >10%)	Акцессорий *	Акцессорий	Отсутствует
Полевые шпаты Ортоклаз	Обычно присутствует в изобилии	Присутствует только в щелочных разновидностях		
Плагиоклаз	Олигоклаз, альбит	Андезин	Анортит, лабрадор	Анортит (<10%), лабрадор
Мафические минералы Биотит	Обычно присутствует	Обычно присутствует	Акцессорий	Акцессорий
Роговая обманка	Акцессорий	Обычно присутствует	Акцессорий	Акцессорий
Моноклиновый пироксен	Встречается очень редко	Обычно присутствует	Обычно присутствует	Обычно присутствует
Ромбический пироксен	Встречается очень редко	Встречается очень редко	Обычно присутствует	Обычно присутствует
Оливин	Встречается очень редко	Встречается очень редко	Обычно присутствует	Обычно присутствует
Общее содержание мафических компонентов, %	20	20—40	40—70	70

* [Акцессорий, акцессорный минерал — это минерал, содержащийся в породе в очень малых количествах, но являющийся характерным для данного типа пород.]

Некоторые магматические породы формируются вначале при медленном застывании расплава на глубине, а затем — при быстром застывании вследствие подъема магмы в верхние слои земной коры. Такие породы слагаются крупными кристаллами (называемыми фенокристаллами или фенокристами), которые свободно выросли в магматическом расплаве, и окружающей их плотной, слабо раскристаллизованной основной массой. Примерами фенокристов, представляющих интерес для коллекционера, являются ортоклаз в гранитах, оливин в базальтах (в том числе перидот — прозрачная драгоценная разновидность оливина), санидин в трахитах и кварц в риолитах (излившихся аналогах нормальных гранитов).

Некоторые рудные месторождения, в том числе самородной платины, образовались вследствие магматической сегрегации в крупных интрузиях (главным образом в лополитах). Формирование этих месторождений связано с погружением тяжелых минералов в глубокие части магматической камеры. В результате рудные минералы скапливаются у основания интрузии, а более высокие ее части сложены более легкими минералами, которые кристаллизовались позднее.

Особого внимания коллекционеров заслуживают пегматиты и гидротермальные минеральные скопления (главным образом, в жилах), где обнаружены многие интересные минералы.

Пегматиты

Пегматиты — крупнокристаллические породы, часто содержащие сравнительно редкие минералы (рис. 6). Они образуются в результате остывания остаточных горячих флюидов на последних стадиях застывания крупных интрузий. Такие флюиды имеют кислый состав, содержат минеральные соединения,

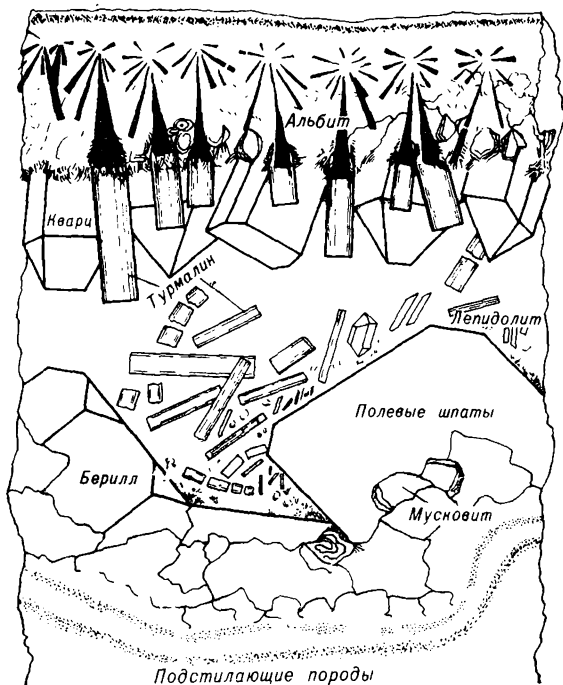


Рис. 6. Поперечный разрез полости (кармана), содержащей драгоценные кристаллы, в пегматитах Гималайя (Меса-Гранде, Калифорния).

Глубина таких карманов редко превышает 20 см, однако горизонтальная протяженность бывает весьма значительной. Поэтому в них можно обнаружить большое количество самоцветов.

затвердевающие при относительно низких температурах, и некоторое количество воды. [Это несколько необычная для отечественной литературы точка зрения. У нас принято считать пегматиты либо продуктами кристаллизации остаточных магматических расплавов (гипотеза А. Е. Ферсмана), либо продуктами

перекристаллизации кварц-полевошпатовых мелкозернистых горных пород под действием водных растворов (гипотезы А. Н. Заварицкого, В. Д. Никитина и др.).]

Флюиды заполняют трещины в застывающей интрузивной массе и во вмещающих интрузии породах. В пегматитах часто образуются полости, называемые друзовыми пустотами, внутренние поверхности которых выполнены кристаллами, нарастающими от стенок к центру. Это обусловило свободный рост кристаллов, что способствовало приобретению ими идеальной формы.

Жилы, образуемые пегматитами, имеют различную мощность: от нескольких сантиметров до многих десятков метров; протяженность их иногда превышает 1 км. В крупных жилах масса отдельных кристаллов может достигать нескольких тонн. Гигантские кристаллы особенно характерны для берилла и сподумена. В пегматитах содержатся такие элементы, как бор, фосфор, хлор, фтор, сера, бериллий и литий. Характерные минералы пегматитов — кварц, полевые шпаты и слюды. В гранитных пегматитах обнаружены хризоберилл, берилл, топаз, турмалин, сподумен, апатит и данбурит (силикат бора). В менее кислых по составу нефелин-сиенитовых пегматитах среди редких минералов встречаются эгирин, анальцим, натролит и шабазит.

Гидротермальные жилы

Гидротермальные жилы представляют собой скопления минералов, которые отложились из богатых летучими компонентами остаточных водных растворов, выделяющихся из магматического очага после формирования пегматитов. Эти растворы очень подвижны и заполняют трещины в породах, формируя рудные жилы (рис. 7). Образование минералов в них нахо-

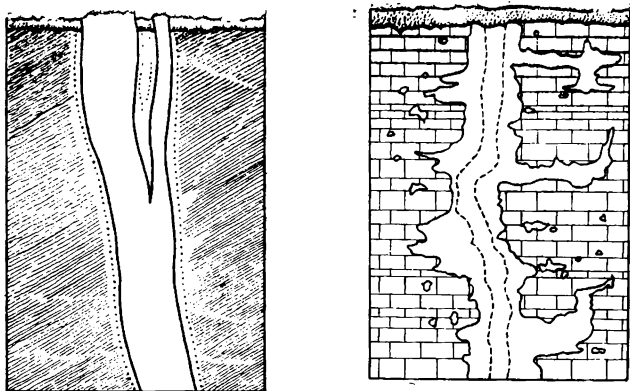


Рис. 7. Два типа гидротермальных жил.

Слева — жила с четкими контактами среди гнейсов и кристаллических сланцев, устойчивых к воздействию гидротермальных растворов; жила отделена от вмещающих ее пород маломощной зоной контактово-измененных пород, обычно представленных каолином и серицитом.

Справа — жила среди известняков, растворившихся под действием гидротерм (первоначальная трещина, по которой проникали растворы, несущие рудную минерализацию, показана штрихами). Небольшие скопления рудных минералов можно встретить и на значительном расстоянии от основной рудной жилы, которая имеет сильно изрезанные контакты.

дится в тесной зависимости от температуры. Для основных типов гидротермальных месторождений приняты следующие названия в соответствии с температурными пределами минералообразования: от 300 до 500°С — высокотемпературные; от 200 до 300°С — среднетемпературные; от 50 до 200°С — низкотемпературные.

В гидротермальных жилах встречаются самородное золото, руды серебра, свинца и цинка. Здесь присутствуют минералы, относящиеся к классам сульфидов, силикатов, окислов и арсенидов. Минералы, не имеющие промышленного значения, получили название жильных. В высокотемпературных месторождениях главным жильным минералом является кварц,

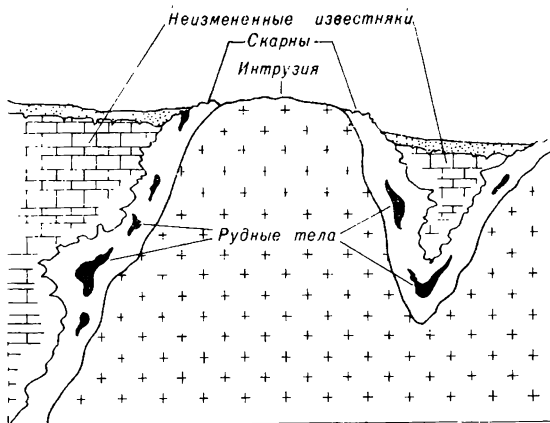


Рис. 8. Сильные изменения в известняках, вызванные внедрением интрузии, что привело к образованию контактово-метасоматических пород (скарнов), окаймляющих интрузивное тело.

В пределах этой «каемки» (зоны экзоконтактовых изменений) локализируются небольшие рудные тела. Здесь породы, которые можно наблюдать в обнажениях на поверхности земли, имеют неоднородную, часто шероховатую поверхность, что объясняется разной устойчивостью скарновых минералов к выветриванию.

с которым ассоциируют золото, гранаты, слюды, касситерит, апатит, топаз, турмалин и др. В среднетемпературных месторождениях наиболее часты кварц, кальцит, барит, сидерит и доломит; с ними ассоциируют золото, галенит, пирит, сфалерит и борнит. В низкотемпературных месторождениях среди жильных минералов обычно встречается кварц (иногда в виде опала) с флюоритом, баритом и т. д.; рудные минералы представлены здесь пиритом, марказитом, самородным серебром, киноварью и пруститом. Между этими тремя генетическими типами наблюдаются постепенные переходы.

Некоторые гидротермальные жилы состоят лишь одним минералом (например, жилы галенита

в известняках), другие состоят из нескольких минералов. В ряде случаев из гидротермальных растворов отлагается до 30 минералов. Отложение минералов происходит последовательно, обуславливая послойное формирование жилы, вплоть до полного заполнения минеральным веществом трещины или полости. Порода, вмещающая жилу, в результате просачивания гидротерм могут изменить свой первоначальный цвет; минералогу следует обратить серьезное внимание на этот характерный признак. С гидротермальной деятельностью связаны и процессы метасоматического замещения. При этих процессах возникают новые минералы, так как компоненты рудоносных растворов замещают минеральные соединения пород вдоль трещин, по которым движутся гидротермы (рис. 8).

Минералы в вулканически активных областях

В областях активной вулканической деятельности наблюдается образование минералов, связанных с выходами на земную поверхность горячего вулканического газа и пара, которые называются фумаролами. Многие минералы, возникшие таким путем, являются водорастворимыми и поэтому не могут долго сохраняться на месте своего рождения. Они выносятся либо изменяются под воздействием дальнейших проявлений активного вулканизма и перекрываются более поздними его продуктами. В этих районах особенно характерны минералы, содержащие в своем составе серу. Встречаются также хлориды, фториды и сульфиды.

Породам, развитым в областях вулканической активности, свойственны жеоды и миндалины — выполения минеральными агрегатами пустот, возникающих на месте газовых пузырей в остывающей лаве. Миндалины с внутренней стороны бывают окаймлены агатом либо целиком им заполнены; ближе к центру

миндалин можно встретить кристаллы аметиста. Содержащие воду жеоды получили название «энгидрос» [а вмещающие их минералы или горные породы — «энгидриты»]. В миндалинах часто образуются цеолиты. Минеральные скопления могут размещаться вблизи горячих источников. Здесь обычно находятся кальцит и кремнезем (последний — в виде кремнистых туфов). Набор минералов не отличается большим разнообразием, так как большинство их вымывается поступающими на поверхность термальными водами.

ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Осадочные горные породы образуются в результате процесса осадконакопления на земной поверхности. Исходным материалом осадочных пород служат продукты разрушения ранее сформировавшихся пород, жизнедеятельности организмов и некоторые химические соединения. К наиболее распространенным типам осадочных пород относятся песчаники, известняки и глины. Их классификация основана на химическом составе и размерах слагающих частиц. Минералы, наиболее часто встречающиеся в этих породах, — кварц, кальцит и гипс. Самые тонкозернистые разновидности осадочных пород называются глинистыми или аргиллитовыми, среднезернистые — песчанистыми; наиболее грубозернистые разновидности — крупнообломочными или рудитовыми. Осадочные породы залегают в виде слоев или пластов.

Большая часть осадочных горных пород имеет морское происхождение, но некоторые из них формировались в континентальных условиях (на дне водоемов либо на поверхности суши). Осадки, постепенно затвердевая, превращаются в породы, при этом теряется часть содержащейся в них воды. Этот процесс называется литификацией [окаменением] осадка.

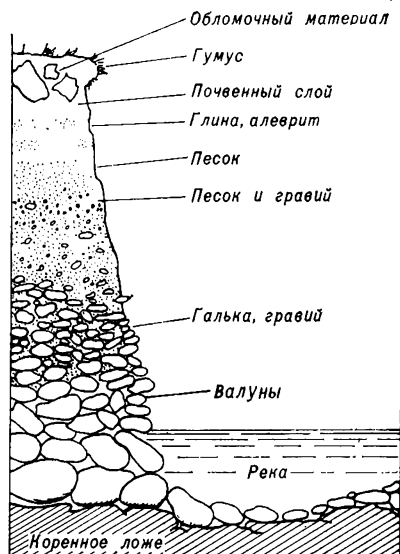
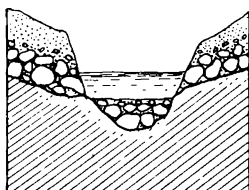


Рис. 9. Типичные аллювиальные отложения.

В основании разреза на коренном ложе реки размещаются наиболее крупные валуны, выше залегают валуны и галька относительно меньших размеров. Гравийно-галечный материал, песок и более тонкозернистые осадки формируют последующие слои.

Минералы могут образовываться как во время самого осадконакопления, так и в период литификации.

Породы, возникшие в результате выветривания, переноса и отложения обломков более ранних пород, имеют, таким образом, механическое происхождение; они получили название обломочных. К этой категории относятся песчаники, конгломераты и осадочные брекчии. Минералы этих пород часто скапливаются на дне водотоков — более легкий или мягкий обломочный материал уносится водой, оставляя на месте твердые и тяжелые минералы (рис. 9). В осадках ме-



Верхнее течение реки



Коренное ложе реки

Нижнее течение реки

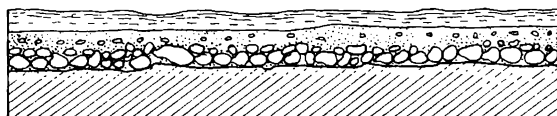
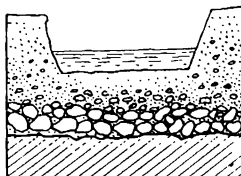


Рис. 10. Типичные русла речных водотоков.

Русла могут резко отличаться друг от друга в зависимости от того, с какой скоростью углубляется ложе реки. В русловых осадках нижнего течения рек условия для скопления ценных минералов лучше, чем в осадках верхнего течения.

В верхнем течении реки крутопадающие стенки речной долины врезаются в коренные породы, на которых залегают гравийно-галечные отложения.

В нижнем течении реки мощные слои песка, гравия, гальки и валунов покоятся на коренных породах.

ханического происхождения в процессе их консолидации [уплотнения] могут образоваться конкреции — стяжения кремнезема, карбонатов, окислов железа и т. д. Таким же путем появляются кристаллы целе-

стина (сульфата стронция). В рыхлых осадках возникают «песчаные кристаллы» [крупные кристаллы кальцита, барита, гипса, содержащие до 60% обломочных песчаных зерен и сформировавшиеся в процессе цементации песчаника], столь популярные у коллекционеров, а также «пустынные розы», сложенные кристаллами гипса.

Аллювиальные (речные) осадки имеют механическое происхождение (рис. 10); в них можно обнаружить различные минералы, в том числе золото и алмазы.

Среди осадков химического происхождения выделяются различные известняки и доломиты, породы, богатые хлоридами, сульфатами и нитратами, и некоторые железняки.

Соляные отложения, называемые также эвапоритами, образуются в результате испарения соленых озер либо отшнурованных от моря мелководных заливов. Большую часть солей получают из месторождений этого типа. В них содержатся соединения, представленные хлоридами, сульфатами и карбонатами кальция, натрия, калия и магния. Для этих отложений характерны такие минералы, как гипс, ангидрит, галит (каменная соль) и другие, реже встречающиеся. Эвапориты неморского происхождения локализируются в соленых озерах; они богаты нитратами [это в основном селитры — натриевая (NaNO_3) и калиевая (KNO_3)], содержат соединения бора и иода.

Некоторые осадочные породы обогащены железистыми соединениями. Наиболее характерными минералами их являются гематит и магнетит; несколько меньше распространен пирит. Встречаются кремнистые сланцы (чёрты), состоящие преимущественно из кремнезема, включая такие разновидности, как опал и халцедон. Отмечаются также конкреционные образования — «флинт» [преимущественно темноокрашенные разновидности кремнистых сланцев].

Многие осадочные породы богаты органическими окаменелостями, а некоторые даже почти нацело состоят из них, например биогенные известняки. Органические остатки могут замещаться минералами (в частности, пиритом), при этом их внешний вид остается почти неизменным. Опал замещает раковины моллюсков или древесину. Такие новообразования называются псевдоморфозами, поскольку минералы сохраняют первоначальную форму органической субстанции. Аналогичным путем образуется гагат [блестящий плотный уголь («черный янтарь»), исходным материалом для которого послужили араукариевые].

Вторичное обогащение

Процессы, приводящие к образованию зоны вторичного обогащения сульфидных месторождений, связаны с удалением из поверхностного слоя некоторых соединений и переотложения их на больших глубинах. Этот слой разрушается под воздействием выветривания, в результате чего слагающие его минералы распадаются на более простые компоненты. Поверхностные воды, насыщенные кислородом и углекислотой, вступают в реакцию с сульфидами и другими минералами; при этом образуются растворимые соединения, которые затем выносятся в более глубокие горизонты. Оставшиеся на месте относительно устойчивые соединения — кремнезем, окислы и гидроокислы железа или алюминия — создают так называемую железную шляпу.

По мере просачивания в более глубокие горизонты минерализованные растворы мигрируют в породах, обедненных кислородом и насыщенных водой, и осаждаются в виде вторичных сульфидов, образуя богатые залежи (рис. 11). Таким образом, многие рудные минералы, которые первоначально можно было бы встре-

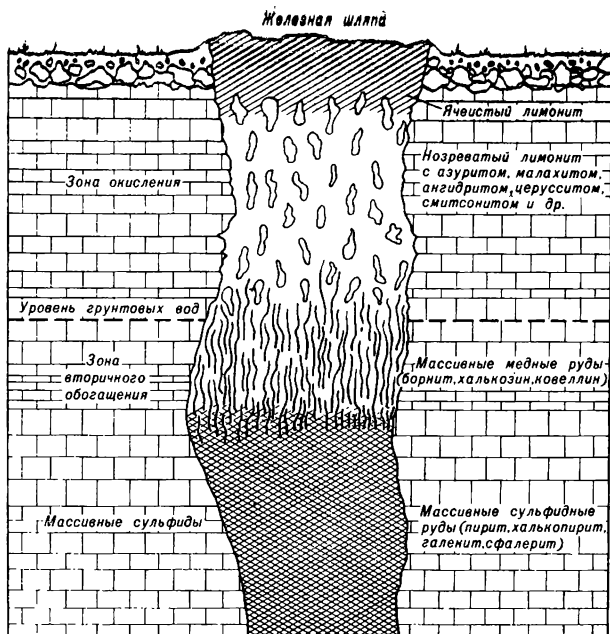


Рис. 11. Строение окисленной меднорудной жилы.

Показаны железная шляпа, зоны окисления и вторичного обогащения и неизменные массивные сульфиды, формирующие первоначальное рудное тело.

тять в пределах всей зоны окисления, под влиянием рассмотренных процессов концентрируются только в нижней ее части [и глубже — в зоне вторичного обогащения]. Здесь распространены интересные минералы — карбонаты, силикаты, окислы и сульфиды меди, свинца, цинка и других металлов. В пределах зоны окисления присутствуют вторичные карбонаты меди (малахит, азурит), свинца (церуссит) и цинка (смитсонит).

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Метаморфические горные породы образуются в результате изменения магматических либо осадочных пород под воздействием температуры и/или давления. Такие изменения приводят к распаду некоторых минералов исходных пород, появлению новых минералов и формированию характерных метаморфических структур и текстур.

Многие минералы, типичные для метаморфических пород, можно встретить как в изверженных, так и в осадочных породах, но есть и такие минералы, происхождение которых обусловлено только метаморфическими процессами. В отличие от процессов в магматических породах, минералообразование при метаморфизме происходит не в расплаве, т. е. не в преимущественно жидкой среде. А это означает, что при формировании метаморфических пород кристаллы находятся в условиях, препятствующих их свободному росту, и поэтому они редко достигают совершенной формы, которую могли бы приобрести в более благоприятной обстановке. Вместе с тем некоторым метаморфическим минералам свойственны относительно крупные и хорошо образованные кристаллы, называемые порфиробластами (напомним, что такие кристаллы в изверженных породах получили название фенокристов). Характерными примерами порфиробластов являются гранат, андалузит и кианит.

Выделяются три типа метаморфизма: дислокационный, контактовый и региональный.

Дислокационный метаморфизм (динамометаморфизм) возникает в зонах интенсивных разрывных нарушений, например надвигов или взбросов. Этот тип метаморфизма вызывается главным образом повышенным давлением (температура не играет существенной роли). Продукты этого процесса называются милонитами. Хорошо развитых кристаллов в них нет.

Контактовый метаморфизм наблюдается в контактах интрузивных тел, где температура, обусловленная внедрением магматического расплава, колеблется в интервале 700—1200° С. Под воздействием тепла во вмещающих породах возникают определенные изменения, зона проявления которых получила название контактового ореола.

Если тепловое воздействие дополняется активным участием метаморфизирующих растворов, поступающих из интрузии в контактовую зону, в породах происходят изменения, приводящие к образованию специфических пород, в том числе скарнов, которые богаты минералами, представленными силикатами кальция, магния и железа. Они развиты как в контактах карбонатных пород, так и вне их. В скарнах встречаются железосодержащие гранаты (андрадит), а также разновидность пироксена — геденбергит. Из других силикатов отмечаются гроссуляр (группа гранатов), диопсид и волластонит. Из рудных минералов, связанных со скарнами, можно назвать пирит, магнетит, гематит и др.

Летучие компоненты, проникающие из интрузии в пределы контактового ореола, содержат бор, фтор, хлор и воду. Например, если во вмещающие интрузивное тело глинистые или аспидные сланцы привносится бор, образуются породы, содержащие боросиликат — турмалин. В контактово-измененных известняках под воздействием летучих соединений бора возникают такие минералы, как датолит и аксинит. Привнос фтора в породы того же типа приводит к образованию лепидолита (из группы слюд) и фтор-апатита; привнос хлора — к образованию маршалита (из группы скаполита).

Региональный метаморфизм проявляется на обширных территориях в пределах подвижных (складчатых) поясов земной коры под воздействием температуры и давления.

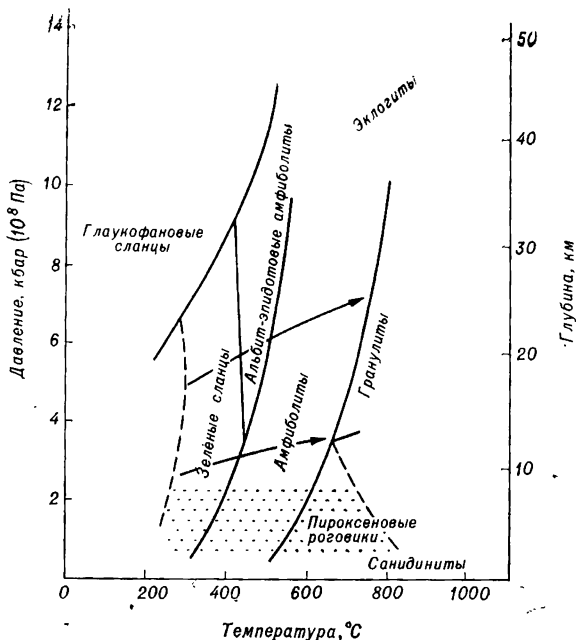


Рис. 12. Предельные значения температуры и давления, соответствующие восьми метаморфическим фациям (выделены финским ученым П. Эсколой).

Степень метаморфизма

Этим термином определяется та или иная степень изменения метаморфических пород. При региональном метаморфизме одна и та же степень метаморфизма может быть развита на значительной площади (т. е. метаморфизм носит более или менее равномерный характер). В направлении от интрузии к вмещающим породам тепловое воздействие контактового метаморфизма постепенно ослабевает, а его проявление

ния становятся все менее характерными. На рис. 12 показаны термобарические условия образования различных метаморфических пород.

Примеры метаморфических пород и связанных с ними минералов

При метаморфизме тонкозернистых осадочных пород образуются сланцы (в том числе аспидные и кристаллические) и филлиты. В породах возникают характерные минеральные ассоциации, включающие хлорит, биотит, альмандин, ставролит, кианит и силлиманит. Эти минералы образуются на различных стадиях метаморфизма; присутствие некоторых из них может служить характерным признаком той или иной степени метаморфизма. Поэтому они получили название минералов-индикаторов. Среди минералов, встречающихся в метаморфических сланцах, можно упомянуть андалузит, иолит (кордиерит), анатаз и гиперстен.

При метаморфизме основных изверженных пород образуются эпидот, хлорит, сфен, альбит, кальцит и альмандин. При метаморфизме кварцевых песчаников получают кварциты. Чистые известняки преобразуются в мраморы, а при наличии в них примесей (и при отсутствии в породах магния) появляются минеральные ассоциации, включающие цоизит, клиноцоизит, везувин, гроссуляр, диопсид, скаполит, сфен и волластонит. В карбонатах, богатых магнием (доломитах), формируются серпентин, форстерит, шпинель и минералы ряда тремолита — актинолита. В изверженных породах, богатых оливином, возникают ассоциации с преобладанием минералов группы серпентина.

4

СОСТАВ И СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

КРИСТАЛЛОХИМИЯ

Большинство минералов представляют собой химические соединения. Атомы различных элементов в них прочно удерживаются на определенном расстоянии друг от друга посредством химических связей нескольких типов; наиболее важными являются ионная, ковалентная и металлическая связи.

Ионная [гетерополярная] связь обусловлена электростатическим притяжением между ионами с равными и противоположными по знаку зарядами (катионами и анионами). При ионной связи электрон (или электроны) с внешней орбиты одного атома переходят на орбиту другого. Примером ионной связи является галит, где атом натрия в структуре NaCl отдает электрон своей внешней оболочки, становясь катионом (Na^+), а атом хлора, получив этот электрон, становится анионом (Cl^-).

При ковалентной [гомеополярной] связи, в отличие от ионной, обмена электронами между противоположно заряженными ионами не происходит. Данная связь выражается в том, что тесно сближенные атомы «выделяют» одну или несколько пар наружных электронов, которые используются ими совместно. Тем самым каждый атом получает нужное количество электронов. [Ковалентная связь осуществляется только в определенных направлениях вокруг атома, отличаясь этим от ионной, где электростатическое притяжение распространяется на все соседние ионы противоположного знака. Известно, что во мно-

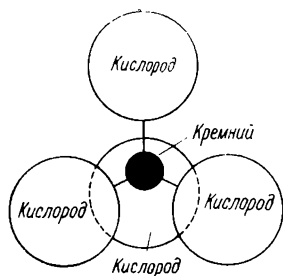


Рис. 13. Тетраэдр SiO_4 , у которого в каждой вершине находится один атом кислорода.

Тетраэдр и показанный на рис. 14 октаэдр получили название координационных полиэдров.

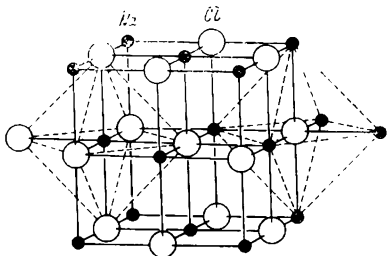


Рис. 14. Структура кристалла хлористого натрия (поваренной соли NaCl).

Октаэдрическая координация ионов натрия и хлора показана штрихами.

гих минералах имеются два или даже несколько типов химических связей, в том числе ионно-ковалентная.]

При металлической связи ионы, находящиеся в плотной упаковке, окружены свободно движущимися внешними электронами. Металлическая связь обуславливает такие свойства металла, как тепло- и электропроводность. Ионы, находящиеся в плотной упаковке, способны быстро передавать тепло и так же быстро рассеивать его. Поэтому металлы на ощупь кажутся нам холодными. Металлам присущи также ковкость — свойство металла (например, золота), позволяющее раскатывать его на тонкие листы, и тягучесть (металл можно вытягивать в проволоку).

Во многих минералах есть атомы, которые соединяются в определенные группы, характеризующиеся ковалентными связями и получившие название радикалов или комплексных ионов. Для очень важного класса минералов — силикатов — такие радикалы представлены структурными единицами SiO_4 , обла-

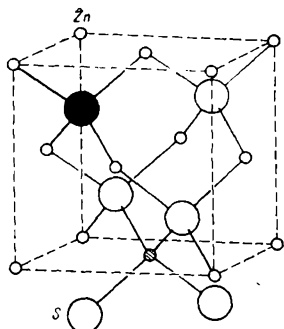


Рис. 15. Структура сфалерита (ZnS).

Атомы цинка и серы находятся в тетраэдрической координации.

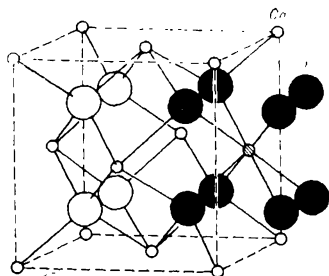


Рис. 16. Структура флюорита (CaF_2).

Атом кальция находится в плотном окружении восьми атомов фтора. Каждый атом фтора в свою очередь окружен четырьмя атомами кальция, размещенными, как в тетраэдре.

дающими отрицательным зарядом ($4-$). В силикатах каждый атом кремния находится в окружении четырех атомов кислорода, образуя кремнекислородный тетраэдр (рис. 13). Для достижения электрического баланса (компенсации зарядов) этот радикал $(\text{SiO}_4)^{4-}$ должен быть связан с катионом или с несколькими катионами, обладающими общей валентностью $4+$. В форстерите $(\text{Mg}_2)^{4+}(\text{SiO}_4)^{4-}$ два атома магния, каждый из которых имеет валентность $2+$, связаны с комплексным анионом $(\text{SiO}_4)^{4-}$.

Кристаллические вещества характеризуются упорядоченным расположением структурных единиц — молекул, атомов, ионов, в отличие от аморфных веществ, лишенных этого свойства. Благодаря закономерному расположению частиц в структуре вещества образуются хорошо сформированные, правильные кристаллы. На рис. 14, 15, 16 показаны структуры некоторых известных минералов, имеющих ионные связи.

ПОЛИМОРФИЗМ И ИЗОМОРФИЗМ

Под воздействием давления упаковка атомов становится компактнее и образуется более плотное кристаллическое тело. Существует явление, когда вещество с одним и тем же химическим составом образует несколько структурных разновидностей. Примером может служить кремнезем (SiO_2), который при обычной температуре представлен кварцем. С повышением температуры до $1470\text{—}1723^\circ\text{C}$ это — кристаллит, минерал, образующийся в вулканических лавах. В диапазоне температур $840\text{—}1470^\circ\text{C}$ кремнезем кристаллизуется уже в виде тридимита. Такие разновидности называются полиморфными модификациями, а сам процесс преобразования кристаллической структуры вещества без изменения его химического состава — полиморфизмом. По-видимому, лучше известны две полиморфные модификации (диморфы) углерода — алмаз и графит.

Явление, обратное полиморфизму, когда вещества разного химического состава обладают одинаковой кристаллической структурой, называется изоморфизмом. Сущность его заключается в способности взаимного замещения ионов, размеры которых практически идентичны. В качестве примера можно привести замещение одним ионом хрома иона алюминия в корунде или берилле. Присутствие хрома в кристаллической структуре минерала дает в первом случае красную разновидность корунда рубин, во втором — зеленую разновидность берилла изумруд. [Различают несколько видов изоморфизма, среди которых наиболее распространенные — изовалентный (происходит замещение ионов с одинаковой валентностью) и гетеровалентный (замещаются ионы разной валентности). Автором описана наиболее простая разновидность изовалентного изоморфизма, когда по своим свой-

ствам взаимно заменяющиеся ионы близки друг к другу.]

Существуют непрерывные ряды минералов, которые могут быть охарактеризованы двумя конечными членами ряда, обладающими постоянным химическим составом, в то время как промежуточные его члены представляют собой изоморфные смеси конечных. Примером может служить ряд форстерита (Mg_2SiO_4) — фаялита (Fe_2SiO_4), в котором оливин является одним из промежуточных членов. Вместе с тем ряд минералов, включающий эти два конечных члена, объединяется в группу оливина. Если смесь форстерита и фаялита подвергнуть нагреванию, а затем охладить, мы получим оливин, в состав которого входят как магний, так и железо. Такие соединения называются твердыми растворами, поскольку здесь один минерал как бы растворен в другом.

Ряды, подобные рассмотренному, называют изоморфными. В данном случае все промежуточные члены изоморфного ряда известны, хотя так бывает не всегда. Если мы хотим получить формулу какого-либо промежуточного члена оливинового ряда, то достаточно в общую формулу ряда $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ подставить к символам Mg и Fe соответствующие индексы, отразив тем самым фактическое соотношение магния и железа для данного конкретного минерала.

При повышении температуры (нагревании) минерала в его кристаллическую структуру стремятся проникнуть атомы с относительно большими ионными радиусами. Если это происходит, и решетка вследствие этого расширяется, то при последующем охлаждении и соответственно сжатию решетки более крупные атомы как бы выталкиваются из нее. Осуществляется процесс, в результате которого первоначально однородный твердый раствор распадается на две кристаллические фазы. Эти фазы оказываются настолько близкими друг другу по размерам слагающих

частиц, что их бывает трудно различить. Этот процесс получил название экссолюции [распада твердого раствора].

В некоторых случаях минералы не отвечают закону компенсации электрических зарядов (электрического баланса). В их кристаллических структурах отсутствуют некоторые катионы; остающиеся в результате этого свободные места называются вакансиями. Иногда такие явления обуславливают цвет минерала.

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

Все мы хорошо знаем, как выглядят кристаллы. Они обладают отчетливо выраженной внешней формой, имеют четкие плоские грани, острые вершины и т. д. Однако в природе далеко не все кристаллы предстают в столь идеальной форме. Некоторые из них вообще кажутся бесформенными и тем не менее являются кристаллами. Если взять кусок искусственного или природного стекла, то на первый взгляд он почти не отличается от такого же обломка горного хрусталя, но в действительности между ними существует принципиальная разница. В древние времена горный хрусталь считали «навек застывшим льдом» (настолько твердым, что ему уже не оттаять!). Само греческое слово, означающее «чистый лед» (кристалл-лѣс), трансформировалось в современное «кристалл» (кстати, лёд — кристаллическое вещество).

Как считает автор этих строк, кристаллом является твердое тело, обладающее симметрией атомов, которая выражается в периодической их повторяемости в пределах кристалла. Эта внутренняя закономерность проявляется в способности самоограничаться, т. е. создавать правильные грани и другие элементы внешней огранки кристалла. Иногда это свойство может внешне и не проявляться. Если изучаемое тело лишено внешних признаков регулярной структуры, не-

обходимо провести соответствующие испытания, чтобы выяснить, имеет ли оно внутреннюю атомную симметрию и какой именно вид симметрии ему свойствен.

Состояние вещества, противоположное кристаллическому, называется аморфным (от греческого слова аморфоз — бесформенный). Согласно определению Американского бюро стандартов, аморфным можно назвать «вещество, аморфное по данным рентгеноструктурного анализа и проявляющее свойства, характерные для состояния, переходного к стеклоподобному». Стеклоподобное состояние может быть охарактеризовано как такое, при котором твердая аморфная фаза с изменением температуры претерпевает более или менее внезапные изменения теплоемкости и соответственно коэффициента теплового расширения. Диапазон этих вторичных термодинамических параметров весьма значителен, и мы получаем данные о свойствах тел, начиная от близких к кристаллическим и кончая жидкостями.

Из этого можно заключить, что аморфные вещества образуют более сложную группу, чем кристаллические! Но фактически это означает только то, что у стекла («аморфное вещество по данным рентгеноструктурного анализа») отсутствует дальний порядок в расположении атомов. При одной температуре оно кажется кристаллоподобным, но при другой переходит в жидкое состояние с присущими ему свойствами. Стекло подобно переохлажденной жидкости, однако это свойство распространяется не на все аморфные вещества. Общим для них является отсутствие дальнего порядка, что может быть установлено рентгеноструктурным анализом.

Хорошо сформированные кристаллы, представленные в учебниках минералогии и демонстрируемые в музеях, росли в весьма благоприятных условиях. К сожалению, образование большинства кристаллов нарушается «конкуренцией» — тесным соседством

с другими растущими кристаллами — либо слишком большой скоростью застывания кристаллизующейся массы.

Необходимым условием зарождения и роста кристалла является наличие некоего ядра. Его роль может играть другой кристалл или даже частичка любого твердого вещества. При отсутствии таких «зародышей» рост кристаллов не может начаться до тех пор, пока атомы, сконцентрировавшись в группы, не образуют так называемые центры кристаллизации (на это требуется довольно длительное время). Во многих случаях для начала процесса кристаллизации необходимо понижение температуры расплава до определенного уровня. Чаще всего это происходит при охлаждении расплава, а начало кристаллизации совпадает обычно с температурой плавления данного вещества.

Рост кристаллов происходит в результате отложения новых слоев вещества. Если к грани растущего кристалла будут поступать все новые порции питающего материала, ее поверхность становится крайне восприимчивой к поглощению еще больших его количеств. Иногда нарастание на поверхности кристалла происходит «ступенчато», и поскольку вновь выросшая ступень имеет большую площадь, чем первоначальная плоская грань кристалла, скорость роста здесь будет выше, чем на остальной части грани. Это приводит к дефектам кристалла, которые со временем распространяются на всю растущую поверхность.

Такой дефект роста, получивший название винтовой дислокации, обуславливает отложение вещества по спирали, вследствие чего на грани кристалла образуется «спираль роста». Это — одна из особенностей развития кристаллов, с которой приходится считаться минералогу, занимающемуся искусственным их выращиванием. Хотя спираль роста может сойти на нет и проявиться на поверхности кристалла разве что

в виде мелкого бугорка, воздействие дефекта роста необратимо распространится по всему телу кристалла, и это сделает его непригодным для использования в оптике или в лазерной технике, т. е. в тех областях, где кристаллы совершенной формы поистине незаменимы.

Другое отклонение от идеального роста, менее значительное, поскольку оно не приводит к дислокациям, возникает в том случае, когда новый тонкий слой вещества возникает на растущей грани, образуя ступень на ее крае. Новый материал, отлагаясь на поверхности этой ступени, будет стремиться распространиться по всей грани кристалла. Рост задержится, пока не будет сформирован другой такой же слой.

До сих пор мы рассматривали растущие кристаллы как твердые вещества, состоящие только из закономерно расположенных атомов и других структурных единиц. Однако в структуру кристалла могут внедриться «посторонние» атомы, если они обладают теми же размерами, что и находящиеся в данной структуре «по праву». В качестве примера можно привести замещение некоторых атомов алюминия в корунде (Al_2O_3) атомами хрома, вследствие чего образуется минерал красного цвета — рубин. В данном случае хром играет роль красителя, в то время как алюминий таковым не является (это пример изоморфного замещения, сущность которого рассматривалась выше).

Если представить себе, что питающее вещество быстро отлагается на той или иной грани кристалла, то очевидно, что наибольшая скорость роста на этой грани будет в направлении, перпендикулярном к ней. По мере отложения нового материала площадь грани все более сокращается, что часто приводит к ее исчезновению, поскольку она трансформируется в ребро или вершину. В конечном итоге кристалл покрывается гранями, нараставшими с наименьшей скоростью.

ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОРМАЛЬНОГО РОСТА КРИСТАЛЛОВ

Существует много причин, препятствующих нормальному росту кристалла. Например, если приток питающего вещества ослабевает в прилегающих к кристаллу участках, этот дефицит пополняется за счет раствора, поступающего из более отдаленных частей среды. При этом в большинстве случаев максимальное количество питающего материала приходится на долю вершин и ребер растущего кристалла, и поэтому они пользуются определенным преимуществом в процессе роста по сравнению с гранями. Таким путем могут возникнуть вогнутые кристаллы [например, кубические кристаллы соли, у которых грани куба растут быстрее у ребер, чем в центральной части] или минеральные агрегаты дендритовой формы.

Другая причина нарушения нормального роста кристаллов связана с наличием в питающем растворе загрязнений или примесей (хотя они могут быть поистине ничтожными!). В условиях идеального роста кристалл должен обладать способностью отторгать чуждые примеси (если только им не удастся проникнуть в кристаллическую структуру, как это мы наблюдали на примере хрома в корунде). Если примеси не внедрились в структуру, они аккумулируются на внешней стороне нарастающих граней кристалла, препятствуя равномерному притоку питающего раствора и тем самым замедляя их рост. Это может повлечь за собой неправильное развитие граней, в результате чего кристалл приобретет форму, далекую от идеальной.

Некоторые примеси в виде твердых частичек могут быть захвачены с питающим материалом и заключены в кристалле. Они получили название инклюзий (включений). Такие включения играют важную

роль в познании развития кристаллов ряда драгоценных камней.

Определенное представление о том, как формируется отдельный кристалл, можно получить, изучая особенности нарастания его граней. Очевидно, что чем кристалл крупнее, тем менее совершенным может быть его облик, ибо такой кристалл дольше подвергается внешним воздействиям, искажающим его форму, а также обуславливающим появление на гранях кристалла фигур травления, впадин роста и др. Эти скульптурные усложнения могут существенно помочь в расшифровке индивидуальных черт того или иного кристалла. Наблюдаются и такие явления, когда один кристалл нарастает на другом и облекает его, образуя «головку», как, например, в случае скипетровидного кварца (первоначальные элементы огранки кристалла перекрываются более крупными гранями той же формы). Это может быть объяснено поступлением более обильных порций питающего материала.

Иногда один минерал может нарастать на определенных гранях другого (например, нарастание пластинок гематита на чередующихся гранях кристалла кварца). Такое явление носит название селективной инкрустации; оно зависит от степени кристаллографического сходства между начальным и нарастающим индивидами.

В тех случаях, когда подтоки питающего вещества периодически прерываются, а затем вновь возобновляются, в кристалле можно наблюдать «зоны роста», которые получили название фантомов или теней; наиболее характерны они для кристаллов кварца. [Такие кристаллы (кварца, кальцита, флюорита и др.) известны под названием теневых. Внутри них наблюдаются следы более ранних стадий кристаллизации, иногда выраженные полосчатым распределением мельчайших включений, пузырьков и т. д.]

Если нормальные условия роста кристалла изменяются таким образом, что растворение начинает преобладать над наращиванием, на гранях кристалла развиваются фигуры травления — углубления (ямки) определенной формы с округлыми или многогранными контурами. Эти фигуры отражают симметрию кристалла. Так, на алмазе образуются треугольные фигуры травления, соответствующие оси третьего порядка, перпендикулярной к грани; для изумруда характерны шестиугольные фигуры и т. д.

ГАБИТУС КРИСТАЛЛОВ

Во внешней форме кристаллов отражена как внутренняя симметрия, так и особенности роста, во многом обусловленные средой их формирования. Для характеристики внешних элементов, присущих тому или иному кристаллу, имеется специальный термин — габитус. [Габитус (по-латыни — внешность, наружный вид) — характерная форма или комбинация форм кристалла, включая характерные неправильности. В отечественной литературе эти особенности морфологии кристаллов обозначаются термином «облик кристалла».]

Габитус указывается целым рядом определений, например:

- игольчатый (кристаллы игловидной формы);
- волосовидный (волосо- или нитевидные кристаллы);
- столбчатый (с субпараллельными столбо- или колонкообразными кристаллами);
- дендритовый (кристаллы древовидной формы);
- пластинчатый (удлиненные пластинообразные кристаллы);
- таблитчатый (кристаллы с широкими плоскими формами);

— клиновидный (утоняющиеся к одному концу кристаллы).

Некоторые минералы не образуют отчетливо ограниченных, самостоятельных кристаллов; их кристаллические индивиды практически не распознаются и не могут диагностироваться даже под микроскопом при самых сильных увеличениях. Эти минералы состоят из агрегатов, сложенных мельчайшими кристалликами и напоминающих сплошные массы, поэтому их называют массивными агрегатами. Научное наименование таких образований — «скрытокристаллические», поскольку слагающие их кристаллы как бы «скрыты от наблюдения». Часто агрегаты принимают радиально-лучистую или веерообразную форму. Распространены также и другие минеральные скопления, имеющие иные характерные признаки. Среди них встречаются:

— гроздевидные (напоминающие виноградные кисти);

— почковидные (схожие по внешнему виду с почками);

— сосцевидные (состоящие из округлых масс);

— шаровидные (сложенные сферическими или близкими к ним по форме образованиями) [к ним относятся, например, такие важные виды агрегатов, как конкреции (стяжения, желваки) с радиально-лучистым или скорлуповатым строением; оолиты (буквально — яйцевидные камни) — сферические образования концентрически-скорлуповатого строения и др.];

— сетчатые, или петельчатые (состоящие как бы из множества ячеек либо петель сети);

— листоватые или чешуйчатые (образующие тонкие слои: лейсты, чешуйки, которые могут легко отщепляться);

— волокнистые (состоящие из длинных вытянутых волокон).

ДВОЙНИКИ

Многие кристаллы образуют различные сростки — так называемые двойники (несколько примеров приведено на рис. 17). Ряд минералов (например, некоторые полевые шпаты) встречаются почти исключительно в виде двойников. Одни разновидности двойников представляют собой зеркальное отражение кристаллов, другие — взаимные прорастания (примером последних могут служить кристаллы флюорита). Кристаллы-двойники распознаются по наличию входных углов. Пластинчатые двойники, наблюдаемые в некоторых рубинах и плагиоклазах (полевых шпатах), обусловлены многочисленными тесно сросшимися тонкими кристаллами, расположенными подобно листам книги.

Процессы, происходящие в кристаллах в течение длительного времени, могут привести к изменению их химического состава и структуры при сохранении первоначальной внешней формы. Это явление назы-

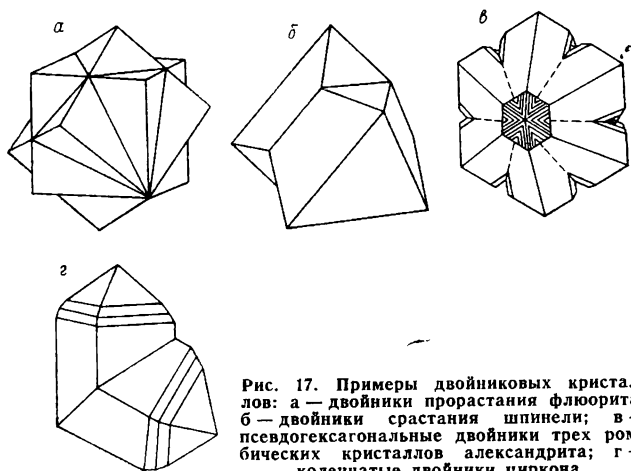


Рис. 17. Примеры двойниковых кристаллов: а — двойники прорастания флюорита; б — двойники срастания шпинели; в — псевдогексагональные двойники трех ромбических кристаллов александрита; г — коленчатые двойники циркона.

вается псевдоморфизмом [а конечные продукты этих изменений — псевдоморфозами («ложными формами»)]. Такие образования свойственны, в частности, кварцу, однако наиболее эффектные псевдоморфозы дает опал, который может нацело замещать древесину (например, ветку дерева) или скелетный материал раковин. Этот пример псевдоморфизма примечателен еще и тем, что опал не является кристаллическим веществом (он аморфен!).

СПАЙНОСТЬ

Если минерал легко раскалывается, причем на плоскостях раскола образуются гладкие поверхности, говорят, что он обладает спайностью. Раскалывание минерала происходит вдоль плоскостей спайности, обусловленных закономерным ослаблением сил связей в кристаллах, поэтому эти плоскости ориентированы параллельно фактическим или возможным граням кристалла (рис. 18). В некоторых минералах наблюдается несколько направлений спайности. Так, например, кристалл алмаза имеет четыре таких направления, причем каждое из них параллельно граням октаэдра; в кристаллах сфалерита шесть плоскостей спайности ориентированы вдоль ромбического додекаэдра; единственная плоскость спайности у топаза параллельна базальному пинакоиду.

При описании спайности обязательно следует указать ее направление и степень проявления (характер раскола, «качество» образовавшейся поверхности и т. д.). По своей выраженности спайность может варьировать от совершенной до посредственной. [У нас приняты пять степеней спайности: 1) весьма совершенная, когда минерал очень легко раскалывается на тонкие зеркальные пластинки (слюды, тальк, хлорит); 2) совершенная — минерал при легком ударе раскалывается на мелкие правильные вы-

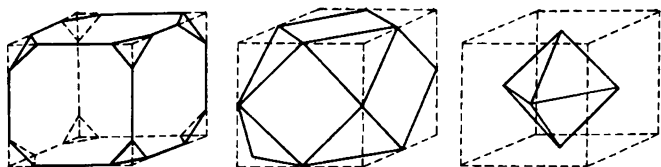


Рис. 18. Направления спайности в кристаллах флюорита.

Показано, каким образом из кубического кристалла, используя плоскости спайности, можно выколоть октаэдрический обломок.

колки (галит, кальцит, галенит и др.); 3) средняя (пироксены, рутил и др.); 4) несовершенная (апатит, касситерит, сера и др.); 5) весьма несовершенная (корунд, магнетит и др.).]

Некоторые минералы, не обнаруживающие спайности, все же раскалываются по определенным ослабленным зонам — трещинам отдельности, возникающим обычно в результате двойникования кристаллов либо под воздействием внешних динамических факторов (давления). Хорошим примером может служить корунд, у которого трещины отдельности ориентированы вдоль плоскостей пластинчатых двойников; у магнетита отдельность параллельна граням октаэдра. При диагностике минерала следует четко разграничивать такие признаки, как спайность и отдельность.

Раскол минерала, не совпадающий по направлению со спайностью и отдельностью, называется изломом.

БЛЕСК

Эффект, вызываемый отражением света от поверхности минерала, называется блеском. Кристаллы металлов обладают наиболее ярким блеском, получившим соответственно название металлического;

многие из них кажутся черными, настолько полно они отражают падающий на их поверхность свет. Минералы с неметаллическим блеском объединяются в группу, для которой характерен стеклянный блеск. Такой же блеск свойствен и драгоценным камням. На плоскостях спайности обычно наблюдается перламутровый блеск. Считают, что у серы смоляной блеск, а волокнистые минералы, такие как серпентин-асбест, обладают шелковистым блеском.

Особо обращает на себя внимание алмаз: высокая отражательная способность обуславливает сверкающий блеск его граней, который называют алмазным. Некоторые другие, в частности прозрачные свинецсодержащие минералы церуссит и англезит, имеют блеск, приближающийся к алмазному. [Согласно нашей диагностической шкале минералы по блеску подразделяются на три группы: с металлическим, полуметаллическим (металлоидным) и неметаллическим блеском. В третьей группе выделяются следующие разновидности блеска: алмазный — алмаз, киноварь, сера (на гранях); стеклянный — кальцит, флюорит, кварц (на гранях); перламутровый — слюды, тальк; шелковистый — асбесты; жирный — нефелин, кварц, сера (на изломе); матовый — каолинит, мел; восковой — опал, кремень.]

ЦВЕТ ЧЕРТЫ

Этот диагностический признак связан со свойством минералов давать окрашенную черту на матовой (не глазированной!) поверхности фарфоровой пластинки (так называемого бисквита). Цвет черты не обязательно должен совпадать с цветом самого минерала. В табл. 3 приводится цвет черты минералов, объединенных в две группы (в зависимости от их блеска).

Таблица 3

Цвет черты некоторых минералов

Черта	Минералы
Минералы с металлическим блеском	
Серебристая	Серебро, мышьяк
Серая	Платина
Золотисто-желтая	Золото
Красная	Самородная медь

Минералы с неметаллическим блеском

Серая	Борнит, халькозин, галенит, антимонит, марказит, арсенопирит, бурнонит, графит
Коричневая	Сфалерит, рутил
Черная	Магнетит
От красной до красновато-бурой	Пираргирит
Желтая	Отенит
Зеленая	Малахит, вивианит, торбернит
Синяя	Азурит, лазурит
Пурпурная	Вивианит

Часто при изменении цвета минерала цвет его черты остается постоянным. Надо учитывать, что твердость фарфоровой пластинки — около 7, поэтому данный диагностический признак следует использовать для тех минералов, твердость которых не выше этого значения. Цвет черты помогает различать, например, окислы железа, имеющие общую для всех черную окраску: у гематита черта вишнево-красная, у магнетита — черная. Большинство же карбонатов и силикатов дает белую или бесцветную черту, поэтому диагностировать их по черте затруднительно.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ

Способность к электризации отличает кристаллы от стекла, однако не все кристаллы обладают электрическими свойствами. Пироэлектричество, возбуждающееся в кристалле при колебаниях температуры (повышение электрического потенциала в результате нагревания), особенно хорошо проявляется в кристаллах турмалина. Так, пластинки турмалина, вмонтированные в стекло витрины и поляризованные под воздействием нагрева от осветительных приборов, способны притягивать пылинки.

Пьезоэлектричество возбуждается вследствие механических деформаций кристалла — сжатия или растяжения. При сжатии на противоположных концах кристалла возникают разноименные электрические заряды, при растяжении происходит их обратное перераспределение. На пьезоэлектрическом эффекте основано использование кристаллов кварца в часах и электронных приборах.

СТРУКТУРА КРИСТАЛЛОВ

Одно из первых положений учения о кристаллах, которое должен усвоить начинающий минералог, гласит: углы между двумя любыми гранями (двугранные углы) в различных по форме кристаллах одного и того же минерала остаются постоянными. Этот закон постоянства двугранных углов был сформулирован французским минералогом Ромэ-Делилем в 1772—1782 гг. [М. В. Ломоносов в 1749 г. впервые связал закон постоянства углов с внутренним строением минерала (селитры).] До Ромэ-Делиля датский ученый Н. Стено установил, что если через кристалл кварца провести различные поперечные сечения и сравнить их с сечениями, полученными для других кристаллов кварца, то углы между двумя любыми

соседними гранями, независимо от формы сечений, сохраняют постоянное значение.

Угол между двумя смежными гранями кристалла может быть выражен углом между перпендикулярами, проведенными к каждой из граней; остается, таким образом, измерить угол, составленный двумя нормальными к соответствующим граням. Закон постоянства углов можно легко проверить с помощью прикладного гониометра (простейшего прибора, состоящего из линейки и транспортира). [Для более точных измерений используются так называемые отражательные гониометры, состоящие из одного или двух градуированных вращающихся лимбов.]

Французский аббат Р. Ж. Аюи (1743—1822) в конце XVIII века пришел к выводу, что кристаллы состоят из мельчайших, но идентично построенных блоков. Это было случайное открытие: Аюи уронил образец кальцита и обнаружил, что он раскололся на мелкие ромбоэдры (кристаллики с плоскопараллельными гранями). Теперь мы знаем, что основные единицы структуры кристалла — не твердые тела, способные бесконечно повторять его облик, а трехмерные структурные элементы атомных масштабов (элементарные ячейки).

Это не было известно до 1912 г., когда Макс Фон-Лауэ пропустил пучок рентгеновских лучей сквозь кристалл и обнаружил, что он разделился на отдельные лучи. Этот эффект отнесли за счет дифракции. Такое явление можно смоделировать с помощью обычной лампы, если смотреть на свет через небольшое отверстие. Вокруг основного яркого пятна, создаваемого светом лампы, будет расположено несколько сопутствующих световых пятен, которые возникают в результате дифракции световых лучей. Размером отверстия определяется расстояние между основным и окружающими его световыми пятнами:

чем уже отверстие, тем более широко рассеяны пятна, и наоборот.

В кристаллах с близко расположенными атомами рентгеновские лучи дифрагируют под большими углами, чем в тех кристаллах, где между атомами имеются более значительные промежутки. Если расположение световых пятен сфотографировать, то по расстояниям между ними можно рассчитать позицию атомов в кристаллической структуре вещества.

СИММЕТРИЯ В КРИСТАЛЛАХ

Все мы имеем некоторое представление о симметрии, основанное главным образом на житейских примерах. Взглянем, например, на ветряную мельницу: четыре ее крыла выглядят совершенно одинаковыми независимо от того, свисает ли вниз либо оказывается поднятым первое или четвертое крыло. В данном случае можно считать, что эта система характеризуется четырехкратной симметрией. Если вращать куб вокруг оси, перпендикулярной к грани, на которую мы смотрим, то во время оборота на 360° идентичное положение его повторится четыре раза; это также пример четырехкратной симметрии. Если вращать прямоугольный брусок (смотря на него с одного конца), то одинаковые положения при пол-

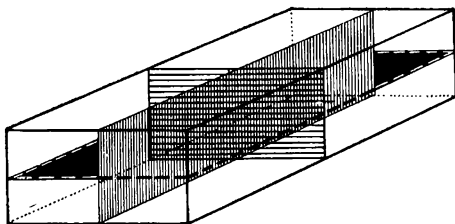
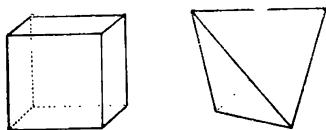


Рис. 19. Плоскости симметрии в прямоугольном бруске.

Это характерная для ромбической сингонии фигура.

Рис. 20. Кристалл, изображенный в левой части рисунка, имеет центр симметрии; тетраэдр, расположенный справа, асимметричен, поскольку на противоположных направлениях находятся разные элементы огранки.



ном обороте на 360° повторятся только два раза; это соответственно двукратная симметрия (рис. 19). Здесь ось вращения является осью симметрии.

Если же кристалл можно разделить на две части таким образом, что одна служит зеркальным отображением другой, то плоскость раздела будет плоскостью симметрии. В кристаллах кроме осей и плоскостей симметрии может быть и центр симметрии, в диаметрально противоположных направлениях от которого расположены одинаковые элементы огранки кристалла (грани, ребра, вершины). К этому можно добавить, что центр симметрии делит пополам любую проведенную через него прямую линию (рис. 20).

СИНГОНИИ КРИСТАЛЛОВ

По совокупности элементов симметрии каждый кристалл может быть отнесен к одному из 32 классов, объединяющихся в шесть групп, называемых сингониями. [В настоящее время принято рассматривать семь сингоний.] Каждая сингония характеризуется определенными, присущими ей кристаллографическими осями. В кубической сингонии, к которой относятся наиболее симметричные кристаллы, все кристаллографические оси имеют одинаковую длину и пересекаются между собой под прямыми углами. Эта сингония обладает высшей степенью симметрии и считается сингонией высшей категории. В триклинной сингонии, которая обладает низшей степенью симметрии, наоборот, все оси — разной длины и

к тому же ни один угол их пересечения не является прямым.

В качестве небольшого вступления к рассмотрению кристаллографических сингоний познакомимся с основными формами кристаллов, характерными для той или иной сингонии. Представим себе куб; если у него срезать углы, получится фигура, напоминающая две пирамиды (типа египетских), соединенные друг с другом основаниями. Каждая грань этой формы представляет собой правильный треугольник. В целом такая фигура получила название октаэдра (восьмигранника). В некоторых минералах простые формы образуют сочетания, иногда довольно сложные, называемые комбинациями. Каким путем они возникают, понятно не всегда. Сложившаяся в конечном итоге форма, свойственная именно данному кристаллу, определяет его габитус. Такие фигуры, как куб или октаэдр, соответствуют простым формам кристаллов (рис. 21). По-видимому, геометрическую форму кристалла обуславливает в основном его генетический код, в то время как облик кристалла определяется условиями его роста.

Некоторые кристаллографические формы являются замкнутыми; например, куб или октаэдр не нуждаются в каких-либо дополнительных фигурах или гранях, чтобы образовать замкнутое тело. Такие формы получили название закрытых. Но если мы представим себе продолговатую фигуру типа бруска, то очевидно, что в данном случае для того, чтобы получить замкнутое тело, нужны различные сочетания простых форм; такие формы называются открытыми. Наиболее типичной открытой формой является призма — простая фигура, состоящая из трех или более граней, пересекающихся по параллельным ребрам. Пинакоид — форма, определяемая двумя параллельными гранями и могущая существовать при наличии центра или одной плоскости симметрии.

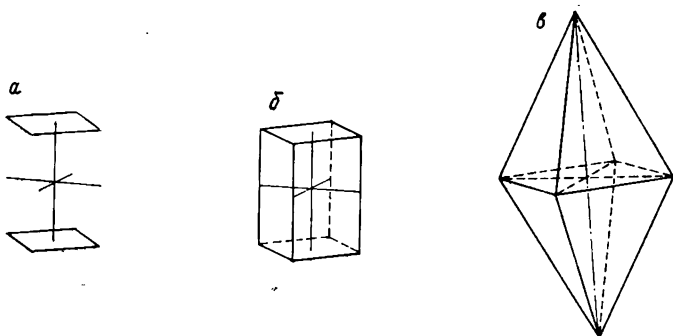


Рис. 21. Формы кристаллов: а — базальный пинакоид; б — призма; в — дипирамида.

Теперь мы можем перейти к более подробному рассмотрению сингоний и соответствующих им наиболее типичных кристаллографических форм.

В кубической сингонии (рис. 22) высший класс имеет 9 плоскостей и 13 осей симметрии; здесь может быть образовано 15 форм. Мы уже познакомились с такими простейшими формами, как куб и октаэдр, но кроме них имеются и другие широко распространенные формы, в том числе ромбододекаэдр, состоящий из 12 граней в виде ромба. К кубической сингонии относится и тетрагонтриоктаэдр с 24 гранями (на каждой грани октаэдра по три неправильных четырехугольника).

Облик кристаллов пирита и галенита кубический (т. е. они образуют кубы); алмаз и шпинель представлены октаэдрами. Ромбододекаэдры характерны для некоторых гранатов, другие представители этой группы минералов кристаллизуются в виде тетрагонтриоктаэдров. Среди гранатов встречаются также комбинации двух последних форм. Тетраэдр — форма, состоящая из четырех равносторонних треугольных граней; она свойственна минералу из группы

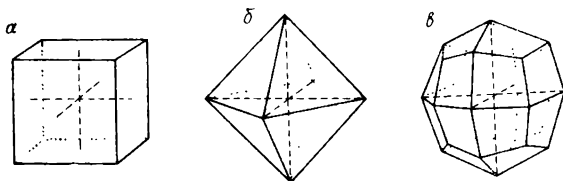


Рис. 22. Кристаллографические оси в кристаллах кубической сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — куб; б — октаэдр (алмаз); в — тетрагонтоктаэдр (гранат).

блеклых руд — тетраэдриту, получившему название по своему кристаллографическому облику.

Спайность часто может дать представление о форме кристаллов; например, у алмаза (и флюорита) спайность октаэдрическая (плоскость спайности расположена по отношению к осям как грань октаэдра). У сфалерита плоскость спайности соответствует додекаэдру — расположена относительно осей как грань додекаэдра.

При понижении симметрии после кубической следует тетрагональная сингония (рис. 23), характеризующаяся тремя взаимно перпендикулярными кристаллографическими осями, две из которых имеют одинаковую длину, третья ось либо длиннее их, либо короче. Если хотите получить представление об обычной тетрагональной форме, вообразите себе куб, вытянутый в одном направлении вдоль диагонали. Аналогично из октаэдра получается форма, которую можно представить в виде двух пирамид, сложенных основаниями, причем высота не равна центральному диаметру. Такая форма называется дипирамидой (название «октаэдр» сохраняется для кубической дипирамиды, у которой все грани представлены равносторонними треугольниками).

Призма представляет собой распространенную открытую форму, а ее пространство обычно замыкается посредством граней пирамид. Пирамида —

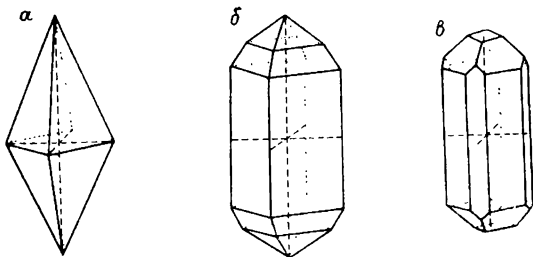


Рис. 23. Кристаллографические оси в кристаллах тетрагональной сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — бипирамида; б — кристалл циркона; в — кристалл везувiana.

простая форма, состоящая из граней, пересекающихся в одной точке. В тетрагональной сингонии кристаллизуется циркон, он встречается (впрочем, не очень часто) в виде тетрагональных призм, увенчанных пирамидами.

К тетрагональной сингонии относится сравнительно небольшое количество важных минералов, но в следующей (по степени симметрии) ромбической сингонии кристаллизуется много хорошо известных представителей минерального царства (рис. 24). Обобщенную форму этой сингонии лучше всего представить себе в виде бруса; три кристаллографические оси, не равные между собой по длине, пересекаются под прямым углом. Ромбическая дипирамида является возможной закрытой формой, но большинство минералов ромбической сингонии образуют сочетания из двух и более форм. К этой сингонии относятся такие минералы, как топаз, оливин, барит, антимонит и хризоберилл.

В моноклинной сингонии (рис. 25) кристаллизуется больше минералов, чем в какой-либо другой. Все кристаллографические оси в этой сингонии не равны между собой, при этом одна из осей направлена под прямым углом к плоскости, где располо-

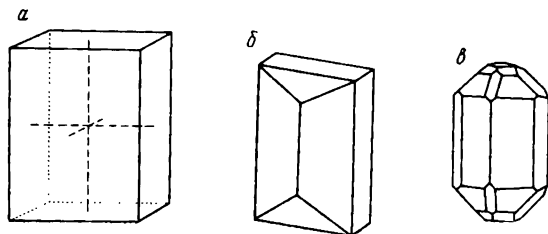


Рис. 24. Кристаллографические оси в кристаллах ромбической сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — основная форма с изображением осей; б — кристалл ставролита; в — кристалл топаза.

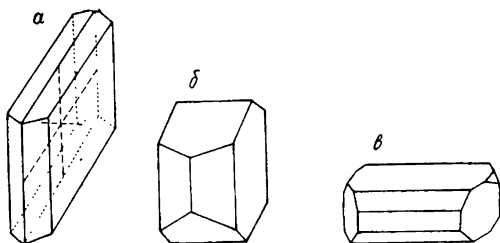


Рис. 25. Кристаллографические оси в кристаллах моноклинной сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — кристалл гипса (селенита) с изображением осей; б — кристалл ортоклаза; в — кристалл эпидота.

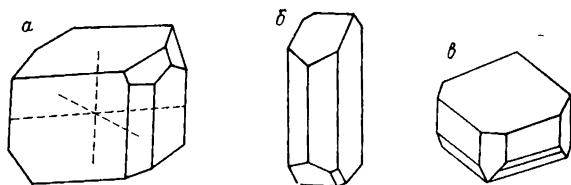


Рис. 26. Кристаллографические оси в кристаллах триклинной сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — кристалл аксинита с изображением осей; б — кристалл альбита; в — кристалл родонита.

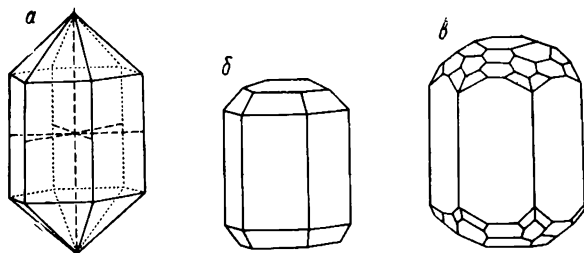


Рис. 27. Кристаллографические оси в кристаллах гексагональной сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — основная форма с изображением осей; б — кристалл апатита; в — кристалл берилла.

жены две другие оси, угол между которыми не является прямым. Обычные формы для данной сингонии — призма и пинакоид. В этой системе кристаллизуются минералы двух важных групп — пироксенов и амфиболов. Пироксены характеризуются плоскостями спайности, пересекающимися под углом около 90° , в то время как в амфиболах этот угол составляет 124° . Минералы группы слюд образуют пластинки, чешуйки, «слюдяные книжки». Для гипса характерны длиннопризматические или таблитчатые агрегаты.

Триклинная сингония (рис. 26) занимает последнее место среди систем низшей категории симметрии (ромбической, моноклинной и триклинной). Здесь все оси симметрии не равны между собой, прямые углы отсутствуют. Единственная форма — пинакоид [могут присутствовать также и моноэдры], кристаллы имеют пластинчатый или клиновидный облик. В этой сингонии кристаллизуются плагиоклазы, дистен, кинит и некоторые другие минералы.

В кристаллах гексагональной сингонии (рис. 27) имеются четыре кристаллографические оси; в удлиненном правильном шестиграннике можно легко распознать вертикальную ось симметрии шестого по-

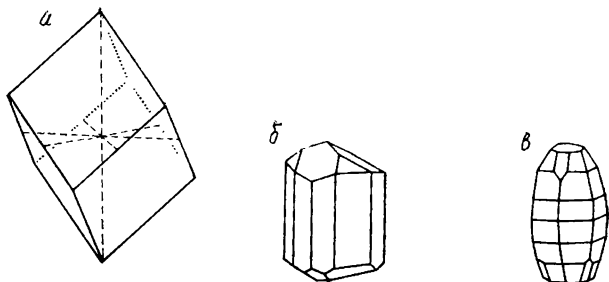


Рис. 28. Кристаллографические оси в кристаллах тригональной сингонии и примеры кристаллов этой сингонии: а — ромбоэдр с изображением осей; б — кристалл турмалина; в — кристалл корунда.

рядка и три горизонтальные оси, одинаковые по длине и перпендикулярные к первой. Угол между горизонтальными осями составляет 120° . Важными представителями минералов гексагональной сингонии являются берилл, апатит, нефелин.

Тригональная подсингония (рис. 28) гексагональной сингонии (которая некоторыми кристаллографами выделяется в самостоятельную сингонию [в настоящее время тригональная сингония является общепризнанной]) характеризуется осью симметрии третьего, а не шестого порядка. Например, поперечное сечение кристалла турмалина, относящегося к данной сингонии, представляет собой треугольник с закругленными углами. В тригональной сингонии кристаллизуются также кварц, корунд, гематит, кальцит и другие минералы. Общими формами для гексагональной и тригональной сингоний являются призма, пирамида и пинакоид.

5

КРИСТАЛЛЫ И СВЕТ

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ

При прохождении света через прозрачный минерал либо сквозь прозрачное аморфное тело скорость его несколько уменьшается. Отношение скоростей света в воздухе и в кристалле называется абсолютным показателем преломления; этот показатель всегда больше единицы. Чем меньше скорость света в кристалле, тем больше показатель преломления и соответственно больше перегиб светового луча при вхождении в прозрачную среду. Это явление легко представить себе, прибегнув к простейшему опыту. Если частично погрузить в воду какой-либо прямой стержень, на границе воздуха и воды можно наблюдать «изгиб» или «перелом» этого предмета.

Согласно закону преломления света между углом падения i и углом преломления r существует определенная зависимость (рис. 29). Из закона отражения света известно, что угол падения i равен углу отражения i' , а также, что луч падающий, луч отраженный и нормаль к поверхности в точке падения лежат в одной плоскости.

По закону Снелла, если n — показатель преломления, i и r — соответственно углы падения и преломления, то $n = \sin i / \sin r$. Если падающий луч направлен нормально к поверхности прозрачной среды (в описанном выше опыте — воды), на ее границе он не испытает преломления. Если, находясь под водой, посмотреть вверх, то можно разглядеть что-либо над ее поверхностью только под углом, меньшим $48,5^\circ$ (от

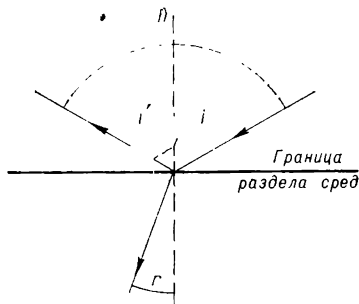


Рис. 29. Схема, иллюстрирующая закон отражения и преломления света.
Угол падения i равен углу отражения i' .

вертикали). Граница раздела двух сред — воды и воздуха — под бóльшим углом будет казаться темной, так как луч от нее отразится обратно в воду. Когда угол падения достигнет 90° , значение $\sin i$ станет равным 1, а $\sin r$ примет значение $1/n$. При этих условиях угол отражения будет предельным и луч света, падая к границе двух сред под углом, бóльшим предельного, полностью отразится от нее, оставшись в первой среде, т. е. произойдет полное внутреннее отражение.

Согласно закону Снелла, чем больше показатель преломления, тем меньше предельный угол отражения. С этим приходится считаться при огранке самоцветов, так как грани обработанных драгоценных камней представляют собой поверхности с полным внутренним отражением: луч света, входя в кристалл через одну из верхних граней, испытывает внутреннее отражение и в результате этого выходит из него через другую верхнюю грань.

В кристаллах низших и средних сингоний (т. е. всех, кроме кубической) падающий световой луч не только преломляется на границе прозрачной среды кристалла), но, входя в нее, раздваивается. Из од-

ного луча образуются два, каждый со своим показателем преломления и со своей скоростью распространения. Это явление называется двойным лучепреломлением или двупреломлением. Некоторые минералы обнаруживают особенно заметный эффект двупреломления. Если рассматривать кристалл самоцвета со срезанными гранями, то края задней грани будут нам казаться сдвоенными. Соответственно удваивается и любое включение в минерале, которое при этом «увеличивается в размерах». На рис. 30 показан кристалл исландского шпата (прозрачного кальцита), ставшего уже классическим примером двупреломляющего минерала.

Кристаллы с эффектом двупреломления являются оптически анизотропными. Во всех анизотропных кристаллах имеется, однако, по меньшей мере одно направление, называемое оптической осью, вдоль которого свет проходит, не испытывая двупреломления. В кристаллах средних сингоний (тригональной, тетрагональной и гексагональной) есть только одно такое направление, всегда параллельное главной (вертикальной) кристаллографической оси; эти кристаллы называются одноосными. Кристаллы низших сингоний (ромбической, триклинной и моноклинной) обладают двумя такими направлениями, не имеющими в данном случае определенной связи с кристаллографическими осями; эти кристаллы получили название двuosных. Схема двупреломления света в кристалле показана на рис. 31.

В анизотропных кристаллах каждый из двух преломленных лучей поляризуется в одной плоскости. В неполяризованном свете колебания происходят во всех плоскостях, перпендикулярно к направлению распространения луча (подобно спицам колеса по отношению к его оси). В поляризованном луче может существовать только одно направление колебаний. В каждом из двух преломленных лучей в анизо-

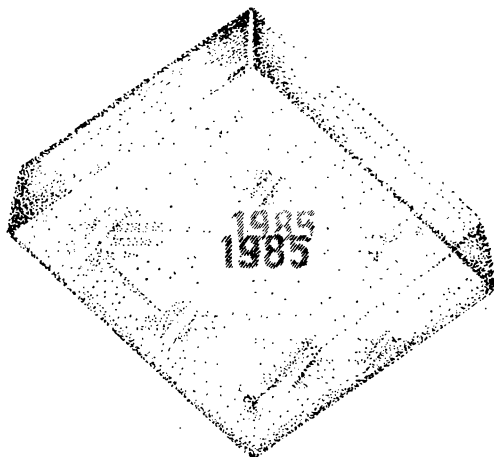


Рис. 30. Двупреломление в кристалле исландского шпата.

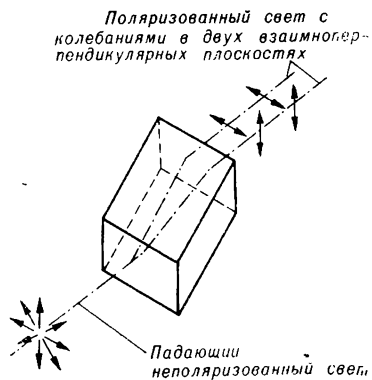


Рис. 31. Схема двупреломления и поляризации света в кристалле.

тропном кристалле направления поляризации взаимно перпендикулярны. Более подробно мы остановимся на этом свойстве в главе 6.

ЦВЕТ МИНЕРАЛОВ

Цвет минерала является одним из наиболее важных диагностических признаков. Если рассматривать минерал в потоке белого света, можно прийти к кажущемуся парадоксальным выводу, что «сам по себе» минерал бесцветен, а его окраска определяется особенностями этого светового потока. Как известно, белый свет представляет собой сложный спектр видимых лучей, имеющих красную, оранжевую, желтую, зеленую, голубую, синюю и фиолетовую окраску. Минерал поглощает (поглощает) отдельные участки спектра проходящего через него белого света (так называемое избирательное поглощение). Сочетание оставшихся непоглощенными участков спектра обуславливают цвет минерала, который мы и наблюдаем. В тех случаях, когда поглощения не происходит, минерал оказывается бесцветным. [Бесцветная окраска минерала — от белой до черной — обусловлена общим равномерным поглощением всего спектра видимого света; чем интенсивнее поглощение, тем темнее тона.]

При рассматривании некоторых минералов можно наблюдать разные цвета в одном и том же кристалле. Такой эффект называется плеохроизмом; он обусловлен явлением избирательной абсорбции света. У одних минералов, например у кордиерита, можно видеть три цвета (для этого следует поворачивать кристалл в нескольких направлениях). В других минералах, таких как турмалин, можно заметить два разных цвета в различных сечениях кристалла. Разумеется, плеохроируют только прозрачные минералы.

Цвет некоторых минералов связан с присутствием элементов-примесей. Существует ряд так называемых переходных элементов — с атомными номерами 22—29 в периодической системе (титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь). Присутствие одного (иногда двух) из них обуславливает избирательное поглощение волн белого света; соответственно лучи, оставшиеся непоглощенными, придают минералу ту или иную окраску.

Минералы, в которых красители являются случайными примесями, называются аллохроматическими. Те минералы, где красящие вещества входят в их химический состав, получили название идиохроматических.

Примерами аллохроматических минералов могут служить рубин (разновидность корунда) и изумруд (разновидность берилла). Примеры идиохроматических минералов — малахит и родохрозит; окраска малахита связана с присутствием в его составе меди, а окраска родохрозита — с присутствием марганца. [В отечественной литературе эта окраска также называется идиохроматической, а аллохроматической принято называть окраску, вызванную посторонними включениями (вростками) цветных минералов.]

Для многих минералов их цвет находится вне всякой связи с переходными элементами — хромофорами. Существует целый ряд причин приобретения такими минералами той или иной окраски; по крайней мере одна из причин связана со структурными дефектами. Дело в том, что внутренняя структура минерала бывает далеко не столь совершенной, как его внешняя форма (хотя и безукоризненная форма встречается не так уж часто!).

Один из видов нарушений электрического баланса структуры минерала обусловлен захватом электронов, другой — присутствием избыточных электронов или целых групп ионов в тех местах, где при

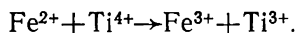
нормальных условиях их не следует ожидать. Наиболее характерным примером является ярко-фиолетовый цвет некоторых разновидностей флюорита. Здесь окраска возникает в результате формирования в его структуре так называемых F-центров (F — заглавная буква немецкого слова Farbe — цвет). По-видимому, в этом случае один из ионов фтора (F^{-1}) покидает свое место в структуре. Для того чтобы сохранить электронейтральность структуры, образовавшаяся вакансия должна быть заполнена соответствующим электроном. Речь идет об «электронной ловушке», избежать которую электрон может только в определенных условиях. Когда осуществляется абсорбция световых волн, электрон переходит на другой энергетический уровень и появляется цветное свечение (иногда это — флюоресценция).

В структуре раухтопаза (дымчатого кварца) имеются отдельные центры захвата (F-центры), где ионами алюминия замещаются ионы кремния (в данном случае алюминий можно считать примесью, так как он не входит в состав кварца). Электронейтральность структуры обеспечивается присутствием ионов натрия или водорода. Если кристалл, содержащий эти примеси, подвергнуть рентгеновскому или гамма-облучению, у ионов кислорода будет выбита пара электронов; таким образом и появится пустой промежуток в кристаллической решетке — центр окраски. В результате происходит поглощение световых волн и минерал приобретает соответствующий цвет.

Аметист (разновидность кварца, содержащая примесь железа) окрашивается в фиолетовый цвет под воздействием рентгеновского излучения. При последующем нагревании к кристаллу возвращается его изначальная (желтая либо зеленая) окраска. [Аметист — это природная разновидность кварца с естественной фиолетовой окраской. Автор, видимо,

говорит здесь об искусственно вызываемых цветах кварца.]

Все рассмотренные случаи цвета минералов связаны с концепцией, получившей название теории кристаллического поля, детали которой, естественно, выходят за пределы данной книги. Согласно молекулярно-орбитальной теории в кристаллических структурах с ионной связью электроны расположены на орбитах вокруг двух (или более) положительно заряженных ионов. В разновидности корунда, окрашенной в синий цвет (сапфир), первоначально мы имеем ионы двухвалентного железа (Fe^{2+}) и четырехвалентного титана (Ti^{4+}), а в результате обмена электронами оба иона становятся трехвалентными:



Обратная реакция также может иметь место. Обмен электронами влечет за собой определенную затрату энергии, вследствие чего становится возможной абсорбция света. Полагают, что многие синие и черные минералы обязаны своей окраской именно этому процессу. В структуре ярко-синего минерала лазурита группа ионов серы удерживается воедино под влиянием внешних электронов, окружающих эту группу. Эти электроны могут перейти в возбужденное состояние, поглощая световую энергию, что скажется на окраске минерала. В графите, имеющем черный цвет, электроны движутся по всему кристаллу в направлении групп атомов углерода, расположенных в виде лежащих друг на друге «листов». [«Листы» атомов углерода представлены плоскими гексагональными сетками.] При этом происходит настолько сильное светопоглощение, что никакая окраска, кроме темной, не сохраняется.

До сих пор мы останавливались на примерах, когда окраска минералов обусловлена переходами электронов в пределах ионов либо дефектами струк-

туры ионных или атомных групп. Когда электроны, определяющие изменения окраски минерала, распространяются по всему кристаллу, а не приурочены к какой-то незначительной части кристаллической структуры, нам приходится иметь дело с концепцией, известной под названием зонной теории.

В первую очередь это относится к таким рудным минералам, как серебро, золото и самородная медь. С этим явлением связана также окраска веществ, получивших название полупроводников (обладающих электропроводимостью только при определенных условиях). В металлах, например в серебре, внешние электроны объединяются в «электронный газ», который движется от атома к атому по всей структуре вещества. Это приводит к образованию больших концентраций электронов, что обуславливает эффективное отражение световых волн; благодаря этому рудные минералы имеют характерный металлический блеск. Рассматриваемому явлению соответствует также частичная абсорбция света, однако большая часть его немедленно отражается. Разница в окраске таких минералов объясняется незначительными различиями в характере отражения и поглощения света. Например, желтые металлы (золото) характеризуются относительно большим поглощением вблизи ультрафиолетовой части спектра.

Для полупроводниковых минералов характерна гамма серых тонов — от черного или темно-серого (галенит) до белого или бесцветного (алмаз). Среди этих монотонно окрашенных (ахроматических) минералов выделяются своим ярким цветом только два — оранжево-красная киноварь и желтый гриноцит. В их кристаллической структуре имеется так называемая запрещенная зона, или энергетическая щель, где присутствие электронов исключено.

Поглощаться могут только те световые волны, энергия которых превышает энергетический уровень

«щели». Если энергетический уровень «щели» незначителен, возможно поглощение всех волн видимого спектра. В этом случае минерал окажется серым или черным. Это — полупроводниковые минералы с узкой запрещенной зоной. Когда энергетический уровень «щели» более высок, поглощение возможно только в ультрафиолетовой области спектра. В результате мы имеем бесцветные полупроводниковые минералы с широкой запрещенной зоной (примером может служить алмаз). Если энергетический уровень «щели» таков, что поглощается только область синего и фиолетового спектра, минерал окрашивается в красный (до оранжевого) и желтый цвета (дополнительные по отношению к фиолетовому и синему). Ярко-красный минерал прустит поглощает все компоненты видимого спектра, кроме красного.

В тех случаях, когда полупроводниковый минерал характеризуется широкой энергетической «щелью» (например, алмаз), абсорбция света в видимой части спектра практически невозможна. Точно так же отсутствует и электропроводимость, если в минерале совершенно нет каких-либо примесей. При наличии примеси (как, например, азота в алмазе) внешние электроны могут расположиться таким образом, что при замещении атомов углерода атомами азота остается один избыточный электрон. Такие электроны, получившие название доноров, обычно образуют небольшие группы. В результате может произойти избирательное поглощение определенных волн спектра.

Если абсорбция охватывает область синего или фиолетового света, кристалл окрашивается в дополнительный желтый цвет; именно с этим процессом связана желтая окраска некоторых алмазов. Присутствие больших количеств азота обуславливает темно-зеленый цвет кристаллов. Когда атомов азота настолько много, что они формируют крупные скопле-

ния, действие доноров прекращается и минерал оказывается бесцветным. В атоме бора, примесь которого сообщает кристаллам алмаза голубой оттенок, на один электрон меньше, чем в атоме углерода, и поэтому с каждым атомом бора связано появление вакансии.

До сих пор мы рассматривали те случаи, когда кристаллы окрашены в тот или иной определенный цвет. Вместе с тем во многих минералах наблюдается радужная игра цветов, подобная той, которая возникает в опале, хотя он и не является кристаллическим веществом. Такое явление получило название опалесценции. В опале этот эффект может быть связан с дифракцией, обусловленной скоплениями сферолитов кристобалита (высокотемпературной модификации кремнезема). Дифракция наблюдается при условии, что сферолиты расположены периодически, с относительно равными промежутками. Размер их также имеет значение; например, для возникновения голубовато-зеленых цветов опалесценции размер сферолитов должен быть около 0,5 мкм.

Окраска некоторых минералов связана с явлениями интерференции света. Цвета интерференции можно наблюдать в радужных пленках нефти на поверхности воды. Возникновение их обусловлено разностью в скорости распространения двух составляющих луча белого света в пределах тонкой пленки. Одна часть светового луча отражается от верхней поверхности пленки, в то время как другая проникает внутрь пленки и отражается от ее нижней поверхности. Вторая составляющая луча отстает от первой, так как она прошла больший путь. Кроме того, слагающие ее волны частично совпадают, а частично не совпадают по фазе с волнами первой составляющей. Поэтому происходит либо взаимное усиление световых волн (максимальное просветление), либо их затухание (максимальное затемнение). Чередующиеся светлые

(цветовые) и темные полосы сменяют друг друга в определенной последовательности.

В минералах эффект интерференции проявляется вдоль трещин и плоскостей спайности, внутри или на поверхности кристаллов. Интерференция наблюдается также в минералах, обнаруживающих так называемую побежалость. Примером может служить «павлинья руда» — минералы меди с радужной пленкой на поверхности. [С понятием «побежалость» связывается явление, когда минерал (как правило, непрозрачный) кроме основной имеет иную окраску в тонком поверхностном слое, обусловленную интерференцией света. Побежалость может быть одноцветной (у ковеллина — синяя, у бурого железняка — золотистая) либо пестрой, радужной (фиолетово-синяя у борнита, малиново-желто-сине-зеленая у халькопирита).]

Многие драгоценные разновидности минералов могут изменять свой цвет в результате тех или иных воздействий. При нагревании красновато-бурые кристаллы циркона становятся бесцветными, голубыми или золотисто-желтыми; аквамарин меняет зеленый цвет на голубой, а дымчатый кварц обесцвечивается. При изменении степени окисления примесей в результате нагревания либо удаления кристаллизационной воды также может измениться окраска, например, в тигровом глазе (прозрачной переливчатой разновидности кварца) — от коричневатого-золотистого-желтого до красной. Центры окраски могут возникать в кристаллах под влиянием гамма-излучения и разрушаться вследствие нагрева. Облучение алмазов, стимулирующее центры окраски, приводит к появлению необычного цвета — черного или зеленого. При нагревании кристаллы алмаза становятся желтыми.

Когда отражение света зависит от той или иной особенности внутренней структуры кристалла, на поверхности прозрачного минерала появляется мягкий, часто радужный блеск. Он связан с так называемыми

центрами рассеяния и может быть обусловлен твердыми включениями в кристалле либо наличием тесно сросшихся двойников. Если центры рассеяния достаточно велики, изменения цвета минерала не произойдет, но когда они малы, возникнет соответствующая окраска. Один из авантюринов, являющийся разновидностью кварца, своим зеленым цветом и мерцающим отливом обязан включениям фуксита (богатой хромом ярко-зеленой разновидности мусковита). В другом авантюрине — разновидности полевого шпата (синоним — солнечный камень) — наблюдается красновато-коричневый оттенок с огненно-золотистыми искорками благодаря включениям мельчайших чешуек железной слюдки. Иногда этот эффект называют авантюриценцией.

Известна также адуляресценция (иризация) — нежно-синеватый, мерцающий отлив, возникающий в адуляре или лунном камне (разновидности калиево-натриевого полевого шпата). Полагают, что такой эффект обусловлен послойным чередованием ортоклаза и альбита в тесно сросшихся двойниках. Вполне вероятна и некоторая доля участия в этом эффекте рассеяния света на мелких включениях. В искусственной шпинели рассеяние света (с помощью твердых частичек) достигается также в голубой и синей частях спектра. Характер окраски и радужного блеска в шпинели настолько похожи на наблюдаемые в лунном камне, что идентичность природы этого явления в обоих случаях очевидна.

Эффект кошачьего глаза в зеленоватой, переливающейся радужными цветами разновидности хризоберилла связан с отражением света от сгруппированных в параллельные полосы мельчайших включений (микроволокон, иголочек, трубочек). Менее отчетливо это явление наблюдается в другом кошачьем глазе — разновидности халцедона.

Игольчатые включения рутила, ориентированные под прямым углом к оси кристаллов, в таких минералах, как корунд и розовый кварц, обуславливают так называемый звездный эффект, или астеризм (появление лучистой или звездообразной фигуры в отраженном свете).

Разноцветные блики и высверки в искусственно ограненных алмазах (бриллиантах), наблюдаемые в потоке белого света, связаны с дисперсией. Это явление обусловлено разложением белого луча на компоненты цветового спектра при прохождении его через призму (в данном случае ее роль играют элементы огранки бриллианта). Некоторые цветные прозрачные минералы также обладают высокой дисперсией, но в этих случаях эффект снижается окраской минералов.

6

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ

Что происходит, когда открывают новый минерал (кстати, не такой уж редкий случай, так как ежегодно регистрируют около 50 новых минеральных видов)? Вначале проводятся первые полевые испытания: определяют цвет минерала, его блеск, кристаллографические особенности, спайность и приблизительно плотность. В поле следует обратить особое внимание на все детали, связанные с местонахождением нового минерала, выяснить, в какой минеральной ассоциации он обнаружен, к какой геологической формации приурочен и т. д. Вместе с тем даже очень опытный коллекционер подчас обнаруживает несколько «новинок» одновременно. По большей части эти «новинки» оказываются хорошо известными минеральными видами, названия и описания которых временно улетучились из памяти этого любителя.

Разумеется, все необходимые полевые записи должны быть сделаны немедленно (см. главу 2), а если есть возможность сфотографировать минералы на месте их залегания, то тем лучше. Весьма полезно иметь представление о химическом составе минералов, так как на месторождении, где, например, фигурирует в основном один химический элемент, присутствуют минералы, в составе которых этот элемент превалирует.

Сразу же по возвращении из похода наступает второй этап исследований — работа с литературными источниками (см. главу 1). Рентгеноструктурный анализ, хотя и выходит за пределы возможностей мине-

ралога-любителя, является очень важным методом, используя который можно получить информацию об элементном составе минерала и о пространственном расположении его атомов. Однако при интерпретации результатов этого анализа надо иметь некоторый опыт, поскольку рентгенограммы для целого ряда минералов могут оказаться достаточно сходными. При определении минерала используются различные виды химических анализов. Не исключено, что обнаруженный минерал (или очень сходный с ним по составу) был ранее получен искусственным путем в лаборатории; это должно быть упомянуто в специальной литературе. Если при ознакомлении с опубликованными материалами вы не обнаружите данных химического или рентгеноструктурного анализа, соответствующих вашей находке, можете считать, что открыт новый минерал. Если это так, вам остается дать его подробное описание.

Вначале надо сделать химический анализ обнаруженного минерала и подсчитать количественные соотношения входящих в него различных элементов или соединений. На этом этапе уже можно вывести его предварительную формулу; окончательная выводится только после получения точного состава минерала. Для установления сингонии, класса и группы минерала придется вновь прибегнуть к помощи рентгеноструктурного анализа. Эти исследования весьма трудоемки, поэтому при некоторых расчетах следует использовать счетные машины. [Определение сингонии начинается с изучения огранки кристалла, и нередко этого бывает вполне достаточно, чтобы установить сингонию.]

Оптические свойства (цвет, прозрачность, показатель преломления, двупреломление и т. д.) могут быть измерены только для достаточно крупного образца минерала (либо для его искусственного дубликата). Если имеется несколько образцов одного и

того же минерала, при сопоставлении полученных по ним данных надо обратить внимание на все расхождения. Этому правилу следует придерживаться и при проведении других анализов. Необходимо определить плотность испытуемого образца, что связано с некоторыми трудностями, если он представлен мелкими кристаллами. Экспериментальное значение плотности должно соответствовать расчетному значению, полученному по показателям преломления минерала.

Когда уже известны основные свойства и состав минерала, приступают к характеристике его местонахождения. Надо детально описать все сопутствующие минералы, а также зафиксировать их положение относительно вновь открытого вида. Кроме того, должны быть установлены тип и состав вмещающих пород. Следующий этап — наименование «новичка». Это — право основного автора, составившего описание минерала. Его название должно ясно и четко отличаться, как на слух, так и в транскрипции, от названий любых других минералов. Согласно существующему положению, название обязательно должно оканчиваться на «-ит».

Основные данные о минерале и его предполагаемое название представляются на рассмотрение Комиссии по новым минералам и их названиям Международной минералогической ассоциации (International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names). Эта организация проверяет полученную информацию и обсуждает вопрос о правомерности выделения нового минерального вида, что решается голосованием. [В СССР эти сведения подаются вначале в Комиссию по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества АН СССР (199026. Ленинград, Васильевский остров, 21-я линия, д. 2). Эта комиссия создана в 1956 г., именно она послужила прототипом для Международной комиссии, созданной в 1958 г.]

Не исключена возможность, что в результате исследования подлинного статуса «новичка» из номенклатуры окажется исключенным какой-то другой минеральный вид, ранее общепризнанный. Как только Международная минералогическая ассоциация утвердит статус нового минерала, основной его исследователь получает право выпустить в свет стандартное описание этого минерала, публикуемое в соответствующих минералогических журналах и справочниках.

Разумеется, мы привели упрощенное описание всей процедуры, в результате которой минерал оказывается занесенным в официальный список. Многие испытания минералов здесь даже не упомянуты, так как для любителя они просто недоступны. Однако многие полевые наблюдения может выполнить сам коллекционер, а простые физические и оптические испытания вполне можно провести в домашних условиях, запасаясь временем и терпением. Каждому любителю по силам охарактеризовать местонахождение минерала непосредственно в полевых условиях, с записью всех необходимых данных. Во многих случаях информация, собранная коллекционерами, может быть использована штатными специалистами музеев и других научных учреждений, что, естественно, облегчает диагностику каменного материала.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

Начиная с взятия самого первого образца необходимо составлять стандартное описание по определенной форме и в дальнейшем придерживаться этого порядка. Не допускаются беглые наброски в полевых дневниках; упустив ту или иную деталь в каждом конкретном случае, мы рискуем дать неполные сведения о предмете исследования. Учтите, что незафиксированные детали быстро забываются и восстановить

их на расстоянии вряд ли удастся. Поэтому записи следует вести всегда в определенной последовательности. С каких свойств начинать и в каком порядке давать описание, целиком зависит от вас, но система ведения полевых записей должна быть разработана раз и навсегда. Это — единственно верный путь. Ниже приводится приблизительная схема такого описания.

1. Местонахождение минерала, включая название местности, ближайшего города или деревни; название месторождения (рудника). Если возможно, дать выкопировку из соответствующих топокарт.

2. Характеристика места взятия образца. Если это рудник, то действующий или заброшенный? Открытые карьеры или подземные горные выработки? Чем представлены вмещающие породы, наблюдаются ли признаки их изменения? Какие еще минералы обнаружены? В какой связи с ними находится интересующий вас минерал: в тесной ассоциации, в контакте либо перемежается с другими минералами? Встречен ли он в виде друзы, заполняющей пустоту в породе, или в качестве наростов и корочек на других минералах? Может быть, он представлен рыхлым материалом? Где конкретно и на какой высоте по отношению к окружающей местности встречен минерал? (Он мог быть найден, например, у подножия карьера или на ложе действующего либо пересохшего водотока.)

Прежде чем вы отколете образец, сфотографируйте его, если это возможно, на месте залегания. Тщательно осмотрите образец. Какого он цвета? До того как решать этот вопрос, смойте с него осторожно грязь (но только в том случае, если вы этим не повредите хрупких кристаллов!). Если ваш минерал прозрачный или полупрозрачный, понаблюдайте, не изменяется ли его окраска в различных направлениях. Проверьте, какой цвет черты у минерала (для этого проведите им по матовой фарфоровой пластинке). Старайтесь не причинить при этом вред верши-

нам или граням кристаллов. Многие минералы дают бесцветную или белую черту, но все же цвет черты — ценный дополнительный диагностический признак. Для ряда минералов цвет черты не совпадает с цветом самого минерала. Например, черный минерал может оказаться темно-красным в черте или в порошке.

Плотность минерала в поле можно определить весьма приближенно, «прикинув» для этого вес образца на руке и сопоставив его с объемом. Рудные минералы при этом всегда кажутся тяжелыми.

Следует отмечать любые блики на поверхности образца; это тоже диагностический признак, называемый блеском минерала. С этим свойством лучше всего познакомиться не в полевых условиях. Радужные цвета на блестящей поверхности минерала могут послужить индикатором зарождения плоскости спайности и дать представление о внутренней структуре кристалла.

Если найденный минерал имеет четкие грани, надо тут же детально описать их; вы не знаете, насколько хрупким он может оказаться. Имейте в виду, что из-за плохой упаковки на пути к дому разрушилось много прекрасных кристаллов! Если необходимо определить твердость минерала, возьмите в поле набор стержней твердости [стандартный набор заостренных кусочков минералов для определения твердости исследуемых образцов по шкале Мооса]. Впрочем, это можно проделать и в стационарных условиях.

По возвращении на базу образец прежде всего надо как следует почистить (методы чистки и сохранения минералов описаны в главе 2). В результате выявится множество особенностей, ранее скрытых под слоем грязи. Станет отчетливо видна форма кристаллов, можно будет различить двойники (если они имеются), проявятся прозрачность минерала, его спайность и т. д. Приступая к диагностике минерала, не

так-то легко решить, с чего начать испытания, ибо до некоторой степени это зависит и от состояния, в котором находится образец.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Плотность вещества численно равна отношению его веса к весу того же объема дистиллированной воды при 4°C . В первую очередь с помощью аналитических весов надо взвесить испытуемый образец обычным способом. Затем его полностью погружают в дистиллированную воду, поместив предварительно в проволочную сетку, подвешенную на коромысле весов и соответствующим образом уравновешенную. Образовавшиеся на поверхности образца пузырьки воздуха следует осторожно снять щеточкой. Поверхностное натяжение воды устраняется добавлением в нее нескольких капель толуола ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$). Заметим, что вода имеет довольно высокое поверхностное натяжение, достаточное для того, чтобы воспрепятствовать правильному взвешиванию и привести к неверным результатам, в то время как нам нужна максимальная точность. Вообще вместо воды можно использовать толуол, но не забудьте, что его плотность равна не $1,00 \text{ г/см}^3$, как у дистиллированной воды, а $0,88 \text{ г/см}^3$.

Во время этих исследований вы не гарантированы от целого ряда недоразумений, начиная с того что минерал может вывалиться из сетки (кстати, описываемый здесь способ нельзя применять как для очень маленьких, так и для очень больших образцов) и кончая простыми ошибками в расчетах. Определения плотности предпочтительно проводить на мономинеральных образцах (а не на агрегатах), иными словами, на возможно более однородном материале. Опыты с пористыми минералами, хорошо впитывающими жидкость, также дадут искаженные результаты.

Образцы минералов, плотность которых по тем или иным причинам не может быть установлена таким методом (получившим название гидростатического), погружают последовательно в стандартный набор жидкостей с известной плотностью. При этом образец либо тонет в жидкости, либо всплывает, либо остается во взвешенном состоянии. В последнем случае разница между плотностью жидкости и образца является минимальной и нам достаточно знать плотность данной жидкости.

Плотность минерала измеряется в граммах на кубический сантиметр (табл. 4).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МИНЕРАЛОВ

Твердость минералов следует испытывать со всей возможной осторожностью, так как их легко при этом повредить. Стандартная шкала твердости была предложена Фридрихом Моосом в 1811 г. Она представляет собой список из 10 минералов под номерами от 1 до 10, расположенных в порядке возрастания твердости. Алмаз, как наиболее твердое из природных веществ, имеет номер 10.

Шкала твердости Мооса

- | | |
|------------|-----------------|
| 1. Тальк | 6. Полевой шпат |
| 2. Гипс | 7. Кварц |
| 3. Кальцит | 8. Топаз |
| 4. Флюорит | 9. Корунд |
| 5. Апатит | 10. Алмаз |

Следует отметить, что разница в твердости между каждыми двумя соседними эталонами не одинакова. [Обозначение твердости по шкале Мооса носит условный характер: например, хотя твердость алмаза равна 10, кварца — 7, а талька — 1, фактически кварц тверже талька в 3500 раз, а алмаз тверже кварца в 1150 раз.]

Таблица 4

Плотность минералов

Минерал	Плотность, г/см ³	Минерал	Плотность, г/см ³
Улексит	1,9	Эпидот	3,4—3,6
Опал	2,1	Алмаз	3,5
Сера	2,0	Топаз	3,5
Стильбит	2,1	Шпинель	3,6
Графит	2,1	Гроссуляр	3,6
Галит	2,1	Малахит	3,6—4,0
Натролит	2,2	Хризоберилл	3,7
Содалит	2,2	Сидерит	3,8—3,9
Гипс	2,3	Сфалерит	3,9—4,1
Апофиллит	2,3	Циркон	3,9—4,7
Вавеллит	2,4	Альмандин	3,9—4,3
Серпентин	2,5—2,6	Целестин	3,9
Микроклин	2,5—2,6	Корунд	3,9—4,0
Ортоклаз	2,5—2,6	Смитсонит	4,0—4,5
Скаполит	2,7	Рутил	4,2
Бирюза	2,6—2,9	Барит	4,5
Альбит	2,6	Пиrolюзит	4,4—5,0
Плагноклаз	2,6—2,7	Антимонит	4,6
Кварц	2,6	Марказит	4,8
Олигоклаз	2,6	Пирит	5,0
Берилл	2,6—2,9	Борнит	5,0
Вивианит	2,6—2,7	Гематит	5,3
Кальцит	2,7	Бурнонит	5,8
Пренит	2,8—2,9	Шеелит	5,9—6,1
Тремолит	2,9—3,1	Арсенопирит	6,0
Нефрит	3,0	Куприт	6,1
Турмалин	3,0—3,3	Англезит	6,3
Роговая обманка	3,0—3,4	Церуссит	6,5
Апатит	3,1—3,2	Касситерит	6,8—7,1
Андалузит	3,1—3,2	Пироморфит	7,0
Актинолит	3,1—3,3	Галенит	7,5
Флюорит	3,1	Висмут самород- ный	9,7
Аксинит	3,2—3,3		
Оливин	3,2—4,3	Серебро	10,0—11,0
Торбернит	3,2	Платина	14,0—19,0
Жадит	3,3	Золото	15,0—19,0
Диопсид	3,2—3,3		

Каждый последующий минерал оставляет царапину на всех предыдущих (имеющих меньшие номера по шкале Мооса). Кварц (7) играет особую роль: в воздухе содержится много силикатной пыли, и вещества с относительно более низкой твердостью с течением времени подвергаются абразивному воздействию этой пыли (что надо иметь в виду при хранении драгоценных камней). Промежуточными членами шкалы могут служить ноготь (твердость около 2,5), лезвие перочинного ножа (5,5 [с некоторыми отклонениями в ту и другую сторону в зависимости от качества стали]), а также другие предметы обихода.

Твердость некоторых минералов изменяется в зависимости от направления. Например, у кианита вдоль оси кристалла твердость равна 4, а поперек—7. В большинстве случаев окислы и силикаты тверже, чем сульфаты и карбонаты, галоиды и фосфаты. Обычно твердость минерала определяется путем нанесения царапины на испытуемом образце каким-либо предметом с известной твердостью, насаженным на деревянную рукоятку (так называемые карандаши твердости); при этом желательно пользоваться микроскопом или лупой. Пыль, образовавшаяся в результате процарапывания минерала, должна быть сдута с его поверхности, а борозда, обычно длиной всего несколько миллиметров, тщательно изучена. Некоторые минералы не могут процарапать исследуемый образец и оставляют на нем лишь незначительную отметину.

Твердость некоторых минералов по шкале Мооса приведена в табл. 5.

При определении твердости всегда испытывайте свежую поверхность минерала, так как поверхности, долгое время бывшие открытыми, могли претерпеть какие-либо изменения. Часто для этого можно использовать плоскости спайности или сделать неболь-

Таблица 5

Твердость минералов по шкале Мооса

Минералы	Твердость
Тальк	1,0
Графит, вивианит	1,0—2,0
Торбернит, галенит, пироморфит, галит	1,5—2,5
Медь (самородная), золото, серебро, халькозин, англезит, бурнонит, биотит, мусковит	2,0—2,5
Борнит, церуссит	3,0
Кальцит, целестин	3,0—3,5
Тетраэдрит, халькопирит, сфалерит, родохрозит, доломит, малахит, куприт, миметезит, вавеллит, пироморфит, варисцит	3,0—4,0
Платина	4,0—4,5
Бирюза, гемиморфит, шеелит, вивианит, апатит, диоптаз, анальцим	4,5—5,0
Гётит, лазурит, монацим	5,0—5,5
Уранинит, актинолит, тремолит, датолит, опал	5,5—6,0
Ортоклаз, содалит, диопсид, родонит, оливин	6,0
Пирит, марказит, рутил	6,0—6,5
Касситерит, циркон, гематит, жадеит, нефрит, андрадит, пренит, аксинит	6,5—7,0
Кварц, эпидот, клиноцоизит	7,0
Пироп, спессартин, турмалин, альмандин	7,0—7,5
Фенакит, берилл	7,5—8,0
Шпинель, топаз, хризоберилл	8,0—8,5
Корунд	9,0
Алмаз	10,0

шую шлифовку. Некоторые минералы легко процарапать, но они почти не поддаются излому или дроблению. Это свойство называют прочностью минералов; ее значения варьируют в широких пределах. Хрупкий минерал легко изломать или растереть в порошок, а ковкий — раскатать на тонкие листы или вытянуть в проволоку (лучшим примером может служить золото). Легко режущиеся, мягкие минералы

можно стругать ножом (как при очинке карандаша). Эластичные минералы легко поддаются изгибу, но затем вновь принимают свою форму. Гибкие минералы также изгибаются без нарушения сплошности, но их первоначальная форма уже не восстанавливается.

Примером легко режущихся минералов является гипс, хрупких — кальцит, гибких — селенит.

Если в результате одного из этих испытаний ваш образец разломился, вам остается только изучить природу образовавшегося излома. Наиболее распространенным видом излома является раковистый (со слабо искривленной поверхностью, напоминающей створки раковины). Самый характерный рисунок раковистого излома имеет стекло, в минералах он выражен менее отчетливо. Занозистый или крючковатый излом обладает острыми углами; встречается также волокнистый излом (это название говорит само за себя).

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Определить скорость света в большом чистом кристалле нелегко, но вполне возможно измерить предельный угол преломления светового луча с помощью инструмента, который называется рефрактометром. Образцы минералов часто бывают небольших размеров, и поэтому их можно рассматривать в специальной жидкости, показатель преломления которой известен. Если, например, кусок льда погрузить в воду, то его будет довольно трудно разглядеть, поскольку между показателями преломления воды и льда нет существенной разницы. Такой метод используют, чтобы установить показатель преломления различных минералов, которые с этой целью погружают в соответствующие жидкости. Поэтому в каждой лаборато-

рии должен иметься большой набор эталонных жидкостей, получивших название иммерсионных.

Определение показателей преломления в кристаллах и разделение их на изотропные и анизотропные можно проводить с помощью специального микроскопа, называемого поляризационным. Для измерений, связанных с определением показателя преломления, каждый микроскоп должен быть снабжен тонко градуированным лимбом либо другими приспособлениями для выполнения измерений (впрочем, они имеются у всех поляризационных микроскопов). Если минерал погружен в иммерсионную жидкость, при подъеме тубуса микроскопа мы сможем увидеть световую полосу, перемещающуюся в сторону среды (минерала либо жидкости) с относительно большим показателем преломления. При опускании тубуса световая полоска переместится на среду с меньшим показателем преломления. Этот метод, особенно удобный, когда мы имеем дело с микроскопическими кристаллами, получил название «полости Бекке».

Если надо измерить показатель преломления ограниченного драгоценного камня либо прозрачного кристалла, это делают в такой последовательности: вначале фокусируют микроскоп на кристалл, выполняют измерение у верхней поверхности кристалла, а затем — на предметном стекле, на котором находится образец. Царапины на поверхности образца и на стекле помогут провести точную фокусировку. После этого фиксируются измерения у основания кристалла. Первое показание (от верхней поверхности кристалла до предметного стекла) будет соответствовать кажущейся глубине кристалла, которая из-за рефракции меньше истинной глубины, отвечающей второму показанию (до основания кристалла). Отношение истинной глубины к кажущейся и даст искомое значение показателя преломления.

Для создания поляризованного света между предметным столиком микроскопа и источником света вмонтирован поляризатор [нижняя призма Николя, или просто николь]. Поляризатор изменяет проходящий свет таким образом, что его поперечные колебания распространяются только в одном направлении. Между объективом и окуляром (несколько ниже его) в тубус вмонтирован анализатор [верхняя призма Николя], пропускающий свет, колебания которого перпендикулярны к колебаниям света, прошедшим через поляризатор. Когда между поляризатором и анализатором на столике микроскопа находится изотропный кристалл, поляризованный луч пройдет через изотропную среду без изменений плоскости колебания и свет не попадет в окуляр, а следовательно, и в глаз наблюдателя, для которого поле зрения микроскопа останется темным. Все изотропные минералы и аморфные вещества (такие, как опал или стекло) остаются темными при любых вращениях столика микроскопа, вплоть до полного оборота на 360° .

ЦВЕТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Когда мы имеем дело с анизотропными минералами, световой луч распадается в них на два, каждый из которых плоско поляризован относительно другого. Если такой минерал поместить между двумя призмами Николя (или, как принято говорить, между двумя скрещенными николями), плоскости колебаний пропускаемого света в которых взаимно перпендикулярны, при повороте столика микроскопа на 360° будет наблюдаться четырехкратное погасание (затемнение) кристалла, а в промежуточных положениях кристалл останется освещенным.

Два луча, на которые разлагается падающий луч света при вхождении в кристалл, колеблются во

взаимно перпендикулярных плоскостях и распространяются с различными скоростями. Один луч, который имеет большую скорость и меньший показатель преломления, получил название быстрого луча, а другой, с обратными свойствами, — медленного луча. Если пластинку анизотропного минерала с параллельными гранями поместить между скрещенными николями, оба луча будут взаимодействовать друг с другом — интерферировать, что обусловлено разностью их скоростей (быстрый луч придет раньше медленного).

В случае использования сложного белого света явление интерференции в результате усиления одних волн и ослабления других обуславливает цветовой эффект — так называемую интерференционную окраску. В монохроматическом свете при этом происходит усиление либо ослабление света. Это связано с тем, что один луч отстает от другого либо на четное число полуволн (наблюдаем затемнение или погасание), либо на нечетное (просветление минерала). В белом свете вместо погасания мы обнаруживаем цвета, дополнительные по отношению к тем, которые выпадают из спектра. Такие цвета и называются интерференционными.

В соответствии с возрастанием разности хода волн наблюдаются интерференционные цвета различных порядков: первого, второго, третьего и т. д. Поскольку интерференционная окраска возникает вследствие двупреломления света в кристалле и зависит от толщины среза минерала и его ориентировки, изменение направления света будет вызывать последовательную смену цветов интерференции. При любом заданном положении минерала, чем больше его толщина и двупреломление, тем выше порядок интерференционной окраски. Если же рассматривать постоянный по толщине срез минерала (либо по плоскости спайности, либо перпендикулярно к ней),

мы получим единственно возможный и постоянный для этого минерала цвет интерференции.

Можно получать интерференционную окраску известных порядков, используя вспомогательные пластинки: гипсовую, слюдяную, кварцевую (кварцевый клин). Распространение быстрого луча либо направление колебаний волны с более низким показателем преломления параллельно длинной стороне любой из этих пластинок. Гипсовая пластинка («красная первого порядка») представляет собой выколотую по плоскостям спайности часть кристалла гипса такой толщины, при которой возникает постоянная красно-фиолетовая интерференционная окраска первого порядка. Слюдяная пластинка, или «пластинка четверть-волны», — это также скол по плоскостям спайности. Разность хода лучей в этой пластинке — $\frac{1}{4}$ длины волны (интерференционная окраска в скрещенных николях серая первого порядка). [Такая пластинка увеличивает или уменьшает разность хода лучей в исследуемом кристалле примерно на $\frac{1}{4}$ порядка и меняет интерференционную окраску кристалла на какой-либо из соседних с ней по шкале интерференционных цветов в сторону повышения или понижения.]

Кварцевый клин представляет собой удлиненную клиновидную пластинку, вырезанную из кристалла кварца, в которой направление колебания быстрого луча параллельно длинной стороне пластинки (клина), а медленного — перпендикулярно к ней. Когда клин вставляют в тубус микроскопа, постепенно передвигая от тонкого к утолщенному концу, соответственно возрастает разность хода быстрого и медленного лучей, благодаря чему можно наблюдать последовательную смену интерференционных цветов. Чем больше угол кварцевого клина, тем выше порядок цветов интерференции на каждом участке его длины. Если кварцевый клин используется при моно-

хроматическом свете, мы будем видеть чередование темных и светлых полос; при темных разность хода соответствует четному числу полуволн, при светлых — нечетному.

Кристаллы, в которых проходящий свет разлагается на два преломленных луча, могут быть подразделены на два типа. Кристаллы первого типа имеют только одно направление, вдоль которого свет не испытывает двупреломления; это направление называется оптической осью. Такие кристаллы (относящиеся к тетрагональной, гексагональной и тригональной сингониям) называются одноосными. Одноосные кристаллы обладают двумя показателями преломления, один из которых является постоянным, а другой — переменным. Первый показатель обозначают через ω , второй — через ε . Кристаллы, у которых есть две оптические оси, называются двуосными. Они имеют три возможных показателя преломления, но на рефрактометре можно одновременно наблюдать только два из них (не изменяя положения кристалла).

Все три показателя преломления являются переменными величинами. Минимальный показатель обозначается через α , максимальный — через γ ; с промежуточным значением — через β . Показатель β , за редкими исключениями, не является строго средним между α и γ , он бывает ближе то к одной, то к другой из этих величин.

Если какой-то срез кристалла (либо даже ограненный самоцвет) рассматривать в скрещенных николях, можно найти положение, при котором мы увидим интерференционную фигуру. Чтобы получить пучок сходящегося света, между изучаемым объектом и анализатором помещают 10-кратную линзу. При наблюдении вдоль оптической оси одноосного кристалла интерференционная фигура имеет форму темного креста с «нанизанными» на нем цветными

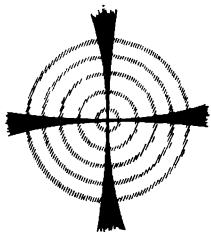


Рис. 32. Интерференционная фигура для среза одноосного кристалла, перпендикулярного к его оптической оси.

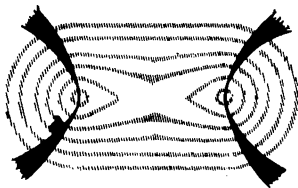


Рис. 33. Интерференционная фигура для среза двuosного кристалла (в момент максимального просветления).

(в белом свете) концентрическими кольцами (рис. 32). Ветви креста пересекаются в центре фигуры. Исключение составляет кварц, фигура которого имеет полый центр; она является уникальной и может служить диагностическим признаком. Эта фигура выражена очень четко, когда в скрещенных николях рассматриваются бусинки горного хрусталя. В таком случае нам не нужна линза для получения сходящегося пучка лучей, так как эти шарики сами играют роль линзы.

Интерференционная фигура двuosных кристаллов может несколько варьировать по форме при вращении столика, но в основном она представлена цветными полосами, которые образуют замкнутые овалы с наложенными на них по краям двумя темными «кисточками» (неправильными полукружиями), обращенными выпуклостями друг к другу (рис. 33). При некотором положении могут быть получены крестообразные очертания, однако эта фигура отличается от образованной одноосным кристаллом по форме расположения цветных полос — наблюдаются два характерных рисунка, напоминающих «глазки», с каждой стороны от черного креста.

ФЛЮОРЕСЦЕНЦИЯ И ФОСФОРЕСЦЕНЦИЯ

Для диагностики многих минералов можно использовать такие характерные явления, как флюоресценция и фосфоресценция. [Люминесценция — испускание света веществом под воздействием внешнего возбудителя (излучателя); включает в себя как флюоресценцию (короткое свечение), так и фосфоресценцию (длительное свечение, или послесвечение).]

Флюоресценция — это свечение вещества, возникающее непосредственно при облучении его коротковолновым источником энергии. В большинстве минералов, обладающих свойством флюоресценции, содержится примесь ионов, получивших название активаторов.

Возбудителем люминесценции могут служить рентгеновское излучение, поток электронов и более знакомое минералагам длинно- и коротковолновое ультрафиолетовое излучение.

В спектре электромагнитного излучения фиолетовый участок характеризуется меньшей длиной волн, чем красный. Фиолетовый свет обладает большей энергией и поэтому представляет собой более мощный источник излучения. За фиолетовым отрезком видимого спектра расположен участок невидимого ультрафиолетового излучения, а далее — рентгеновского излучения, обладающего еще большей энергией. Если некоторые минералы подвергнуть действию ультрафиолетового излучения, они будут испускать более длинные волны, но с меньшей энергией. Так, если на рубин воздействовать длинноволновым ультрафиолетовым излучением, он будет давать красное свечение, имеющее более низкую энергию. Поскольку, однако, рубин во всех случаях имеет красный цвет, более характерным примером могут служить некоторые почти бесцветные алмазы (бледно-желтого оттенка). Многие из них под влия-

нием ультрафиолетового излучения начинают светиться небесно-голубым светом. При воздействии коротковолнового ультрафиолетового излучения на шеелит, бесцветный при дневном свете, он флюоресцирует ярко-голубым светом.

Источником длинноволнового ультрафиолетового излучения служит обычная ртутная лампа высокого давления, помещенная в тубус с кварцевой оптикой и снабженная светофильтром, пропускающим не только видимые (фиолетовые) лучи, но и широкую полосу с максимальным излучением 365 нм [$365 \cdot 10^{-9}$ м]. Эта полоса излучения является стимулятором флюоресценции. Источником коротковолнового ультрафиолетового излучения служит ртутно-кварцевая лампа низкого давления со светофильтром, пропускающим излучение с максимумом 253,7 нм. Через этот фильтр проходит и часть видимого спектра. Здесь необходимо заметить, что глаза следует предохранять от воздействия всякого излучения, а особенно коротковолнового; в противном случае это может привести к серьезным последствиям, а уж временное раздражение будет обеспечено.

Прежде чем приступать к исследованию флюоресцирующих минералов, следует познакомиться с простым методом обнаружения хрома, например, в рубине (или когда мы предполагаем, что имеем дело с рубином). Образец освещают лучами, прошедшими через голубой фильтр (его роль может играть плоскостенный сосуд с раствором сульфата меди). Освещенный образец рассматривают через красный фильтр. Наблюдаемый красный цвет может принадлежать только данному минералу (красная компонента возбуждающего света не проходит через голубой светофильтр), красное свечение является результатом флюоресценции. Это явление впервые обнаружил Дж. Стокс в 1852 г.; экспери-

мент получил название метода скрещенных фильтров.

Фосфоресценция представляет собой выделение световой энергии веществом, сохраняющееся и после того, как облучение изучаемого объекта прекращается. Поэтому некоторые минералы продолжают испускать свет и после выключения ультрафиолетовой лампы; часть из них может светиться довольно длительное время. Например, виллемит после кратковременного облучения светится в течение нескольких минут. Это явление, так же как и другие виды люминесценции, лучше всего наблюдать в специально затемненной комнате. Так как при использовании ультрафиолетового излучения происходит отражение части голубого или фиолетового участка спектра, вполне возможно ошибиться, приняв отраженное излучение за истинную флюоресценцию, в особенности когда изучаются светлоокрашенные или бесцветные минералы. Для того чтобы устранить сомнения в том, что именно мы наблюдаем, между лампой и образцом надо поместить обычное стекло (если только используется коротковолновое излучение!) и проследить, сохраняется ли свечение. Если оно сохраняется, то наблюдаемый эффект связан только с отражением видимой части спектра, так как коротковолновое излучение сквозь стекло не проникает.

Интересно отметить, что коротковолновое облучение часто вызывает ответную реакцию у тех минералов, которые обычно инертны к длинноволновому. Некоторые минералы имеют одну окраску при длинноволновом ультрафиолетовом облучении и другую — при коротковолновом. Это можно проследить как на искусственных, так и на некоторых природных минералах, например на тугтупите [бериллиевом содалите], который имеет нежно-розовое свечение при длинноволновом облучении и темно-красное до ма-

линового — при коротковолновом. С этим минералом связано еще одно примечательное явление — он слегка обесцвечивается при дневном свете, но после ультрафиолетового облучения у него восстанавливается природный (розовый до красного) цвет. Получены интересные данные, что кальцит из Терлингуа (Техас, США), вспыхивает розовым сиянием в момент включения коротковолновой ультрафиолетовой лампы. Эта окраска сменяется голубой флюоресценцией, которая постепенно заменяет розовую. Такое голубое свечение может долго сохраняться после выключения лампы как фосфоресценция удивительной яркости.

Некоторые районы, по-видимому, изобилуют флюоресцирующими минералами. Одно из самых знаменитых в этом отношении мест — Франклин

Таблица 6

Флюоресценция минералов в ультрафиолетовом излучении

Цвета флюоресценции	Минералы	
	при длинноволновом облучении	при коротковолновом облучении
Беловатый	Колеманит, арагонит	Англезит, шеелит
Красный	Корунд (рубин), красная шпинель	Кальцит, красная шпинель
Оранжевый	Желтый корунд (из Шри Ланки), алмаз, содалит (отдельные пятна)	—
Желтый	Англезит, алмаз, апатит, циркон	Опал, циркон
Зеленовато-желтый	Отенит, адамин	Отенит, адамин
Зеленый	Адамин, отенит	Опал, некоторые халцедоны
Голубой	Алмаз, флюорит, вите-рит	Флюорит, алмаз, шеелит
Фиолетовый	Флюорит	Флюорит

Таблица 7
Цвета флюоресценции

Минерал	Цвета флюоресценции
Гипс, опал	Белый
Кальцит, диопсид (некоторые разновидности)	Розовый
Сфалерит	Оранжевый
Целестин, циркон	Голубовато-белый
Алмаз, церуссит	Бледно-голубой
Флюорит	Голубовато-фиолетовый

(штат Нью-Джерси, США), где совместно залегают кальцит, виллемит и много других минералов. Шары, вырезанные из породы, в которой заключены эти минералы, при дневном освещении имеют тускло-коричневую окраску, но в ультрафиолетовом излучении они буквально спят глаза, переливаясь всеми цветами радуги. Вращающиеся шары такого типа эффектно украшают витрины.

Даже если у какого-нибудь образца нет ожидаемой флюоресценции, это еще не значит, что ваше определение ошибочно. Дело в том, что образцы фосфоресцирующего минерала, как правило, обнаруживают это свойство, однако в редких случаях оно может и не проявиться. Флюоресценцию нечасто привлекают для определения минералов, но это ценный диагностический признак.

Характер люминесценции некоторых минералов отражен в табл. 6 и 7.

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

Химическая диагностика минералов — очень сложный процесс, но все же любители могут проводить некоторые химические анализы, ничем не рискуя

и с определенной надеждой на успех. Разумеется, чем крупнее образец, тем легче определить природу минерала. Но никому не захочется рисковать несколькими бесценными зернышками, добытыми с большим трудом.

Можно использовать как сухой анализ, так и анализ мокрым способом. Однако самая простая и удобная методика для коллекционера — это качественный анализ минералов с помощью паяльной трубки и газовой горелки. Геологоразведчики широко используют метод паяльной трубки, так как с его помощью можно легко определять некоторые из наиболее важных рудных минералов. Этот прибор представляет собой обычную металлическую трубку, вводимую в пламя, богатое углеродом. Исследователь дует в трубку, создавая тем самым поток воздуха над горелкой, что обеспечивает высокую температуру пламени. Трубка имеет удобную для работы форму, она обычно снабжена мундштуком и наконечником, который и вводят в пламя.

В лучшем случае источником пламени служит бунзеновская газовая горелка, но можно использовать и обычную парафиновую или стеариновую свечу. При работе с газовой горелкой следует ограничить приток воздуха, чтобы получить светящееся пламя. Освоить эту технику совсем не так легко, как кажется. Прежде всего, пламя паяльной трубки должно быть непрерывным, а для этого надо создать постоянную струю воздуха. Исследователь делает глубокий вдох и выдыхает воздух, надувая при этом щеки. Вдыхание через нос обеспечивает последующую бесперебойную подачу воздуха в трубку, а язык регулирует поступление его из легких, частично перекрывая гортань в случае необходимости.

Максимальная температура пламени паяльной трубки достигает 1500°C . Испытание минералов связано с определением степени их плавкости при этой

температуре. Небольшой кусочек минерала помещают в пламя трубки (наиболее горячий слой пламени находится на внешней стороне видимой его части); при этом наблюдают за характером и скоростью плавления минерала. Одни минералы быстро плавятся, другие оплавляются только по краям, в некоторых случаях оплавления вообще не происходит. Способность к плавлению в пламени паяльной трубки получила название плавкости минерала. Например, кварц является практически неплавким минералом, стибнит же легко плавится даже в пламени обычной свечи. [Плавкость не всегда является постоянной даже для одного и того же минерала из различных месторождений и изменяется в зависимости от примесей.]

Для работы с паяльной трубкой можно использовать восстановительное (бескислородное) пламя. Окислительное пламя получают путем «добавки» кислорода. [Восстановительное пламя дает внутренний конус ярко светящего пламени, где вещество накаляется в условиях дефицита кислорода. Наружный синеватый слой почти не светящего пламени, где происходит полное сгорание при избытке кислорода воздуха, обеспечивает окислительное пламя.] В какой-то части пламени паяльной трубки содержится окись углерода (CO), с помощью которой удаляется кислород из испытуемых веществ; при этом образуется углекислый газ (CO_2). Если кусочек окиси железа (Fe_2O_3) поместить в эту часть пламени, она восстановится до закиси железа (FeO). Для окисления вещества нужно, чтобы пламя горелки нагревало его, не касаясь. Таким путем пирит (FeS_2) может быть разложен на окись железа (Fe_2O_3) и сернистый ангидрид (SO_2).

Для извлечения металлов из руд и получения окислов используют брикеты древесного угля. Такой брикет предварительно раскаляют на пламени и по-

мещают порошок испытуемого минерала в небольшую лунку на поверхности угля. Для ускорения реакции в некоторых случаях используют флюс, смешивая его с порошком минерала в пропорции 2:1. Есть металлы, которые выделяются с помощью угля, тогда как применение только паяльной трубки не приводит к нужному результату.

Серебро образует блестящий белый шарик без каких-либо налетов на поверхности; для его извлечения пользуются восстановительной смесью. Поскольку сходные шарики образуют и другие металлы, их растворяют в азотной кислоте, куда затем добавляют соляную; в отличие от других металлов, при наличии серебра должен выпасть белый осадок — хлорид серебра (AgCl). Свинцовый шарик — легкоплавкий, серого цвета, блестящий в восстановительном пламени и иризирующий в окислительном. Свинец восстанавливается раскаленным добела древесным углем. Если шарик свинца растворить в азотной кислоте, добавив затем серную кислоту до полного его растворения, в осадок выпадет белый сульфат свинца.

Минерал, измельченный до порошка, помещают в открытую стеклянную трубку, которую в наклонном положении подогревают на газовой горелке. Вначале нагревают на пламени верхнюю часть трубки, а затем ту ее часть, которая расположена непосредственно над порошком минерала. При этом в трубке образуется поток воздуха и минерал может окислиться. Некоторые окислы переходят в газовое состояние и улетучиваются, в то время как другие конденсируются на стенках трубки в виде возгонов. Особенно легко таким способом определить серу: сернистый ангидрид улетучивается из трубки и этот газ узнают по характерному запаху. Если к верхнему концу трубки приложить влажную лакмусовую бумажку, она покраснеет.

Для выявления особенностей минерала при нагревании без доступа кислорода используют запаянную трубку. В нее помещают порошок минерала и нагревают в пламени газовой горелки. Минералы, содержащие кристаллизационную воду, особенно цеолиты, теряют ее, и пары воды конденсируются в верхней, холодной, части трубки. Сера или сульфиды с высоким содержанием серы приобретают красную окраску при нагревании и желтую — при охлаждении.

По окраске пламени горелки, куда помещают тот или иной испытуемый минерал, можно получить представление, какие элементы в минерале содержатся. Стронций и литий окрашивают пламя в темно-красный, малиновый оттенок. Медь придает ему изумрудно-зеленый цвет, если нагревают окись меди; в других случаях медь проявляется в виде синего пламени. Следует добавить, что любой минерал меди дает синее пламя, если он предварительно смочен раствором соляной кислоты. Натрий окрашивает пламя в ярко-желтый цвет. Даже очень незначительное присутствие этого элемента вполне достаточно для появления соответствующей окраски. Наличие бора придает пламени желтовато-зеленый оттенок (большинство борсодержащих минералов вначале надо разложить с помощью серной кислоты). Барий также характеризуется желтовато-зеленым оттенком пламени.

Лучший способ проводить испытания в пламени — поместить осколок минерала над газовой горелкой на колечке из платиновой проволоки. Поскольку наличие натрия маскирует присутствие других элементов, надо установить перед пламенем синее стекло; этот фильтр не пропустит желтый свет и даст возможность различить остальные цвета. Даже когда в составе минерала вообще отсутствует натрий, его следы (например, из пыли) могут окрасить пламя в желтый оттенок.

Некоторые элементы растворяются во флюсах, окрашивая их в различные цвета. Одним из наиболее распространенных флюсов является бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Приступая к опыту, накаливают порошок буры на колечке платиновой проволоки в пламени паяльной трубки до получения сплава — прозрачного шарика, или перла. Затем перл буры с добавленным к нему порошком исследуемого минерала вновь нагревают в окислительном пламени до полного расплавления минерала и получения соответствующей окраски.

Окислы хрома окрашивают окислительное пламя в желтоватый оттенок, а восстановительное — в изумрудно-зеленый (если флюсом служит бура). Если же в качестве флюса используется фосфорная соль [фосфорнокислый натрий-аммоний (NH_4) $\text{NaHPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], в обоих случаях наблюдается изумрудно-зеленый цвет. Соединения марганца при участии буры придают окислительному пламени фиолетовый оттенок и не окрашивают восстановительное. Если мы имеем дело с ураном, то в случае использования буры мы получим в окислительном пламени желтый цвет, в восстановительном — бледно-зеленый. С участием фосфорной соли образуется соответственно зеленовато-желтая и изумрудно-зеленая окраска. Кобальт во всех случаях окрашивает пламя в синий цвет.

При сухом химическом анализе обычно используются следующие реактивы: бура и фосфорная соль; окись меди (CuO), дающая хорошую реакцию в пламени для выявления хлора; иодистый калий и сера — на определение висмута, свинца и других металлов (эту смесь обычно называют висмутовым флюсом). Металлический цинк или олово применяются для восстановительных реакций с соляной кислотой.

При химическом анализе мокрым способом в качестве растворителя берут соляную кислоту. Азотную и серную кислоты применяют как в концентрированном, так и в разбавленном виде. Еще раз учтите, что для получения водных растворов надо кислоту вливать в воду и никогда нельзя добавлять воду в концентрированную кислоту во избежание очень опасного разбрызгивания. Оксалат аммония используется как реактив на определение кальция, а водный раствор фосфата натрия — на выявление магния. Молибдат аммония применяют для определения фосфатов, азотнокислое серебро — для обнаружения хлора, диметилглиоксим — для выявления никеля, а перекись водорода — для установления титана.

7

ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

Минералы, характеристики которых приводятся в этой — заключительной — главе книги, расположены не в алфавитном порядке, а в зависимости от их химического состава. Такая последовательность отвечает традиционным методам составления минералогической коллекции или комплектования кабинета минералогии. Порядок экспозиции минералов всех крупных коллекций подчинен именно такому принципу.

Мы начинаем описание минералов с самородных элементов (и сопутствующих им примесей), затем следуют разделы, посвященные природным химическим соединениям — окислам, сульфидам, сульфатам, карбонатам и т. д. Поскольку многие важные минеральные виды входят в те или иные группы или классы, описания минералов даются в пределах этих подразделений, причем они сопровождаются небольшими вводными характеристиками. Список обсуждаемых минералов составлен на основании данных, опубликованных в «Chemical Index of Minerals» («Химическом указателе минералов»), изданном минералогическим отделом Британского музея естественной истории.

В описании каждого минерала приводятся его основные свойства наряду с диагностическими признаками, которые окажутся необходимыми при его определении; даются также полезные советы о методах чистки образцов; упоминаются важнейшие месторождения, где может быть обнаружен данный

минерал. Такой порядок сохраняется для каждого описания. Тем, кто попытается определить найденный образец по тому или иному свойству минерала, целесообразно воспользоваться диагностическими таблицами, помещенными в главе 6.

Советы по детальной обработке образцов даются лишь в тех случаях, когда без нее нельзя обойтись (т. е. если это связано с какой-либо специфической чисткой). Зачастую лучший способ сохранить минерал — это оставить его без всякой обработки! В тех случаях, когда образец не нуждается в чистке, можно просто ограничиться его промывкой, по возможности используя для этого дистиллированную воду. Короче говоря, если нет нужды в специальной обработке минерала, такую промывку можно рекомендовать в качестве подготовки образца к хранению.

Твердость минералов оценивается по шкале Мооса, плотность дается в граммах на кубический сантиметр (г/см^3).

САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

МЕДЬ Cu (рис. 34)

Сингония — кубическая; кристаллы (кубы или ромбододекаэдры) более редки, чем дендритовые или нитевидные формы. [Наблюдается также в виде пластин, порошковатых скоплений и сплошных масс, иногда массой до нескольких тонн (в зонах окисления).]

Цвет — медно-красный, с бурой и пестрой побежалостью; черта — медно-красная; блеск — металлический.

Ковкая и тягучая; твердость 2,5—3,0; плотность 8,9.

Встречается в базальтовых лавах, песчаниках и конгломератах. Обнаружена в гидротермальных жилах и пластовых залежах совместно с халькопиритом, купритом, малахитом и т. д.

Месторождения: Корнуолл, Великобритания (кристаллы); Турьинские рудники на Урале, СССР (дендриты). Главные промышленные месторождения — Кьюннау, Мичиган и Бисби в штате Аризона, США. [В СССР известны также месторождения в Казахстане, на Рудном Алтае, на Урале, в Киргизии, а в Америке кроме США — еще в Чили и Боливии.]



Рис. 34. Дендриты самородной меди.

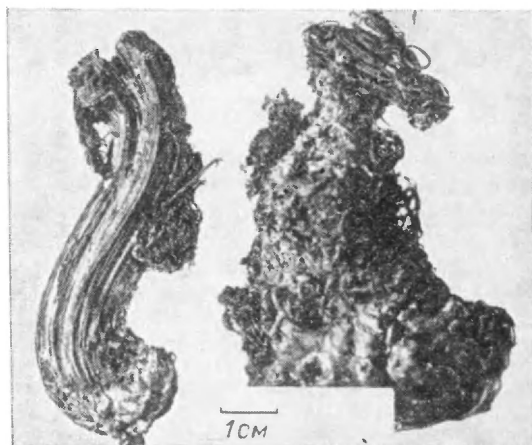


Рис. 35. Нитевидные кристаллы самородного серебра.

Удалите черную окись меди раствором из одной весовой части едкого натра (NaOH), трех частей сегнетовой соли ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) и 20 частей дистиллированной воды.

СЕРЕБРО Ag (рис. 35)

Сингония — кубическая; характерны проволочные и листовидные формы, кристаллы редки. [Наиболее распространены зерна неправильной формы и самородки, среди которых известны очень крупные. Например, в месторождении Шнееберг (ГДР) найдена глыба серебра 40 т, в Чили обнаружены пластины серебра массой до 1420 кг.]

Цвет — серебряно-белый, часто с темным (до черного) налетом; черта — серебряно-белая; блеск — металлический.

Ковкое и тягучее, с занозистым (крючковатым) изломом; твердость 2,5—3,0; плотность 10,1—11,1.

Встречается в гидротермальных жилах; образуется, по-видимому, из сульфидов серебра под воздействием термальных вод. Наблюдается также в виде тонких вкраплений в сульфидах различных металлов.

Месторождения: Конгсберг, Норвегия (превосходные образцы); Прибрам, Чехословакия; Атакама, Чили; Кьюинау, Мичиган и Бьютт в штате Монтана, США.

Темный налет можно удалить электролитическим способом. Предохраняйте от любых соединений серы.

ЗОЛОТО Au (рис. 36)

Сингония — кубическая; кристаллы (октаэдры, ромбододекаэдры и кубы) редки, обычно наблюдается в виде неправильных зерен или самородков, часты двойники и сростки.

Цвет — золотисто-желтый, у богатых серебром разновидностей — бледно-желтый; черта — золотисто-желтая; блеск — металлический.

Очень ковкое и тягучее; твердость 2,5—3,0; плотность (чистого золота) 19,3, с примесями 15,6—19,3.

Встречается в различных породах, содержится в морской воде. Основным источником коренного золота является золотосодержащий кварц из гидротермальных рудных жил. Россыпные месторождения часто разведываются старателями. [Наибольшее количество золота получают из вторичных месторождений — россыпей, образующихся при разрушении и переотложении первичных руд. Из россыпей золото извлекают путем промывки золотосодержащей породы.]

Месторождения: Витватерсранд, ЮАР; в Зимбабве, Египте, Гане, Австралии и Новой Зеландии, Великобритании (в том

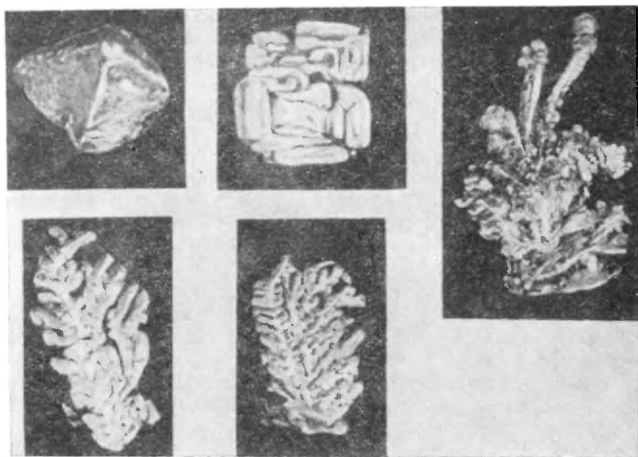


Рис. 36. Кристаллы и дендриты золота.

числе Уэльсе), в западных штатах США, Канаде, СССР, Чехословакии. [В россыпях Австралии найдены самые крупные самородки золота в мире: в 1858 г. — массой 59,7 кг, в 1869 г. — 68,1 кг, в 1872 г. — 275 кг.]

РТУТЬ Hg

Кристаллизуется в ромбоэдрические кристаллы гексагональной сингонии при $+10^{\circ}\text{C}$; в твердом состоянии редка, обычно наблюдается в виде жидких шариков.

Цвет — оловянно-белый; блеск — металлический.

Плотность 13,6.

В природе встречается в виде отдельных металлических капель, однако в районах вулканической активности может образовывать крупные жидкие скопления, заполняющие пустоты.

Месторождения: Идрия, гора Авала (СФРЮ); Ландсберг (ФРГ); Калифорния и Техас (США).

Обращаться с осторожностью; сильно ядовита.

АЛМАЗ C

Сингония — кубическая; кристаллы — октаэдры, ромбододекаэдры, тетраэдры; часто наблюдаются двойники срастания; спайность — совершенная по октаэдру.

Цвет — белый (бесцветный), желтый, розовый, зеленый, синеватый, коричневый, черный; блеск — алмазный до жирного. Твердость 10 [абсолютная твердость алмаза в 150 раз больше, чем у корунда (по шкале Мооса соответственно 10 и 9)]; плотность 3,52.

Показатель преломления 2,42; дисперсия 0,044; некоторые кристаллы обнаруживают аномальное двупреломление.

Цвета люминесценции различные; многие светлые (до желтых) разновидности люминесцируют голубовато-синим цветом.

Типы алмазов:

1а — содержит азот в форме газообразных включений; к этому типу относится большинство естественных алмазов;

1б — содержит азот в дисперсной форме;

2а — не содержит существенной примеси азота;

2б — азот отсутствует, содержится примесь алюминия; к этому типу относятся все естественные алмазы голубого цвета;

3 — метеоритная разновидность алмаза гексагональной сингонии, получившая название лонсдейлита.

Алмаз встречается в кимберлитовых трубках взрыва, в ультраосновных породах (оливинитах, дунитах и др.), в аллювиальных россыпях и т. д. Ассоциирует с корундом, платиной, цирконом, оливином, кварцем и другими минералами.

Месторождения: во многих странах Африканского континента, особенно в Южной Африке; в СССР (главным образом в Сибири); в Бразилии, Венесуэле, Индии, Австралии.

СВИНЕЦ Pb

Сингония — кубическая; обычно образует тонкие пластины и небольшие зерна неправильной формы; кристаллы редки.

Цвет — свинцово-серый; блеск — металлический (в свежем изломе).

Очень ковкий и иногда тягуч; твердость 1,5; плотность 11,4.

В чистом виде наблюдается очень редко, значительно чаще — с примесями. Встречается в плотных известняках и в россыпях (в том числе золотоносных).

Месторождения: в Швеции (Пайсберг), СССР (Уральские горы), Мексике, США (Нью-Джерси).

ВИСМУТ Bi

Сингония — тригональная; в природе чаще встречаются не кристаллы, а массивные скопления; известны также зернистые агрегаты и дендриты; спайность — совершенная.

Цвет — серебрино-белый; с течением времени на поверхности минерала появляется красноватая побежалость; черта — серебрино-белая; блеск — металлический.

Твердость 2,5; плотность 9,8.

Встречается в жилах, секущих граниты и гнейсы; как правило, приурочен к образованиям гидротермального происхождения. Часто извлекается из расплавов золота и серебра.

Месторождения: в Боливии (Сан-Бальдомеро), ГДР, Австралии, Великобритании (Девон, Корнуолл).

СЕРА S (рис. 37)

Сингония — ромбическая; облик кристаллов может быть различным в зависимости от генезиса. Обычно кристаллы образуют пирамиды или усеченные пирамиды. Встречаются также таблитчатые кристаллы и сплошные массы.

Цвет — ярко-желтый; черта — белая; блеск — смолистый.

Твердость 1,5—2,5 (слегка режется ножом); плотность 2,0—2,1.

Показатели преломления 1,958; 2,038; 2,245; обладает сильным двупреломлением.

Встречается в районах вулканической активности, выделяется из fumarol, сольфатар, горячих источников (при разложении сероводорода). Наблюдается в осадочных породах, обычно в известняках или в гипсоносных толщах. [Главная масса само-

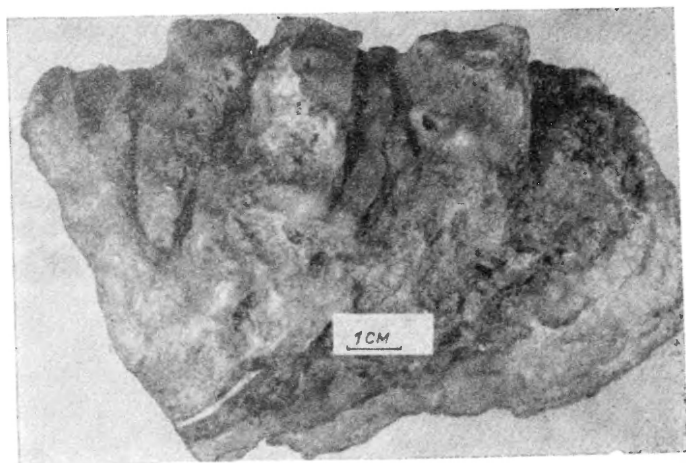


Рис. 37. Сера из вулканических возгонов.

родной серы образуется в осадочных толщах в результате разложения гипсоносных пород либо биохимическим путем.]

Месторождения: в Италии (в Джиргенти на о. Сицилия найдены наиболее совершенные кристаллы самородной серы), в Японии, Исландии, США (штат Луизиана). [В СССР самородная сера обнаружена в Средней Азии (Гаурдак, Шорсу, Каракумы), в Поволжье, на Камчатке и Курильских островах.]

Самородная сера весьма восприимчива к нагреву, даже тепло руки может привести к разрушению кристаллов. Не выставляйте образцы серы на солнечный свет, а также не пытайтесь их чистить!

ЖЕЛЕЗО Fe

В чистом виде встречается редко; наблюдается либо в скоплениях, образующих основную массу, в которой находятся включения силикатных минералов (земное железо), либо в форме зерен или чешуек (метеоритное железо). [Земное (теллурическое) железо обнаружено также в виде кубических микрокристаллов, зернистых агрегатов, сплошных масс и самородков массой в несколько тонн. Метеоритное железо составляет основную массу железных метеоритов, встречается также в каменных метеоритах и в космической пыли.]

Цвет — серый до белого; блеск — металлический.

Твердость 4,5; плотность 7,3—7,8; магнитность — сильная.

Месторождения: в базальтах о. Дisko (у западного берега Гренландии). Камасит — разновидность метеоритного железа, отвечает по составу аваруниту — минералу, найденному у бухты Аваруа на о. Южный в Новой Зеландии; он содержит 60% (или более) никеля. [Камасит содержит не более 25% никеля (Бетехтин А. Г., Минералогия. М., 1950, с. 178). Аварунит (67,6% никеля) отвечает по составу тэниту — другой разновидности метеоритного железа.]

ПЛАТИНА Pt

Сингония — кубическая; встречается главным образом в виде неправильных зерен. Химически чистая платина наблюдается редко, обычно она содержит примеси железа, иридия, радия, палладия или осмия.

Цвет — серый; черта — стально-серая; блеск — металлический.

Тягучая и ковкая; твердость 4,0—4,5; плотность 14,0—19,0 (до 22,0 в чистом виде).

Встречается в россыпях (зерна, желваки), куда привносится из выветрелых платиноносных пород. [Первичные (коренные) месторождения платины связаны главным образом с ультра-

основными и основными породами, богатыми оливином и пироксенами (дуниты, перидотиты и др.).]

Месторождения: в СССР (Урал), Колумбии, Австралии (Новый Южный Уэльс), Новой Зеландии, США, Канаде.

СУЛЬФИДЫ И СУЛЬФАТЫ

Как сульфиды, так и сульфаты являются сернистыми соединениями. В составе минералов, объединяемых в группу сульфатов, сера находится в виде комплексного аниона $(\text{SO}_4)^{2-}$. Сульфаты встречаются в осадочных породах, а также в соляных месторождениях, образовавшихся путем осаждения солей из соленасыщенных вод озер. Широко распространены такие сульфаты, как гипс и ангидрит, происхождение которых связано с химическим осаждением в осолоненных бассейнах. Барит (BaSO_4) образуется в гидротермальных жилах из горячих водных растворов. Благодаря высокой плотности барит получил вначале название «тяжелый шпат»; этот минерал, однако, не отличается большой твердостью.

В состав минералов группы сульфидов входит анион S^{2-} . Формирование сульфидов происходило без доступа кислорода, т. е. в условиях, при которых сульфаты не могли бы образоваться. Наиболее благоприятные для формирования сульфидов горизонты расположены ниже уровня грунтовых вод. [Большинство сульфидов имеет гидротермальное происхождение. Встречаются также сульфиды, образующиеся непосредственно из магмы и ее летучих продуктов.]

Сульфидами представлены многие руды. Атомы металлов и серы в этих минералах образуют различные сочетания, причем ковалентные связи в их структурах встречаются более часто, чем ионные.

Как правило, сульфиды имеют низкую твердость, но относительно высокую плотность. Наиболее часто встречающимся в коллекциях сульфидом, несомненно, является пирит.

Сульфиды

БОРНИТ Cu_5FeS_4

Сингония — кубическая; обычно встречается в виде сплошных масс или вкраплений; кристаллы (кубы и ромбододекаэдры) редки.

Цвет — медно-красный (на свежем изломе), красновато-бурый. С поверхности покрывается иризирующей пестрой побежалостью, с чем связан синоним борнита — «павлинья руда». [Общепринятый синоним — «пестрая медная руда».] Черта — светло-серая до черной; блеск — металлический.

Твердость 3,0; плотность 4,9—5,4.

Встречается в гидротермальных жилах в ассоциации с халькозином и другими сульфидами; обнаружен также в пегматитах и изверженных породах.

Месторождения: Редрут (Корнуолл, Великобритания), Монтекатини (Тоскана, Италия); Андроса (Малагасийская Республика). [В СССР — месторождения Джезказган, Успенское (Казахстан); Кафан, Алаверды (Кавказ); Дзержинское (Урал) и др.]

ХАЛЬКОПИРИТ CuFeS_2

Сингония — тетрагональная; кристаллы (тетраэдрического или октаэдрического облика) редки, встречаются двойники; агрегаты — чаще всего в виде сплошных масс. Синоним — медный колчедан.

Цвет — латунно-желтый; характерна иризирующая (радужно-пестрая) побежалость; черта — зеленовато-черная; блеск — металлический.

Твердость 3,5—4,0; плотность 4,1—4,3.

Встречается в магматических породах и в гидротермальных жилах в ассоциации с пиритом, сфалеритом и другими минералами.

Месторождения: Сент-Агнес, Корнуолл и Девон (Великобритания); Сент-Мари-о-Мин (Эльзас, Франция); в Аризоне и других штатах США. [Крупнейшие месторождения халькопирита за границей: Бингем (штат Юта, США), Чукикамата (Чили), Канганга (Заир), Садбери (Канада). В СССР — многие месторождения на Урале, в Казахстане, Узбекистане, Хакасии.]

СФАЛЕРИТ ZnS

Сингония — кубическая; образует тетраэдры, ромбододекаэдры и кубы; характерны полисинтетические двойники; агрегаты

в виде сплошных масс, зернистые и почковидные; спайность — весьма совершенная по ромбододекаэдру. Синоним — цинковая обманка.

Цвет — желтый, коричневый, черный, красный, бесцветный; черта — коричневая до желтой; блеск — алмазный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 3,9—4,1.

Дисперсия 0,156.

Встречается в областях контактового метаморфизма (в скарнах), в гидротермальных жилах.

Месторождения: горы Пикос-де-Эуропа, Сантандер (Испания), здесь обнаружены красивые кристаллы, иногда используемые как поделочные; Сент-Агнес (Корнуолл, Великобритания); штат Миссури (США). [В СССР — Рудный Алтай, Средняя Азия, Забайкалье, Урал, Приморье.]

Удалите кальцитовые корочки с поверхности минерала разбавленным раствором соляной кислоты.

ГАЛЕНИТ PbS (рис. 38)

Сингония — кубическая; характерны хорошо образованные кристаллы, главным образом кубы; встречаются двойники сращения и скелетные формы; спайность — совершенная.

Цвет — серый; черта — серая; блеск — металлический.

Твердость 2,5—2,75; плотность 7,4—7,6.

Встречается в жилах и залежах гидротермального и контакто-метасоматического генезиса.



Рис. 38. Мозаично-блочный кристалл галенита.

Месторождения: в СССР; ГДР (Фрейберг, горы Гари); Великобритании (Труро и Лизард, Корнуолл); США (штат Миссури). [Из зарубежных хорошо известно месторождение Брокен-Хилл (Новый Южный Уэльс, Австралия). В СССР — на Рудном Алтае, Дальнем Востоке, в Средней Азии, Казахстане, на Кавказе (Садон), в Забайкалье (Нерчинск).]

АНТИМОНИТ Sb_2S_3

Сингония — ромбическая; кристаллы — обычно призматические, с вертикальной штриховкой; встречаются друзы столбчатых кристаллов и сплошные зернистые агрегаты; спайность — совершенная. Синонимы — стибнит, сурьмяный блеск.

Цвет — свинцово-серый; черта — свинцово-серая; блеск — металлический, сверкающий на свежих сколах.

Твердость 2,0; плотность 4,52—4,62.

Встречается в гидротермальных жилах с кварцем, среди кристаллических сланцев (в виде пластообразных залежей). В небольших количествах выделяется из термальных вод.

Месторождения: рудники Исинокава (о. Сикоку, Япония), здесь известны совершенные по форме кристаллы; Вольфсбург (ФРГ); промышленные залежи в провинции Хайнань (Китай); в Алжире и Мексике. [В СССР — в Киргизии (Хайдаркен, Кадамжай); на Украине (Никитовка); в Грузии.]

ПИРИТ FeS_2 (рис. 39)

Сингония — кубическая; образует кристаллы кубического облика с характерной штриховкой на гранях параллельно ребрам куба (при этом штрихи одной грани не продолжают на другой); наблюдается также в виде «пиритоздров» (пентагондодекаэдров).

Цвет — золотисто-желтый, но в отличие от золота — с бронзовым оттенком (латунно-желтый); черта — зеленовато-черная; блеск — металлический.

Твердость 6,0—6,5; плотность 4,95—5,10.

Встречается в самых различных породах (магматических, осадочных, метаморфических); стяжения наблюдаются в каменном угле. Агрегаты, ошибочно принимаемые за золото, получили название «золото дураков» («fool's gold»).

Месторождения: широко распространены по всему миру; наиболее эффектные кристаллы известны в районе Сен-Готарда (Швейцария); «пиритоздры» найдены на о. Эльба.

Удалите налеты окислов железа при помощи щавелевой кислоты. Для хранения кристаллов пирита очень сухой воздух противопоказан.

МАРКАЗИТ FeS_2 (рис. 40)

Сингония — ромбическая; образует кристаллы таблитчатого, столбчатого и пирамидального облика. [Очень характерны двойники — копьевидные и сложные гребенчатые.] Обычны агрегаты различной формы — конкреции, почковидные, сплошные массы и т. д.

Цвет — бронзово-желтый, более густой в ярком свете; черта — серовато-белая, блеск — металлический.

Твердость 6,0—6,5; плотность 4,85—4,90.

Встречается в метасоматически измененных известняках с галенитом, сфалеритом и кальцитом.

Месторождения: Аризона (США); Карлови-Вари (ЧССР) — копьевидные кристаллы; район между Фолкстоном и Довером (графство Кент, Англия).

Образцы марказита чистить не следует.

АРСЕНОПИРИТ FeAsS

Сингония — моноклинная; образует призматические и псевдодипирамидальные кристаллы; характерны тройники и крестообразные двойники. Синонимы — мышьяковый колчедан, миспикель.

Цвет — белый до серого; черта — серовато-черная; блеск — металлический.

Твердость 5,5—6,0; плотность 5,9—6,2.

Встречается в пневматолитовых (метасоматических) месторождениях совместно с золотом и оловом; в гидротермальных месторождениях выделяется с кварцем из термальных вод. [Связан с высокотемпературными стадиями минералообразования, присутствует в наиболее глубоких кварцевых жилах.] Отмечается также в рудах серебра.

Месторождения: Фрейберг, серебряные рудники (ГДР); Бинненталь (Швейцария); Франкония (Нью-Гэмпшир, США). [В СССР — Средняя Азия (Текели), Забайкалье (Дарасун), Урал (Кочкарское, Джетыгара), Кавказ (Цейское).]

ПРУСТИТ Ag_3AsS_3

Сингония — тригональная; образует скаленоэдрические или острые ромбоэдрические кристаллы; известны также сплошные массы и зернистые агрегаты; спайность отсутствует. Прустит и пираргирит (Ag_3SbS_3) получили наименование «красные серебряные руды».

Цвет — ярко-красный; черта — ярко-красная; блеск — металлический; при ярком свете на поверхности минерала наблюдается радужная игра цветов.

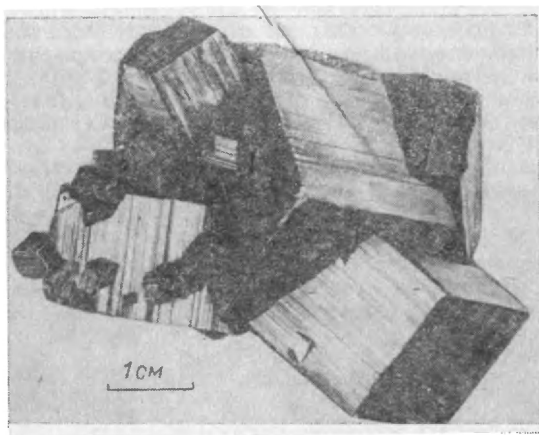


Рис. 39. Кристаллы пирита.

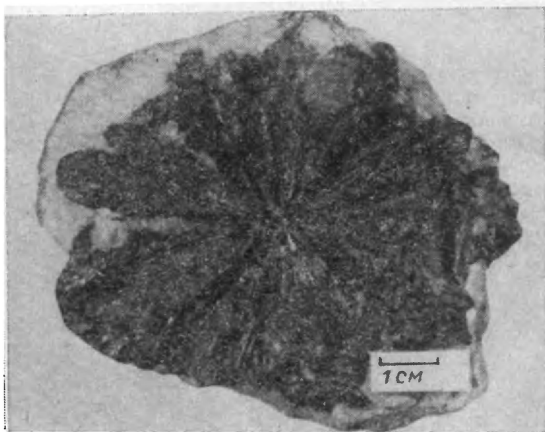


Рис. 40. Конкреция малахита.

Твердость 2,0—2,5; плотность 5,57—5,64.

Показатель преломления 3,0—2,7.

Встречается в верхних горизонтах гидротермальных месторождений (свинцово-цинково-серебряных) в ассоциации с галенитом, сфалеритом и др.

Месторождения: Яхимов (ЧССР); Атакама (Чили); совершенные по форме кристаллы обнаружены в Сент-Мари-о-Мин (Эльзас, Франция).

Удалите поверхностный налет серебра осторожным протиранием образца.

БУРНОНИТ CuPbSbS_3

Сингония — ромбическая; часты двойники, напоминающие по форме зубчатые колеса. Синоним — свинцовая блеклая руда. Цвет — серый; черта — серая; блеск — сильный, металлический.

Твердость 2,5—3,0; плотность 5,7—5,9.

Встречается в гидротермальных свинцово-сурьмяных месторождениях в ассоциации с галенитом и другими сульфидами.

Месторождения: Нойдорф, Гарц (ГДР); Уилл-Бойс, Энделлион (Корнуолл, Великобритания); западные штаты США.

Сульфаты

ГИПС $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рис. 41)

Сингония — моноклинная; наиболее характерны таблитчатые кристаллы; наблюдаются двойники срастания. [Часто кристаллы образуют формы в виде «ласточкина хвоста»; характерны «гип-

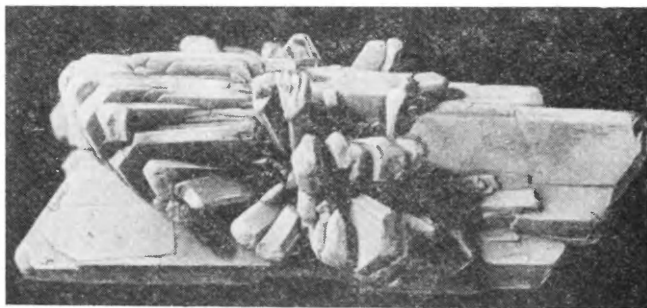


Рис. 41. Сноповидные кристаллы гипса.

совые розы», зернистые и волокнистые массы; снежно-белые разновидности гипса называются алебастром.] Спайность — весьма совершенная.

Цвет — белый, бесцветный (водяно-прозрачный), желтый до коричневатого-бурого, зеленоватый (иногда флюоресцирует); блеск — стеклянный.

Твердость 2,0; плотность 2,3.

Встречается в осадочных и вулканических породах, образуется при испарении соленых озер.

Месторождения: в Великобритании, США (штаты Калифорния и Колорадо), Чили, СССР. [В СССР — в Западном Приуралье, Поволжье, Средней Азии, на Кавказе.]

ЦЕЛЕСТИН SrSO_4

Сингония — ромбическая; кристаллы — таблитчатого (также столбчатого, призматического) облика; агрегаты — желваки, секции и др.; спайность — совершенная.

Цвет — небесно-голубой, белый, желтый, коричневый, некоторые разновидности флюоресцируют; блеск — стеклянный.

Твердость 3,0—3,5; плотность 4,0.

Встречается в карбонатах (известняках, доломитах), а также в гидротермальных жилах.

Месторождения: Ят (Глостершир, Великобритания); в Мексике; ФРГ, Швейцарии, СССР. [В СССР — в Архангельской области (Труфановское месторождение), Киргизии, Верхнем и Среднем Поволжье, Туркмении, Узбекистане и в Крыму.]

БАРИТ BaSO_4

Сингония — ромбическая; кристаллы — таблитчатые, реже призматические, столбчатые; агрегаты — зернистые, плотные, землистые и др.; спайность — совершенная.

Цвет — белый, бесцветный, серый, бурый; некоторые разновидности флюоресцируют; блеск — стеклянный.

Твердость 3,0—3,5; плотность 4,5.

Встречается в гидротермальных жилах, в осадочных породах, а также в пустотах магматических пород; выделяется с сернистыми соединениями из термальных вод.

Месторождения: Кембрийские горы и Дербишир (Великобритания); в Румынии, Франции, ФРГ. [В СССР — в Грузии (Хаиши), Азербайджане, Средней Азии (Тюямун), Туркмении (Копетдаг), на Урале (Златоуст), Алтае, в Центральном Казахстане, Карелии.]

АНГЛЕЗИТ PbSO_4

Сингония — ромбическая; кристаллы чаще всего таблитчатые; агрегаты — плотные, зернистые или землистые.

Цвет — белый, бесцветный, желтый, светло-серый; черта — бесцветная; блеск — алмазный или стеклянный; желтоватые разности иногда флюоресцируют.

Твердость 2,5—3,0; плотность 6,4.

Показатель преломления 1,87—1,89.

Встречается в качестве вторичного минерала в свинцово-цинковых месторождениях; обычно является продуктом окисления галенита.

Месторождения: Матлок (Дербишир), Ледхиллс (Ланкашир, Великобритания); Цумеб (Намбия). [В СССР — на Урале (Березовское месторождение), в Восточном Забайкалье, на Алтае.]

ОКИСЛЫ

К окислам относят минералы, у которых анион представлен кислородом; в гидроокислах роль аниона играет гидроксильная группа (ОН)⁻. В кристаллической структуре многих минералов ионы различных элементов (катионы) значительно меньше по размеру ионов кислорода. В этих случаях структура характеризуется плотнейшей упаковкой. Очевидно, что минералы с такой кристаллической структурой обладают высокой плотностью и высокой твердостью. Примером может служить корунд (Al_2O_3), включая и его драгоценные разновидности рубин и сапфир. К числу минералов-окислов, имеющих важное промышленное значение, относятся гематит Fe_2O_3 (руда железа) и касситерит SnO_2 (руда олова).

К более сложным окислам принадлежат минералы группы шпинели, общую формулу которых можно записать в виде XY_2O_4 , где X — двухвалентный, а Y — трехвалентный катион.

Гидроокислы, как правило, образуются в результате взаимодействия окислов с водой. В большинстве случаев они имеют довольно низкую твердость. [Гидроокислы представляют собой соединения металлов

и неметаллов с гидроксильной группой, полностью или частично замещающей ионы кислорода в оксидах.]

КУПРИТ Cu_2O

Сингония — кубическая; кристаллы — октаэдры, ромбододекаэдры и кубы; обычны сплошные (зернистые и землистые) массы.

Цвет — темно-красный; черта — буровато-красная; блеск — алмазный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 5,8—6,1.

Образуется при разрушении и окислении сульфидов меди (халькозин, борнит).

Месторождения: в Намибии (ювелирные кристаллы на руднике Онганья), в Корнуолле (Великобритания). [В СССР встречается главным образом на Урале (Турьинский, Гумешевский, Меднорудянский рудники), на Алтае и в Казахстане.]

Не выставляйте минерал на солнечный свет во избежание возникновения пленки на его поверхности.

ХРИЗОБЕРИЛЛ BeAl_2O_4

Сингония — ромбическая; облик кристаллов таблитчатый, иногда псевдогексагональный; характерны псевдогексагональные тройники.

Цвет — желтый, зеленовато-желтый. Хромсодержащая разновидность хризоберилла — александрит — имеет днем изумрудно-зеленый цвет, изменяя окраску на фиолетово-красную при электрическом освещении. [Ювелирные александриты в природе крайне редки и очень дороги. Поэтому в ювелирной промышленности под названием «александрит» используется сейчас плавленный глинозем с химическими красителями. Он лишь отдаленно напоминает природный самоцвет.] Другая разновидность хризоберилла — цимофан («кошачий глаз») — имеет волнисто-опалесцирующий отлив. Блеск — стеклянный.

Твердость 8,5; плотность 3,50—3,84.

Показатель преломления 1,747; 1,748; 1,757.

Встречается в гранитах, пегматитах и кристаллических сланцах.

Месторождения: александрита — в Бразилии, СССР (на Урале), Зимбабве; цимофана — в Шри Ланке; зеленовато-желтые разновидности хризоберилла обнаружены в Бразилии.

ПЕРИКЛАЗ MgO

Сингония — кубическая; образует кубические и октаэдрические кристаллы и неправильной формы зерна; спайность — отчетливая.

Цвет — бесцветный, иногда серовато-белый, желтый, черный, темно-зеленый.

Твердость 5,5; плотность 3,56—3,58.

Показатель преломления 1,74.

Встречается в контактово-метаморфических образованиях среди известняков.

Месторождения: гора Везувий (Италия); Нордмарк (Варmland, Швеция).

ШПИНЕЛЬ $MgAl_2O_4$

Сингония — кубическая; кристаллы — обычно октаэдрические.

Цвет — красный, синий, а также различные варианты этой окраски; блеск стеклянный. [Известны разновидности шпинели: красная, рубиновая — рубин-балэ; синяя — сапфир-шпинель; черная — плеонаст; зеленовато-бурая — пикочет и т. д.]

Твердость 8,0; плотность 3,58—3,60

Показатель преломления 1,718.

Встречается в россыпных месторождениях, а также в известняках и доломитах. [Связана большей частью с контактово-метасоматическими породами (магнезиальными скарнами); встречается также в магматических и метаморфических породах, реже в пегматитах.]

Месторождения: Могок (Бирма); Шри Ланка. [В СССР — Шишимские и Назымские горы на Южном Урале; Забайкалье, Алдан.]

КОРУНД Al_2O_3

Сингония — тригональная; отмечаются таблитчатые сдвойникованные (обычные для рубина) или дипирамидальные (характерные для сапфира) кристаллы; у рубина проявляется также пластинчатое двойникование с сопутствующей отдельностью.

Цвет — красный (у рубина); синий (у сапфира); большинство других оттенков используется в качестве определений разновидностей сапфира. [Наиболее известны среди прозрачных корундов: лейкосапфир — бесцветный, сапфир — синий, рубин — красный, восточный топаз — желтый, восточный аметист — фиолетовый, восточный изумруд — зеленый.]

Твердость 9; плотность 3,99.

Показатель преломления 1,76—1,77.

Встречается как аксессуарный минерал в доломитах, известняках и слюдистых сланцах; накапливается в россылях. [Происхождение корунда связано с пегматитами, вторичными кварцитами (гидротермальные месторождения), метаморфическими месторождениями в различных породах.]

Месторождения: в Бирме (наиболее чистые рубины и сапфиры); в Шри Ланке, Восточной Африке, Австралии, Кампучии, Таиланде. [В СССР — в Казахстане, на Украине, в Якутии, на Урале.]

КВАРЦ SiO_2 (рис. 42, 43)

Сингония — тригональная; образует призматические кристаллы, осложненные ромбоэдрами и другими формами. [Кварц имеет две модификации: α -кварц — устойчивый до 573°C , тригональной сингонии, и β -кварц — устойчивый в пределах 573 — 867°C , гексагональной сингонии. В природе наиболее распространен α -кварц.] Двойники отмечаются почти всегда, но двойникование распознается только в поляризованном свете либо с помощью травления. Кристаллы кварца обладают пьезо- и пирoeлектрическими свойствами.

Цвет — бесцветный (горный хрусталь), молочно-белый. Часто встречаются различно окрашенные разновидности кварца: аметист (фиолетовый), цитрин (желтый), морион (черный, буровато-темный), раухтопаз (дымчатый кварц), розовый кварц; менее распространены индивиды, окрашенные в зеленые и голубые тона.

Разновидности массивного, скрытокристаллического кварца представляют различно окрашенные халцедоны: карнелиан, или сердолик (оранжево-красный); сард (светло- или красновато-коричневый); моховой агат (серый или голубоватый с включениями железа, образующими дендритовый узор); агат — агрегат халцедона полосчатого строения (полосы разноцветные); хризопраз (яблочно-зеленого цвета благодаря примеси никеля); гелиотроп, или кровавик (темно-зеленый халцедон с пятнистыми красноватыми вкраплениями яшмы); яшма — плотная скрытокристаллическая разновидность халцедона с примесями окислов железа, придающими ей различную окраску (от темно-красной до желтой). [Состав и природа яшм значительно более сложные. Чаше всего это богатые кремнием горные породы разного состава, первично осадочные или вулканогенные, а затем сильно метаморфизованные.]

Известны прозрачные разновидности кварца, пронизанные игольчатыми кристаллами различных минералов: рутила, актинолита, турмалина и т. д. Кварц с такими включениями («волосами Венеры») получил название «волосатик». Широко распростра-

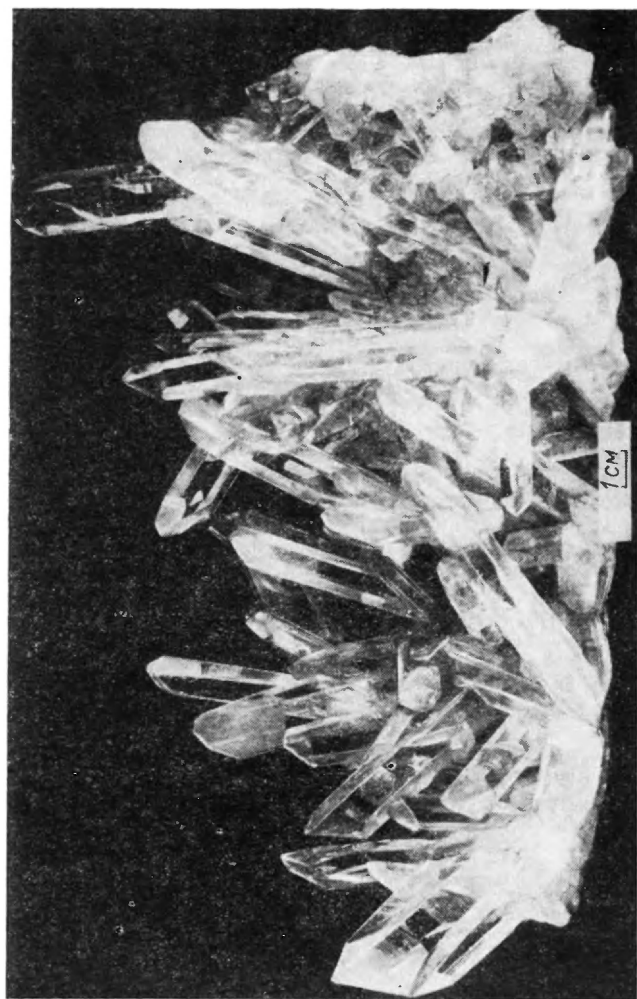


Рис. 42. Друза горного хрусталя.



Рис. 43. Халцедон.

нены «кошачий глаз» (зеленоватый кварц с шелковистым отливом, обусловленным включениями асбеста) и звездчатый кварц.

Месторождения: широко распространены по всему миру, однако совершенные кристаллы встречаются сравнительно редко. Эффектные кристаллы горного хрусталя обнаружены в районе Сен-Готарда (Швейцария). Аметисты имеются в Бразилии и СССР (на Урале). В Южной Африке найден «тигровый глаз» — окварцованный крокидолит, в котором на темно-коричневом или желтом фоне наблюдаются темные полосы.

ОПАЛ $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Аморфный; образует плотные массивные, натечные агрегаты; характерны псевдоморфозы по различным минералам, животным и растительным остаткам — замещает скелеты раковин, стволы деревьев (так называемый «деревянистый опал») и т. д.

Цвет — бесцветный; в благородном опале наблюдается игра цветов (так называемая опалесценция) на темном (черный опал) или светлом (молочный опал) фоне. В «огненном опале» также наблюдаются радужные переливы, он имеет огненно-красный (до оранжевого) цвет. Часто встречается никельсодержащий яблочно-зеленый опал. Водный опал (гиалит) — бесцветная разновидность обычного опала, большей частью прозрачная, с опалесценцией.

Твердость 5,5—6,5; плотность 1,9—2,3.

Показатель преломления 1,45.

Встречается в маломощных гидротермальных жилах, секущих магматические породы (где отлагается из низкотемпературных кремнийсодержащих вод), а также в жилах среди песчаников. [Основная масса опала имеет экзогенную природу. Опал является главным компонентом ряда осадочных пород химического и биогенного происхождения; встречается в почвах, корках выветривания и т. д.]

Месторождения: в Австралии (благородный опал), Бразилии, Индонезии, Мексике (огненный и благородный опал), ЧССР. [В СССР — на Урале, Алтае, в Забайкалье.]

РУТИЛ TiO_2 (рис. 44)

Сингония — тетрагональная; кристаллы — призматические (увенчанные пирамидами), столчатые, игольчатые; двойники обычно коленчатые (с резким изгибом, сдвойникованные по пирамиде). Имеются еще две полиморфные модификации TiO_2 — брукит (ромбический) и анатаз (тетрагональный).

Цвет — красновато-бурый до черного; черта — светло-бурая; блеск — алмазный.

Твердость 6,0—6,5; плотность 4,2—4,4.

Показатель преломления 2,62—2,90 (2,90 — для искусственного рутила); двупреломление очень высокое — 0,287; дисперсия — около 0,3.

Встречается в изверженных породах, гнейсах, кристаллических сланцах и известняках; игольчатые, волосовидные агрегаты рутила образуют включения в кристаллах кварца.

Месторождения: Грац (Австрия); Сен-Готард и Валь-Таветч (Швейцария). [В СССР встречается в пегматитовых жилах Ильменских гор (Урал), в Семизбугу (Центральный Казахстан) совместно с корундом; россыпи рутила известны на Среднем Урале.]

Кремнезем можно удалить с минерала плавиковой кислотой, железо — щавелевой кислотой.

КАССИТЕРИТ SnO_2

Сингония — тетрагональная; кристаллы — дипирамидальные, призматические (короткие призмы), столчатые и т. д.

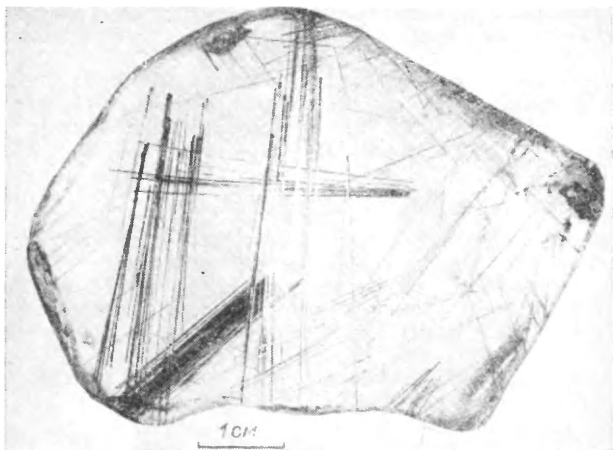


Рис. 44. Рутил в кварце («волосы Венеры»).

Цвет — красновато-бурый до черного; черта — белая, серая, бурая; блеск — алмазный.

Твердость 6,0—7,0; плотность 6,8—7,1.

Показатель преломления 1,9—2,1; двупреломление 0,096; дисперсия 0,071.

Главная руда на олово. Встречается в высокотемпературных гидротермальных жилах, в гранитных пегматитах и грейзенах. «Деревянистое олово» напоминает древесину с ее характерным волокнистым строением.

Месторождения: Камборн и другие районы Корнуолла (Великобритания), в Уилл-Коутсе (Корнуолл) встречены псевдоморфозы касситерита по полевым шпатам; известен также в Боливии и Намибии. [В СССР — в Забайкалье, Казахстане, Карелии, на Дальнем Востоке и Северо-Востоке.]

МАГНЕТИТ Fe_3O_4

Сингония — кубическая; образует октаэдры, реже ромбододекаэдры; часты двойники; агрегаты — сплошные, зернистые, шестоватые; вкрапленники в магматических породах.

Цвет — черный; черта — черная; блеск — металлический.

Твердость 5,5—6,5; плотность 5,2; сильно магнитен.

Встречается в магматических, контактово-метасоматических породах, а также в высокотемпературных гидротермальных жилах.

Месторождения: Норботтен (Северная Швеция); Уральские горы [а также в Сибири, Казахстане, районе КМА, на Кольском полуострове] (СССР); Бинненталь (Швейцария); Порт-Генри (штат Нью-Йорк, США).

ГЕМАТИТ Fe_2O_3 (рис. 45)

Сингония — тригональная; кристаллы — пластинчатые, таблитчатые, ромбоэдрические; агрегаты — сплошные, оолитовые, гроздевидные. [Агрегаты также листоватые, чешуйчатые, порошковидные и т. д. Известны оригинальные пластинчатые агрегаты — «железные розы», крупные почкообразные формы — «стеклянные головы».]

Цвет — серый до черного; черта — красная до красноватобурой; блеск — металлический.

Твердость 5,0—6,0; плотность 4,9—5,3.

Встречается в магматических, а также в осадочных породах и в гидротермальных жилах. [Происхождение гематита связано в основном с метаморфическими (кристаллические сланцы, кварциты) и контактово-метасоматическими (скарны) породами.]

Месторождения: гематит — главная руда на железо; имеет широкое мировое распространение, например, район озера Верх-

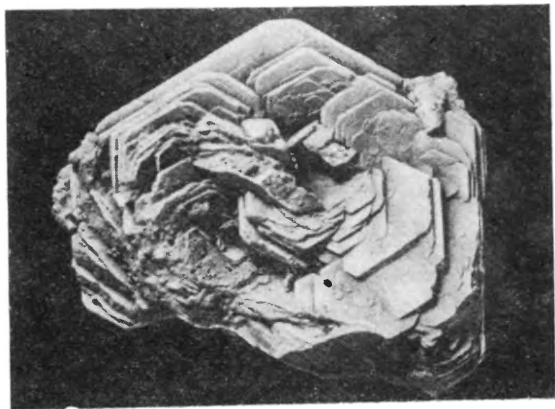


Рис. 45. Розетковидные сростки гематита.

нее (США); Сен-Готард (Швейцария) — прекрасные кристаллы; Клитор-Мур (Великобритания). [В СССР — Кривой Рог, КМА, Урал, а также в Казахстане, Грузии, на Кольском полуострове.]

ГАЛОИДЫ

К группе галоидов относятся фтористые, хлористые, бромистые и иодистые соединения, анионами в которых являются фтор, хлор, бром и иод соответственно. Эти элементы носят общее название галогенов. Для галоидных соединений характерна ионная связь; большинство из них кристаллизуется в кубической сингонии. Галоиды не обладают ни высокой твердостью, ни высокой плотностью. Наиболее популярный у коллекционеров минерал этой группы — флюорит. Другим широко известным представителем рассматриваемых соединений является галит (поваренная соль), название которого использовано для общего наименования всей группы.

ГАЛИТ NaCl

Сингония — кубическая; кристаллы — кубические, реже — октаэдрические; на гранях куба часто наблюдаются ступенчатые углубления. Образует кристаллические друзы, корки и т. д.; сплошные массы, залегающие среди горных пород, называются каменной солью. Спайность — весьма совершенная по кубу.

Цвет — бесцветный, белый; оттенки — голубой, желтый, красный и другие в зависимости от примесей; черта — белая; блеск — стеклянный.

Твердость 2,5; плотность 2,1—2,2; всем известный диагностический признак — соленый вкус!

Образуется в результате выпадения в осадок из насыщенных растворов (рапы) либо осаждения при испарении воды соленых водоемов — морских мелководных бассейнов, лагун и озер.

Месторождения: встречается повсеместно; совершенные по форме кристаллы галита известны в Величке (ПНР). [В СССР наиболее крупные месторождения — Славяно-Артемовское (УССР), Илецкое (Оренбургская область), Соликамское (Урал), Сольвычегодское (Архангельская область). Широко известны месторождения самосадочной соли Эльтон и Баскунчак (Нижнее Поволжье).]

При чистке кристаллов соли следует ограничиться протираньем их спиртом.

ФЛЮОРИТ CaF_2 (рис. 46)

Сингония — кубическая; наиболее характерны правильные кубы, которые при обкалывании по спайности превращаются в октаэдры. Спайность — совершенная по октаэдру.

Цвет — розовый, голубой, зеленый, пурпурный, красный, черный, реже бесцветный, водяно-прозрачный; черта — белая; блеск — стеклянный.

Особые свойства: часто флюоресцирует (термин «флюоресценция» произошел от названия данного минерала); наиболее активно люминесцирует в длинноволновом ультрафиолетовом излучении.

Твердость 4,0; плотность 3,2; показатель преломления 1,43.

Встречается в минеральных жилах. [Происхождение флюорита главным образом гидротермальное (спутник различных рудных минералов в кварцевых жилах), встречается в пегматитовых жилах и грейзенах; реже — осадочное.]

Месторождения: в Великобритании — Нортумберленд (в свинцово-цинковых жилах), Уэльс, Дарем, Дербишир (зональная разновидность флюорита пурпурного и синего цвета — «Голубой Джон»); в Швейцарии — район Сен-Готарда (розовые кристаллы октаэдрического облика); в США — округ Хардин.

Удалите натски и корочки кальцита раствором соляной кислоты, окислы железа — щавелевой кислотой.



Рис. 46. Выколоч флюорита.

КАРБОНАТЫ

Карбонаты составляют весьма важную группу минералов. В их кристаллической структуре присутствует анион $(\text{CO}_3)^{2-}$, образующий более или менее устойчивые соединения с ионами металлов. Как известно, многие морские организмы обладают способностью извлекать ионы карбонатов из соленой воды и использовать их для создания панцирей, скелетов, каркасных построек и т. д. Поэтому не удивительно, что в течение долгого времени накопились мощные толщи осадков с высоким содержанием углерода. Известняки являются наиболее распространенными породами данной группы; их главный минерал — кальцит (CaCO_3).

Координационным многогранником карбонатных ионов является треугольник, поэтому большинство их минералов характеризуется треугольной симметрией и кристаллизуется в тригональной сингонии. [В структурном отношении карбонаты представлены плоскими группами $(\text{CO}_3)^{2-}$, в которых ион углерода симметрично окружен тремя ионами кислорода, расположенными в вершинах равностороннего треугольника.] Существуют, однако, исключения: карбонат бария витезит (BaCO_3) относится к ромбической сингонии, так как катион бария обладает достаточно большим ионным радиусом. В этом случае пространственное расположение ионов отвечает тетраэдрической координации. Карбонат кальция (CaCO_3) имеет и ромбическую модификацию — минерал арагонит, у которого координационный многогранник также представлен тетраэдром.

Общее свойство карбонатов — их невысокая твердость. Характерной особенностью карбонатов является их активное взаимодействие с соляной кислотой, сопровождающееся бурным выделением углекислого газа (CO_2). [«Вскипают» под воздействием

слабой разбавленной соляной кислоты только известняки. Доломиты, как правило, реагируют на нее лишь в порошке. Разная реакция на HCl помогает отличать известняки от доломитов в полевых условиях.]

КАЛЬЦИТ CaCO_3 (рис. 47)

Сингония — тригональная; форма кристаллов разнообразная (обычно встречаются скаленоэдры и ромбоэдры); часты двойники; характерны друзы и натеки в виде сталактитов и сталагмитов, зернистые массы и т. д. Спайность — совершенная по ромбоэдру.

Цвет — бесцветный, молочно-белый, а также желтый, красный, черный и другие, с различными оттенками в зависимости от примесей; черта — беловато-серая; блеск — стеклянный до перламутрового (на плоскостях спайности). [Разновидности кальцита: исландский шпат (прозрачный двупреломляющий кальцит), бумажный шпат (пластинчатые, листоватые агрегаты), антраконит (черный кальцит с примесью битумов).]

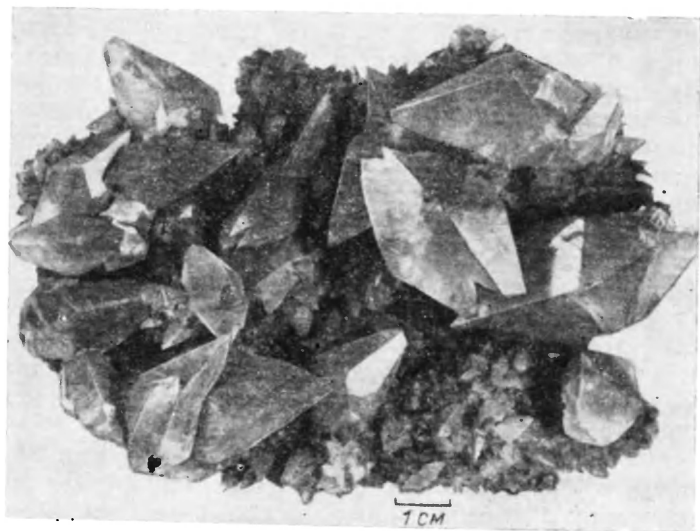


Рис. 47. Кристаллы кальцита.

Твердость 3,0; плотность 2,7.

Показатель преломления 1,48—1,65; характерны высокие дву-
преломление и дисперсия.

Является главным минералом известняков; встречается так-
же в пегматитах, в гидротермальных рудных месторождениях
(жильный минерал).

Месторождения: распространен повсеместно; идеальные по
форме кристаллы найдены в Корнуолле, Дареме и Уэльсе (Ве-
ликобритания).

АРАГОНИТ CaCO_3 (рис. 48)

Сингония — ромбическая; является диморфной модификацией
кальцита; облик кристаллов — призматический, игольчатый; встре-
чаются двойники, иногда полисинтетические; агрегаты — натеч-
ные, сталактиты. [Характерны также шестоватые, радиально-
лучистые, звездчатые агрегаты, шаровидные формы, массы ооли-
тового строения («гороховые» и «икряные» камни); оригиналь-
ные «железные цветы» — переплетающиеся и ветвящиеся «стеб-
ли» снежно-белого цвета. Перламутровые слои большинства ра-
ковин моллюсков построены из тончайших пластинок арагонита.]
Спайность — отчетливая.

Цвет — белый, желтовато-белый, желтый и др.; черта — бе-
лая до желтоватой; блеск — стеклянный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 2,9.

Образуется при низкотемпературных гидротермальных про-
цессах, встречается в пустотах известняков и других пород,
иногда в рудных жилах, а также в отложениях термальных ис-
точников. [В главной массе арагонит образуется при различных
экзогенных процессах. Например, радиально-лучистые и натечные
его агрегаты распространены в корях выветривания ультраос-
новных пород.]

Месторождения: широко распространен; красивые игольча-
тые агрегаты известны в Кембрийских горах (Уэльс, Велико-
британия). [В СССР — на Урале, Алтае, в Узбекистане (Шорсу);
в ЧССР — Карлови-Вари.]

ДОЛОМИТ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Сингония — тригональная; кристаллы — ромбоэдрические; об-
разует кристаллически-зернистые, массивные агрегаты; спайность
— совершенная по ромбоэдру.

Цвет — белый, розовый, светло-бурый и др.; блеск — стек-
лянный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 2,8.

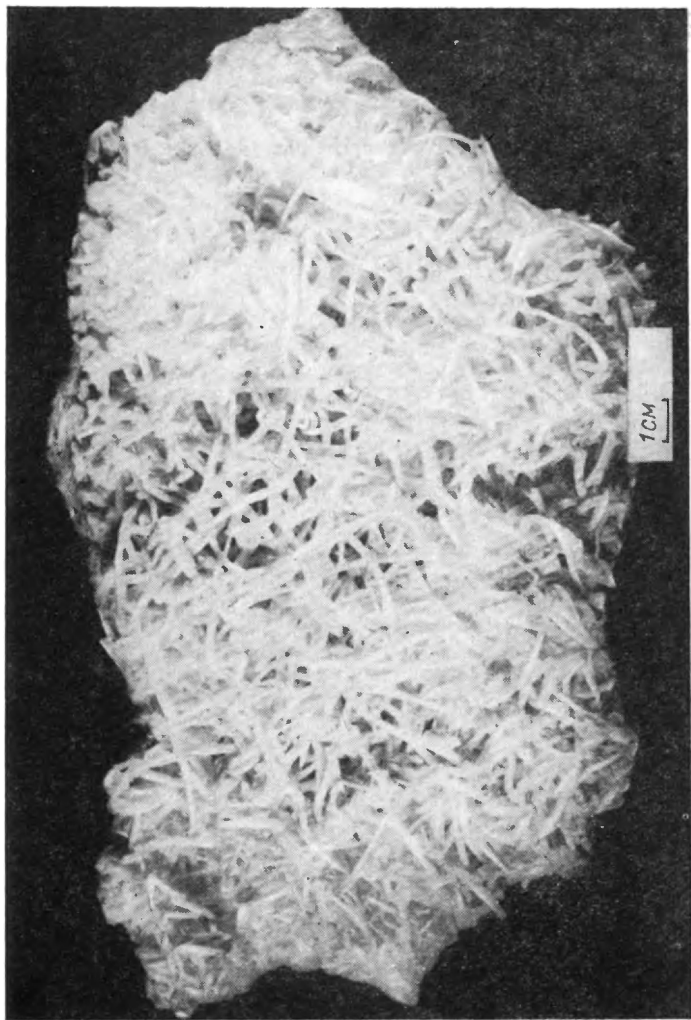


Рис. 48. Арагонит.

Встречается в жильных гидротермальных месторождениях и в измененных ультраосновных богатых магнием породах. [Большая часть доломита связана с осадочными карбонатными толщами всех геологических периодов.]

Месторождения: в Швейцарии, Италии, США (штаты Нью-Йорк, Айова). [Доломит (наряду с кальцитом) является широко распространенным породообразующим минералом. В СССР встречается на Урале, в Донбассе, Поволжье и других местах.]

ВИТЕРИТ BaCO_3

Сингония — ромбическая; облик кристаллов — псевдогексагональные дипирамиды; часты двойники различных видов, в том числе тройники; наблюдаются массивные (шаровидные, почковидные и др.) агрегаты.

Твердость 3,0—3,5; плотность 4,2.

Встречается в гидротермальных жилах. [Известны находки экзогенного происхождения, а также псевдоморфозы по бариту.]

Месторождения: в Великобритании — Нортумберленд, Уэльс (идеальные кристаллы); в США — штат Иллинойс. [В СССР — в Туркмении (Кара-Калинский район), на Алтае (Змеиногорский рудник) и др.]

СМИТСОНИТ ZnCO_3

Сингония — тригональная; кристаллы — ромбоэдрического и скаленоэдрического облика; грани кристаллов часто изогнутые и шероховатые; агрегаты — плотные скрытокристаллические, а также натечные и гроздевидные.

Цвет — белый, яблочно-зеленый, голубовато-серый, густо-розовый до пурпурного (благодаря примеси кобальта); черта — белая; блеск — стеклянный до перламутрового.

Твердость 4,0—4,5; плотность 4,3—4,4.

Встречается в зоне окисления рудных (свинцово-цинковых) месторождений.

Месторождения: рудник Келли (Нью-Мексико, США) — красивые голубые кристаллы; Цумеб (Намибия); в Замбии. [Следует упомянуть Ледвилл — крупнейшее месторождение смитсонита (в штате Колорадо, США). В СССР — хр. Каратау (Южный Казахстан), Нерчинский район (Восточное Забайкалье), а также в Алтайском крае, Средней Азии, на Кавказе.]

ЦЕРУССИТ PbCO_3

Сингония — ромбическая; облик кристаллов — дипирамидальный, призматический или таблитчатый; часты отчетливые двой-

ники; встречается также в виде сплошных, обычно зернистых масс. Спайность — отчетливая.

Цвет — белый до голубовато-серого; черта — бесцветная до белой; блеск — полуметаллический.

Твердость 3,0—3,5; плотность 6,5.

Встречается в зоне окисления свинцово-цинковых месторождений.

Месторождения: Ледхиллс, Стратклайд (Великобритания); Цумеб (Намибия); Брокен-Хилл (Новый Южный Уэльс, Австралия). [В СССР — Ачисайское месторождение (хр. Каратау, Казахстан), Дарваза (Туркмения) и др. Прекрасными кристаллами славятся месторождения Нерчинского района в Забайкалье (Тайнинское, Кадаинское) и Алтая (Лениногорское, Зыряновское).]

РОДОХРОЗИТ MnCO_3

Сингония — тригональная; хорошо образованные кристаллы редки (известны прекрасные скаленоэдры из Южной Африки); обычны сплошные, иногда кристаллически-зернистые массы и другие агрегаты; спайность — совершенная по ромбоэдру.

Цвет — бледно-розовый до темно-красного; блеск — стеклянный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 3,7.

Встречается в гидротермальных месторождениях.

Месторождения: Хотазел и Н'Гванинг (Куруман, ЮАР); провинция Катамарка (Аргентина); горы Гарц (ФРГ).

Образцы родохрозита можно отмыть раствором соляной кислоты.

МАЛАХИТ $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ (рис. 49, 50)

Сингония — моноклинная; кристаллы крайне редки; обычны натечные массы (сталактиты), почковидные образования и т. д.; спайность — средняя.

Цвет — зеленый (от ярко- до темно-зеленого); характерны полосчатость и концентрически-зональное строение; черта — бледно-зеленая; блеск — стеклянный, шелковистый, матовый.

Твердость 3,5—4,0; плотность 4,0.

«Вскипает» под действием HCl .

Встречается в зоне окисления сульфидных месторождений меди в ассоциации с азуритом. Смесь или сростки азурита и малахита получили название «азурмалахит».

Месторождения: в Уральских горах (СССР), Аризоне (США), Корнуолле (Великобритания), Заире. [Мировой известностью пользовались раньше два крупнейших месторождения малахита — Меднорудянский (Нижний Тагил) и Гумешевское (Сверд-



Рис. 49. Малахит.

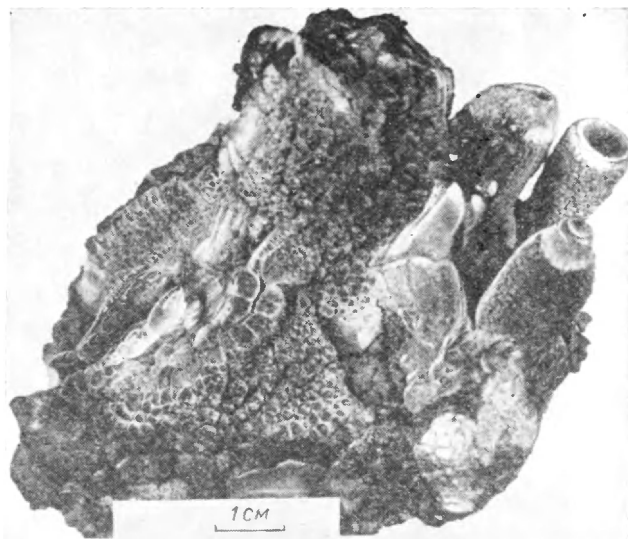


Рис. 50. Натечные агрегаты малахита.

ловск). Есть месторождения на Алтае, в Казахстане. Крупные скопления малахита, в особенности его поделочных сортов, в настоящее время стали редкостью.]

Промойте образец малахита в дистиллированной воде. Приготовьте раствор аммиака, добавляя его в воду до получения синей окраски. Затем прибавьте еще воды и оставьте образец в растворе на один час. Продержите образец еще некоторое время в дистиллированной воде. После этого удалите воду с образца древесным метиловым спиртом и дайте ему обсохнуть. Если в образце присутствует азурит, такой способ чистки применять не следует.

СИЛИКАТЫ

Самым распространенным элементом в земной коре (после кислорода) является кремний. Различные сочетания этих двух элементов дали начало многочисленным соединениям, образовавшим класс силикатов.

{Силикаты включают в себя до 500 минералов (более четверти всех известных видов). Силикаты составляют около 75% от общей массы земной коры, а с учетом свободного кремнезема (кварц, опал и т. д.) — более 85%.} Основной структурной единицей силикатов является комплексный анион $(\text{SiO}_4)^{4-}$ — кремнекислородный тетраэдр. Такие тетраэдры, объединяясь в различные сочетания, образуют структуры разного типа: цепочечные (одинарные и двойные цепочки), кольцевые, листоватые (слоистые), каркасные и т. д.

Когда комплексный анион представлен изолированными кремнекислородными тетраэдрами, они уравниваются в кристаллической структуре посредством катионов металлов, расположенных вокруг комплексных групп SiO_4 . Этот тип структуры характеризует минералы групп оливина, граната и ряд других. {Силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами в структурах называются островными силикатами.} Гранаты внешне выглядят округлыми. [Гранатус — по-латыни «подобный зернам». Название дано по сходству гранатов (внешний облик и цвет) с зернышками в плодах гранатового дерева.] Но установлено, что эти минералы образуют такие кристаллы, как ромбододекаэдры, тетрагон-триоктаэдры и комбинации этих форм. Гранаты имеют относительно высокие твердость и плотность.

Возможны сочетания, когда комплексный ионный радикал представлен изолированными группами, состоящими из двух связанных между собой кремнекислородных тетраэдров; такие соединения относительно малочисленны и уступают по встречаемости другим типам. Более распространен подкласс кольцевых силикатов. Кристаллические структуры этих силикатов содержат изолированные группы SiO_4 , соединенные в замкнутые кольца; в каждом звене кольца радикалов располагаются друг над другом (в верти-

кальной проекции), благодаря чему кристаллы имеют столбчатый облик. Такой тип наблюдается, например, у берилла, в структуре которого связаны в кольца шесть тетраэдров, вследствие чего кристаллы имеют гексагональную форму. При этом атомы кислорода расположены в вершинах тетраэдров таким образом, что отношение кислорода к кремнию составляет не 4:1, что свойственно изолированному тетраэдру, а 3:1. Кристаллы кольцевых силикатов характеризуются высокой твердостью и относительно большой плотностью.

В класс силикатов входят две важные минеральные группы: пироксены и амфиболы. Представители этих групп относятся к цепочечным силикатам, в которых кремнекислородные тетраэдры образуют структуры, напоминающие цепочки, связанные одна с другой катионами. В диопсиде ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), входящем в группу пироксенов, цепочки соединены между собой ионами Ca с восьмерной и ионами Mg с шестерной координацией. Плотность минералов данного подкласса непостоянна; так, если минерал богат магнием, он имеет пониженную плотность, а железо- или марганецсодержащие минералы обладают достаточно высокой плотностью. Жадеит, один из двух минералов, объединенных общим наименованием «жад», является типичным цепочечным силикатом, входящим в группу пироксенов. [Жад — вязкий и плотный поделочный камень, сложенный либо жадеитом (пироксеном), либо актинолитом (минералом группы амфиболов). Во втором случае он называется нефритом. С древности используется в ювелирном и камнерезном деле.]

В тех случаях, когда тетраэдры соединяются друг с другом тремя общими вершинами, как это характерно для слюд и многих глинистых минералов, в структуре образуются слои или листы непрерывной протяженности, причем каждый из них связан через

катионы металлов с другими аналогичными по строению слоями. Поскольку связь между слоями значительно слабее действующей внутри каждого слоя, то слои оказываются как бы разъединенными друг от друга, подобно листам книги. Следствием такого внутреннего строения являются специфические свойства некоторых минералов этой группы — маслянистость или жирность на ощупь. Для графита это выражается в способности пачкать пальцы или бумагу (графит здесь упомянут только как пример минерала со слоистой структурой, хотя он, разумеется, не является силикатом!). Один из главных минералов слюд — мусковит — является хорошим изолятором, даже его тонкие пластинки обладают этим свойством.

Непрерывный трехмерный каркас характерен для каркасных силикатов, в этом случае тетраэдры соединяются всеми четырьмя вершинами. Примером могут служить минералы группы кварца с общей формулой SiO_2 , где все катионы представлены ионами кремния. Такая структура является электронейтральной, не требующей внедрения в нее дополнительных катионов. В том случае, когда часть ионов кремния замещается ионами других элементов, электрический баланс структуры оказывается нарушенным и для его восстановления необходимо добавление в нее новых катионов.

Такие явления свойственны и некоторым силикатам, например полевым шпатам, где до половины всех имеющихся ионов кремния Si^{4+} может быть заменено ионами алюминия Al^{3+} . Очевидно, что здесь необходим дополнительный положительный заряд, роль которого в кристаллической структуре полевых шпатов могут играть ионы Na^+ или K^+ . Потребность восстановления электронейтральности структуры возникает и для цеолитов, также относящихся к классу силикатов.

Название «алюмосиликаты» присвоено группе минералов, в кристаллической структуре которых часть ионов кремния замещена ионами алюминия. Структуры каркасных силикатов характеризуются как ионными, так и ковалентными химическими связями, что приводит к образованию относительно рыхлых упаковок. Поэтому алюмосиликаты при сравнительно высокой твердости имеют небольшую плотность.

Группа оливина

Данная группа представлена изоморфным рядом минералов форстерит (Mg_2SiO_4) — фаялит (Fe_2SiO_4).

ОЛИВИН (ПЕРИДОТ) $(Mg, Fe)_2SiO_4$

Сингония — ромбическая; кристаллы — призматические (редки); обычно встречается в зернистых агрегатах; спайность — отчетливая.

Цвет — оливково-зеленый, желтый, бурый и т. д.; черта — желтоватая; блеск — стеклянный.

Твердость 6,5—7,0; плотность 3,2—3,3.

Показатель преломления 1,65—1,69; двупреломление 0,038.

Встречается в магматических ультраосновных (дуниты, перидотиты) и основных (базальты и др.) горных породах. [Известна прозрачная золотистая разновидность оливина — хризолит (хризос — по-гречески «золото»). В древности хризолитом называли нынешний топаз за его золотистый оттенок. Плиний ошибочно принял за топаз золотистый оливин с о. Топазиос в Красном море). С тех пор название «хризолит» сохранилось за этой разновидностью оливина, а прежний «хризолит» стали именовать топазом.]

Месторождения: о. Сент-Джон (Зебергед) в Красном море; в Бирме; США (штат Аризона), Норвегии, ФРГ (массив Эйфель). [Крупные массивы оливиновых пород распространены на Урале, Северном Кавказе, в Закавказье, на юге Сибири.]

Группа граната

Эту группу составляют минералы с общей формулой $X_3Y_2Si_3O_{12}$, где X может быть двухвалентными

элементами Са, Mg, Mn или Fe, а Y — трехвалентными Al, Fe или Cr. Поскольку в данной группе широко представлены процессы замещения (как двух-, так и трехвалентные элементы легко заменяют друг друга), приводится описание только конечных членов ряда.

ПИРОП $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$

Сингония — кубическая; кристаллы — ромбододекаэдры, тетрагонтриоктаэдры и комбинации этих форм; встречается также в виде зерен и сплошных агрегатов. [Пироп — по-гречески «подобный огню».]

Цвет — розовый до темно-красного (пурпурного) или ярко-красный (благодаря примеси хрома).

Твердость 7,0—7,5; плотность 3,5—3,8.

Показатель преломления 1,73—1,75.

Встречается в перидотитах и серпентинитах, накапливается в россыпях. [Обычен в качестве спутника алмазов в кимберлитовых трубках.]

Месторождения: в Южной Африке, Австралии, Индии (штат Мадрас).

АЛЬМАНДИН $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$

Сингония — кубическая; кристаллы — ромбододекаэдры, тетрагонтриоктаэдры.

Цвет — темно-красный; черта — белая; блеск — смоляной.

Твердость 7,0—7,5; плотность 4,1—4,3.

Показатель преломления 1,83.

Встречается в метаморфических породах (кристаллических сланцах, гнейсах).

Месторождения: в Шри Ланке, Танзании, США (штат Айдахо, здесь найдены звездчатые четырехлучевые агрегаты).

ГРОССУЛЯР $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$

Сингония — кубическая; кристаллы — ромбододекаэдры, тетрагонтриоктаэдры.

Цвет — ярко-изумрудно-зеленый (благодаря примеси хрома или ванадия), желтый, оранжевый, бурый; черта — белая; блеск — смоляной.

Твердость 6,5—7,0; плотность 3,4—3,6.

Показатель преломления 1,74.

Встречается в контактово-измененных известняках и в кристаллических сланцах.

Месторождения: в Кении (ванадийсодержащая разновидность гроссуляра — тсаволит); в Трансваале, ЮАР (жадоподобный гидрогроссуляр зеленого цвета); в Бразилии, Шри Ланке (гессонит — оранжево-коричневая разновидность гроссуляра).

АНДРАДИТ $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$

Сингония — кубическая, кристаллы — ромбододекаэдры, тетрагонтриоктаэдры.

Цвет — изумрудно-зеленый (примесь хрома) до черного; блеск — стеклянный или смоляной.

Твердость 6,5; плотность 3,7—4,1.

Показатель преломления 1,89.

Встречается в хлоритовых сланцах и серпентинитах, в скалах.

Месторождения: в Уральских горах (хромсодержащая разновидность андрадита — демантоид); в долине р. Ала (Пьемонт, Италия); Калифорнии и Нью-Джерси (США). [Месторождения гранатов в СССР имеются во многих районах: на Урале (в скарных железорудных месторождениях); в Карелии, Казахстане, Забайкалье. Демантоид есть в аллювиальных россыпях по р. Бобровка (Нижнетагильский район).]

Группа эпидота

Эта группа представлена алюмосиликатами, в состав которых входят кальций и окисное железо, заменяемые иногда на закисное железо и магний.

ЦОИЗИТ $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$

Сингония — ромбическая; облик кристаллов призматический (грани призмы обычно иштрихованы); часто образует сплошные зернистые массы; спайность совершенная.

Цвет — серый, розовый (марганецсодержащая разновидность — тулит), пурпурный (танзанит), голубой, зеленый, бурый; блеск — стеклянный.

Твердость 6,5—7,0; плотность 3,3.

Показатель преломления 1,68—1,72.

Встречается в метаморфизованных породах (в областях регионального метаморфизма) и в контактово-измененных известняках.

Месторождения: в Танзании («танзанит»), Финляндии, США (Калифорния). [В СССР обнаружен на горе Юрма (Урал), на Алтае и в других местах.]

ЭПИДОТ $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{OH}$

Сингония — моноклиная, кристаллы — призматические, иногда с редкой штриховкой на гранях; часты двойники; спайность — совершенная.

Цвет — желтый до коричневато-зеленого, черный. [Характерен фисташково-зеленый цвет. Синоним эпидота — фистацит, т. е. минерал, сходный по окраске с фисташковым орехом.] Черта — серая, блеск — стеклянный.

Твердость 6,0—7,0; плотность 3,3—3,5.

Показатель преломления 1,74—1,78.

Встречается в измененных магматических и осадочных породах (в областях регионального метаморфизма).

Месторождения: в Австрии (Унтерзульцбахталь, идеальные кристаллы); в СССР, Японии, Финляндии (Оутокумпу), США (Калифорния). [В СССР месторождения эпидота расположены в основном на Южном Урале. Прекрасными кристаллами славилась Ахматовская копь и Поляковский рудник. На Урале описана разновидность эпидота, названная пушкинитом (зеленовато-желтого или красного цвета).]

Группа пироксенов

Это важная группа породообразующих минералов с общей формулой $\text{X}_2\text{Si}_2\text{O}_6$, где X — Ca, Mg, Fe, Li, Ti, Al или Na.

Выделяются две подгруппы: ромбические пироксены, кристаллизующиеся в ромбической сингонии, имеющие незначительное содержание кальция в своем составе (энстатит, гиперстен); и моноклинные пироксены, относящиеся к моноклинной сингонии, в их составе присутствуют Ca, Na, Al, Fe^{3+} или Li. Пироксены характеризуются наличием двух плоскостей спайности, пересекающихся под углом около 90°.

ЭНСТАТИТ MgSiO_3

Сингония — ромбическая; правильные кристаллы имеют призматический облик; обычны массивные зернистые агрегаты; спай-

ность — средняя. [Название — от греческого слова энстатес, что означает «противный». Такое нелестное имя минерал получил из-за своей тугоплавкости.]

Цвет — бесцветный, желтый, изумрудно-зеленый (примесь хрома), коричневый; блеск — стеклянный. [Разновидность энстатита бронзового оттенка с содержанием FeO от 5 до 14% называется бронзитом.]

Твердость 5,0—6,0; плотность 3,2—3,4.

Встречается в изверженных породах основного состава.

Месторождения: в Австрии (горы Грац), СССР [на Урале, Северном Кавказе, в Закавказье, ряде мест Сибири]; в ФРГ (массив Эйфель), США (Колорадо), Южной Африке (изумрудно-зеленая разновидность из Кимберли).

ДИОПСИД $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$

Сингония — моноклиная; кристаллы — короткостолбчатые призматические; агрегаты — зернистые, сплошные массы; спайность — совершенная.

Цвет — бесцветный, серый, изумрудно-зеленый (примесь хрома), красный до бурого; черта — белая или серая; блеск — стеклянный.

Твердость 5,5—6,5; плотность 3,2—3,3.

Показатель преломления 1,66—1,72.

Встречается в богатых кальцием метаморфических, а также в магматических породах.

Месторождения: в Финляндии Оутокумпу (изумрудно-зеленая разновидность); в СССР (Уральские горы), [диопсидсодержащие скарны и роговики встречаются на Урале, в Средней Азии, Сибири]; в Бирме; Калифорнии (США).

ЖАДЕИТ $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$

Сингония — моноклиная; кристаллы очень редки; обычно наблюдается в плотных зернистых агрегатах; объединяется с нефритом под общим наименованием «жад».

Цвет — изумрудно-зеленый, полупрозрачный («великолепный жад»); светло-зеленый, розовато-лиловый, белый, коричневый, желтый, серый; черта — бесцветная; блеск — стеклянный; излом — неровный, занозистый.

Твердость 6,5—7,0; плотность 3,3; вязкость — очень высокая.

Показатель преломления 1,66.

Встречается в серпентинитах (продуктах изменения ультраосновных, в том числе оливиновых, пород).

Месторождения: в Бирме, США (Калифорния), Новой Зеландии, Мексике. [В СССР — на Памире, в Средней Азии.]

РОДОНИТ MnSiO_3

Сингония — триклинная; кристаллы редки (таблитчатой формы); обычно наблюдается в виде сплошных плотных или зернистых масс; спайность — совершенная.

Цвет — розовый и серовато-розовый до красного, с темными прожилками; блеск — стеклянный.

Твердость 5,5—6,5; плотность 3,5—3,7.

Показатель преломления 1,71—1,75.

Встречается в гидротермальных и контактово-метасоматических месторождениях в ассоциации с минералами марганца и др. [Образуется также в результате регионального метаморфизма осадочных руд марганца.]

Месторождения: Франклин (Нью-Джерси, США); Брокен-Хилл (Новый Южный Уэльс, Австралия); в СССР. [Широко известен у нас красивый поделочный камень — орлец. Он сложен родонитом и другими марганцевыми минералами. Лучшее месторождение орлеца находится близ села Малое Седельниково (Урал); следует упомянуть также месторождения Магнитогорского района на Южном Урале.]

Группа амфиболов

В эту группу входят силикаты, содержащие ион гидроксила (ОН) и характеризующиеся широкими процессами замещения элементов. [Характерная особенность амфиболов — участие в их структуре двойных цепочек тетраэдров $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$, а не одиночных, как в пироксенах.] Плоскости спайности амфиболов пересекаются под углом 120° .

ТРЕМОЛИТ $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Сингония — моноклинная; кристаллы — длиннопризматические, таблитчатые; часты двойники; агрегаты — волокнистые, шестоватые и др.

Цвет — белый, серый, светло-серый, розовый, коричневый; блеск — стеклянный.

Твердость 5,0—6,0; плотность 2,9—3,2.

Встречается в регионально- и контактово-измененных известняках и доломитах. [Часто присутствует также в кристаллических сланцах и роговиках.]

Месторождения: в Италии, Швейцарии, США (Калифорния), Канаде (провинция Онтарио). [В СССР — на Южном Урале (Кочкарский район), в Юго-Западном Прибайкалье (Слюдянский район).]

АКТИНОЛИТ $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Сингония — моноклиная; кристаллы — удлиненные, игольчатые; агрегаты — волокнистые. [От греческих слов актис — луч и литос — камень. Название связано с игольчатыми, лучистыми агрегатами минерала (синоним — лучистый камень). От тремолита отличается главным образом зеленой окраской. Тонковолокнистая разновидность — актинолит-асбест, плотная скрытокристаллическая (спутанно-волокнистая) — нефрит.]

Цвет — зеленый (разных оттенков); блеск — стеклянный.

Твердость 5,0—6,0; плотность 3,0—3,4.

Встречается в метаморфизованных и контактово-измененных известняках.

Месторождения: в Новой Зеландии (нефрит с жадеитом), США (Аляска), Канаде (Британская Колумбия), СССР (Сибирь). Биссолит (волокнистая разновидность актинолита) встречается во многих местах. [В СССР актинолит известен на Урале (в районе Свердловска и Златоуста); нефрит — в Саянах, Иркутской области, Средней Азии; биссолит — в районе так называемой Шайтанской дачи (Урал).]

Группа слюд

Слюды кристаллизуются в моноклинной сингонии и часто образуют псевдогексагональные призмы с совершенной базальной спайностью (параллельной основному пинакоиду). Весьма характерным для минералов данной группы является присутствие в их составе гидроксильной группы (OH).

МУСКОВИТ $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

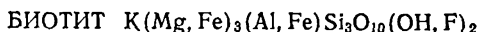
Сингония — моноклиная; кристаллы — таблитчатые, пластинчатые; агрегаты — сплошные, листовато-зернистые, чешуйчатые; спайность — совершенная. [Название происходит от старинного итальянского наименования Москвы — «Муска». Листы прозрачного мусковита вывозились на Запад как «московское стекло».]

Цвет — бесцветный, белый, серый, желтый, коричневый, красный, фиолетовый; черта — бесцветная; блеск — стеклянный.

Твердость 2,5—4,0; плотность 2,7—2,8.

Встречается в гранитах, пегматитах, кристаллических сланцах и осадочных породах.

Месторождения: распространен повсеместно. [В СССР встречается в гранитных пегматитах Северной Карелии, Восточной Сибири (Мамское и Канское месторождения), на Урале (Кыштым), Украине (Жданов).]



Сингония — моноклиная; кристаллы — таблитчатые, столбчатые; агрегаты — сплошные, пластинчатые, чешуйчатые; спайность — совершенная.

Цвет — черный, бурый, иногда с зеленоватым оттенком; блеск — стеклянный или металлический.

Твердость 2,5—3,0; плотность 2,7—3,4.

Встречается в гранитах, пегматитах, кристаллических сланцах и других породах.

Месторождения: распространен повсеместно. [Огромные пластинчатые кристаллы (до 7 м²) обнаружены в пегматитах Гренландии и Скандинавии. В СССР — в Ильменских горах, на реке Слюдянка (Борщовочный краж).]

Группа серпентина

Минералы этой группы обычно кристаллизуются в моноклинной сингонии; характерны волокнистые и чешуйчатые агрегаты (рис. 51).



Сингония — моноклиная; облик кристаллов — таблитчатый (кристаллы редки); образует листоватые, чешуйчатые, волокнистые (агалит), часто плотные (жировик) массы; спайность — совершенная.

Цвет — светло-, темно-зеленый, светло-серый, бурый; черта — белая; блеск — стеклянный.

Твердость 1,0; плотность 2,5—2,8.

Является продуктом гидротермального изменения богатых магнием ультраосновных пород.

Месторождения: Лизард, Корнуолл (Великобритания); Трансвааль (Южная Африка); Калифорния (США). [В СССР из-

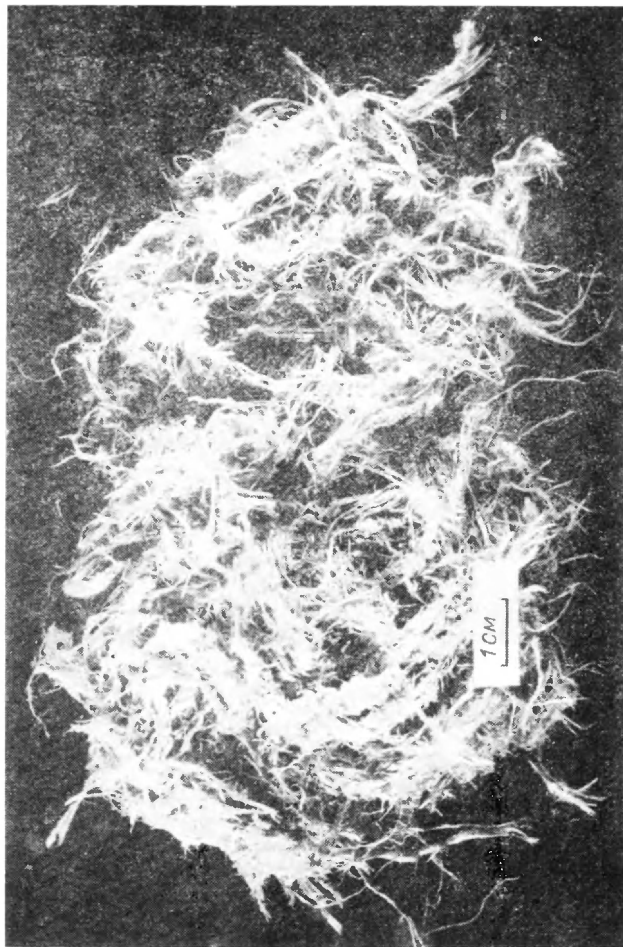


Рис. 51. Серпентин-асбест.

вестные месторождения талька — Нижнеисетское и Шабры на Среднем Урале, Миасская дача на Южном Урале.]

Очищайте образцы талька лишь разбавленным раствором соляной кислоты.

Группа полевых шпатов

Это — наиболее распространенные породообразующие минералы в земной коре. Они входят в состав большинства горных пород. [Полевые шпаты составляют 50—60% от общей массы земной коры. Они входят в состав большинства магматических (около 60% от общего количества полевых шпатов) и многих метаморфических (до 30%) пород (главным образом это кристаллические сланцы); на долю осадочных пород приходится 10—11% полевых шпатов.] Общая формула минералов данной группы может быть записана в виде $X(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_8$, где X — Ca, Na, K или Ba (хотя бариевые полевые шпаты встречаются редко).

Полевые шпаты подразделяются на три типа: KAlSi_3O_8 (ортоклаз, санидин, микроклин), $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (альбит) и $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (анортит). Существует непрерывный ряд, крайними членами которого являются альбит и анортит; имеется также ряд, образованный минералами, промежуточными по составу между чисто калиевыми и натриевыми полевыми шпатами. Первый ряд известен как подгруппа плагиоклазов, второй — как подгруппа щелочных полевых шпатов.

Плагиоклазы представлены следующими минералами {в скобках указано относительное содержание в каждом из них чистого альбита}: альбит (100—90%), олигоклаз (90—70%), андезин (70—50%), лабрадор (50—30%), битовнит (30—10%), анортит (10—0%).

{Ортоклаз — по-гречески означает «прямо раскалывающийся» (угол между плоскостями спайности

этого минерала равен 90°), а плагиоклаз — «косо раскалывающийся», так как соответствующий угол у этого минерала составляет 86° .]

[Подгруппа плагиоклазов]

АЛЬБИТ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Сингония — триклинная; кристаллы — таблитчатые; часты двойники (полисинтетические); спайность — совершенная.

Цвет — белый, бесцветный, голубоватый, коричневый или красноватый; черта — белая; блеск — стеклянный.

Твердость 6,0—6,5; плотность 2,6.

Встречается в гранитах, пегматитах, кварцевых жилах, кристаллических сланцах.

Месторождения: очень широко распространен; хорошо образованные кристаллы известны в районе Сен-Готарда (Швейцария); Бурж-д'Уазанс (Изер, Франция), в Нью-Мексико и Аризоне (США). [В СССР пегматитовые жилы с альбитом встречаются на Урале (Мурзинка, Ильменские горы), в Забайкалье.]

ОЛИГОКЛАЗ $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$

Сингония — триклинная; спайность — совершенная; кристаллы и массивные агрегаты легко раскалываются по плоскостям спайности.

Цвет — серый, зеленоватый, желтый до коричневого или красноватого; полупрозрачная разновидность олигоклаза — «солнечный камень» (авантюрин) — обладает золотистым искрящимся отливом, что связано с отражением света от мельчайших включений гематита; черта — белая; блеск — металлический.

Твердость 6,0—6,5; плотность 2,6.

Встречается в пегматитах, гранитах и сиенитах.

Месторождения: в Норвегии, Канаде, США (Калифорния), СССР.

ЛАБРАДОР $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_{3-2}\text{O}_8$

Сингония — триклинная; обычно образует таблитчатые кристаллы или сплошные зернистые массы; часты двойники; спайность — совершенная.

Цвет — белый или серый, с красивой интерференционной окраской — игрой цветов, главным образом в синих и зеленых тонах, что связано с тонкопластинчатым двойникованием кристаллов.

Твердость 6,0—6,5; плотность 2,6—2,7.

Входит в состав магматических (основных) и метаморфических пород.

Месторождения: на п-ове Лабрадор (Канада); в Норвегии, США (Калифорния). [Лабрадориты — темно-серые и черные породы с синим отливом — имеются во многих районах СССР. На Среднем Урале известны альбиты с «лунным» отливом.]

АНОРТИТ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Сингония — триклинная; кристаллы — призматические, короткостолбчатые; часты двойники; обычно образует сплошные, зернистые массы; спайность — совершенная.

Цвет — белый до серого, с разными оттенками; черта — белая; блеск — стеклянный.

Твердость 6,0—6,5; плотность 2,7.

Встречается в магматических и вулканических основных породах. [Обнаружен в зонах контактов кислых магматических пород с известняками.]

Месторождения: повсеместно распространенный породообразующий минерал.

[Подгруппа ортоклаза]

ОРТОКЛАЗ KAlSi_3O_8 (рис. 52)

Сингония — моноклинная; кристаллы — короткопризматические; часты двойники; агрегаты — таблитчатые, сплошные массы; спайность — совершенная.

Цвет — белый, серый, желтоватый и др.; черта — белая; блеск — стеклянный, на плоскостях спайности — перламутровый.

Твердость 6,0—6,5; плотность 2,5—2,6.

Встречается в изверженных, главным образом кислых, породах, пегматитах, кристаллических сланцах, кварцевых жилах, а также в осадочных породах.

Месторождения: в Малагасийской Республике (прозрачная разновидность желтого цвета); ФРГ (массив Эйфель, бесцветный минерал санидин); Италии (Бовино, сдвойникованные кристаллы); ЧССР (Карлови-Вари); в Шри Ланке, Индии и Бирме («лунный камень» — адуляр, опалесцирующая разновидность ортоклаза). [В СССР пегматиты с ортоклазом известны близ с. Мурзинка (Урал), в Борщовочном краже (Забайкалье).]

МИКРОКЛИН KAlSi_3O_8

Сингония — триклинная; кристаллы — короткопризматические; спайность — совершенная.



Рис. 52. Друза кристаллов ортоклаза, альбита и мусковита.

Цвет — белый, серый с белыми полосами, розовый и т. д.; блеск — стеклянный или перламутровый.

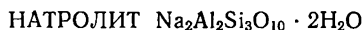
Твердость 6,0—6,5; плотность 2,5—2,6.

Встречается в гранитах и пегматитах, кристаллических сланцах и кварцевых жилах.

Месторождения: в Зимбабве, США (Колорадо, Южная Дакота и Виргиния), Бразилии; Мексике. [В СССР — в пегматитах на Среднем Урале, в Карелии. Известные месторождения амазонита (зеленая разновидность микроклина) находятся в Ильменских горах (Урал).]

Группа цеолитов

Цеолиты представляют собой водные алюмосиликаты, в которых «цеолитная» вода может удаляться при нагреве и вновь поглощаться минералом во влажной среде [без нарушения его кристаллической структуры].



Сингония — ромбическая; кристаллы — удлиненно-призматические, игольчатые; часто с вертикально штрихованными гранями; агрегаты — волокнистые и др.; спайность — совершенная.

Цвет — бесцветный, белый, с желтоватым и другими оттенками; блеск — стеклянный.

Твердость 5,0—5,5; плотность 2,2.

Встречается в пустотах (миндалинах, жеодах) базальтов, в нефелиновых сиенитах и других породах.

Месторождения: гора Сент-Илер (Квебек, Канада); Бишоптон, Стратклайд (Великобритания); Белфаст (Северная Ирландия). [В СССР — в вулканических породах Крыма и Кавказа, в пегматитах нефелиновых сиенитов Вишневых, Ильменских гор (Урал) и Хибин.]

АНАЛЬЦИМ $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Сингония — кубическая; образует тетрагонтриоктаэдры, реже — приплюснутые на гранях кубы; обычны пластинчатые двойники, зернистые агрегаты. [Анальцис — по-гречески «бессильный»; такое название минерал получил за свойство почти не электризоваться при трении.]

Цвет — белый с зеленоватым и желтоватым оттенком, розовый; блеск — стеклянный.

Твердость 5,0—5,5; плотность 2,2.

Встречается в базальтах и других изверженных породах.

Месторождения: распространен повсеместно; хорошо образованные кристаллы обнаружены в Айл-оф-Скай (Великобритания). [В СССР — в анальцимовых диабазах (тешенитах) Кавказа, в пегматитах Ильменских гор.]

СТИЛЬБИТ (ДЕСМИН) $\text{NaCa}_2\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$

Сингония — моноклинная; образует двойники прорастания с крестообразным сечением, а также снопообразные агрегаты; спайность — совершенная.

Цвет — белый, серый, оранжевый, розовый; черта — бесцветная; блеск — стеклянный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 2,1—2,2.

Встречается в пустотах и трещинах базальтов и других изверженных пород, в гидротермальных жилах, а также в отложениях горячих источников.

Месторождения: Айл-оф-Скай (Великобритания); в Швейцарии, Калифорнии (США). [В СССР — Карагач, гора Карадаг (Крым), в районе Боржом (Грузия), на Ангаре (Иркутская область)].

Прочие силикаты

СОДАЛИТ $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$

Сингония — кубическая; образует ромбододекаэдры; агрегаты — сплошные, зернистые массы; спайность — отчетливая.

Цвет — темно-синий, бесцветный; характерны белесые полосы (включения) кальцита; черта — бесцветная; блеск — стеклянный. Твердость 5,5—6,0; плотность 2,1—2,4.

Встречается в нефелиновых сиенитах, пегматитах.

Месторождения: в СССР [в ильменских горах (Южный Урал), Зеравшане (Таджикистан), Ловозерском массиве (Кольский полуостров), на Украине]; в Бирме, Бразилии, Канаде (провинция Онтарио).

ЦИРКОН $ZrSiO_4$

Сингония — тетрагональная; кристаллы — короткостолбчатые, призматические; метамиктные разновидности — в виде зернистых агрегатов. [Это минералы, богатые радиоактивными веществами, в которых радиоактивное излучение привело к изменениям и разрушениям кристаллической структуры при сохранении внешней формы кристаллов; метамиктные разновидности циркона получили название малакона и цертолита. Циркон входит в группу ортосиликатов; название — от персидского царгун — «цвет золота».]

Цвет — красный, коричневый, зеленый, желтый, бесцветный (при нагревании становится голубоватым); блеск — алмазный (у метамиктных разновидностей — жирный).

Твердость 7,5 (у метамиктов 6,0); плотность 4,6 (у метамиктов 4,0).

Показатель преломления 1,92—2,01; дисперсия 0,038.

Встречается в магматических и некоторых метаморфических породах, также в пегматитах.

Месторождения: в Таиланде, Шри Ланке (метамиктные разновидности зеленовато-бурого цвета), Бирме, Франции (Экспель-Сен-Марсель, красные цирконы), Австралии, США (штат Колорадо).

ДАНБУРИТ $CaB_2(SiO_4)_2$

Сингония — ромбическая; кристаллы — призматические, в поперечном сечении — характерная ромбическая форма.

Цвет — желтый, золотисто-желтый, светло-розовый, коричневый, бесцветный; черта — бесцветная; блеск — стеклянный.

Твердость 7,0; плотность 3,0.

Показатель преломления 1,63—1,64.

Встречается в доломитах, в ассоциации с полевыми шпатами.

Месторождения: в США (Дэнбери, Коннектикут); Бирме (Могок, прозрачные золотисто-желтые кристаллы); Швейцарии (кантон Ури).

БЕРИЛЛ $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ (рис. 53)

Сингония — гексагональная; кристаллы призматические, столбчатые; агрегаты — шестоватые, зернистые, сплошные.

Цвет — ярко-зеленый (изумруд); зеленовато-голубой (аквамарин); розовый (морганит или воробьевит [цезийсодержащая разновидность берилла, названная так В. И. Вернадским в честь русского минералога В. И. Воробьева]); золотисто-желтый (гелиодор); бесцветный (гошенит); красный (биксбит), эту разновидность лучше называть просто «красный берилл» во избежание путаницы [автор имеет в виду биксбит $(\text{Mn}, \text{Fe})_2\text{O}_4$, с которым очень легко по названию спутать данный минерал]; блеск — стеклянный.

Твердость 7,0—8,0; плотность 2,6—2,9.

Показатель преломления 1,56—1,59.

Встречается в гранитных пегматитах, в пневматолитовых образованиях (грейзенах), гидротермальных жилах.

Месторождения: в Колумбии (изумруд) [в окрестностях Мусо находится крупнейшее в мире месторождение изумрудов (в битуминозных известняках); генетически связано с пегмати-

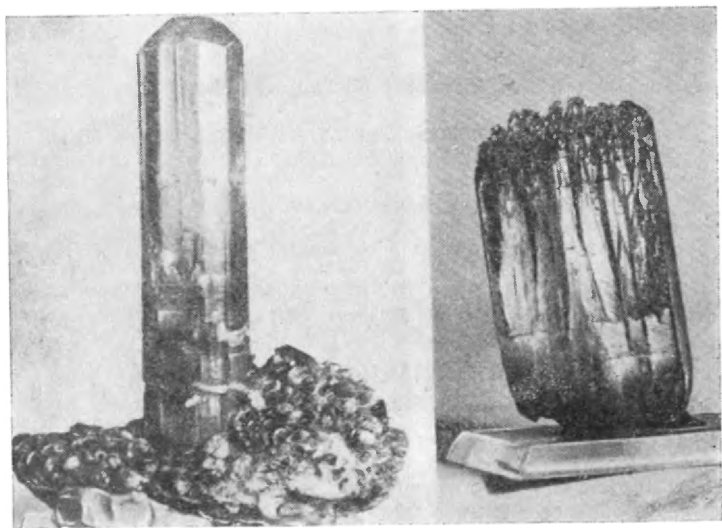


Рис. 53. Берилл (справа — естественные фигуры растворения кристалла).

тами]; СССР, Зимбабве, Индии, Танзании; Южной Африке; Малагасийской Республике (аквамарин), Намибии (гелиодор), Бразилии (аквамарин, гелиодор), США (в том числе красный берилл в штате Юта). [В Олбани США обнаружены гигантские кристаллы берилла (5×15 м) массой до 16 т.]

ХРИЗОКОЛЛА $\text{Cu}_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Сингония — ромбическая; встречается в форме микроскопических игольчатых кристаллов, в радиально-лучистых сростках, чаще в натечных, гроздевидных агрегатах, опаловидных и землистых массах.

Цвет — голубой, голубовато-серый, голубовато-зеленый, бурый до черного; блеск — стеклянный или слабый матовый.

Твердость 2,0—4,0; плотность 2,0—2,4.

Встречается в зоне окисления сульфидных месторождений меди.

Месторождения: Лизард (Корнуолл) и Рафтен-Гилл (Уэльс, Великобритания); Шаба (Заир); в Пенсильвании (США). [В СССР — на Урале (издавна известны в Турьинских рудниках и Меднорудянске разновидности хризоколлы — демидовит и асперолит), в Центральном Казахстане (Успенское месторождение; Джезказган).]

ПЕКТОЛИТ $\text{NaCa}_2\text{Si}_3\text{O}_8\text{OH}$

Сингония — триклинная; кристаллы — игольчатые; обычно — в радиально-лучистых или сферолитовых агрегатах; спайность — совершенная.

Цвет — белый, блеск — шелковистый.

Твердость 4,5—5,0; плотность 2,7—2,8.

Встречается в пустотах эффузивных пород (базальтов, диабазов).

Месторождения: Уирдейл, Дарем, Рато, Эдинбург (Великобритания); Франклин (Нью-Джерси, США).

ТОПАЗ $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH}, \text{F})_2$

Сингония — ромбическая, образует хорошие призматические кристаллы, часто с вертикальной штриховкой на гранях призмы; спайность — совершенная.

Цвет — красновато-коричневый, оранжевый, желтый, розовый, голубой, бесцветный; блеск — стеклянный.

Твердость 8,0; плотность 3,53.

Показатель преломления 1,62—1,64.

Встречается в пегматитах, грейзенах, в гидротермальных (кварцевых) жилах.

Месторождения: в Бразилии, Нигерии, Корнуолле (Великобритания), СССР, Бирме. [Прекрасные розовые топазы известны на о. Мадагаскар (Малагасийская Республика), в Японии. В СССР — на Урале, Украине, в Восточной Сибири.]

ЭВКЛАЗ $\text{BeAlSiO}_4\text{OH}$

Сингония — моноклинная; образует длиннопризматические кристаллы; спайность — совершенная.

Цвет — голубой, серый, бесцветный; блеск — стеклянный.

Твердость 7,5; плотность 3,0—3,1.

Встречается в гранитных пегматитах, слюдистых сланцах.

Месторождения: в Бразилии, СССР, Танзании.

АКСИНИТ $(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mo})_3\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$

Сингония — триклинная; характерны клиновидные, уплощенные кристаллы с острыми двугранными углами. [Отсюда название минерала: аксине — по-гречески «топор».]

Цвет — красновато-коричневый, [розовый, красный, фиолетовый, белый, серый, желтый]; сильно плеохроирует; черта — бесцветная; блеск — стеклянный.

Твердость 6,5—7,0; плотность 3,3; показатель преломления 1,68—1,69.

Встречается в контактово-измененных породах вместе с кальцитом и кварцем.

Месторождения: в Бразилии.

ТУРМАЛИН (рис. 54)



Сингония — тригональная; кристаллы — призматические с вертикальной штриховкой на гранях призм; в поперечном сечении характерны формы сферических треугольников. [Часто встречается в шестоватых, радиально-лучистых («турмалиновые солнца»), спутанно-игольчатых, волокнистых агрегатах, реже — в виде сплошных, зернистых масс.]

Цвет — красный, голубой, различные оттенки зеленого, желтого, оранжевого, коричневый, черный; характерны полихромные разновидности [например, кристалл с одного конца — бесцветный, с другого — интенсивного черного цвета; в поперечном изломе кристалл красного цвета, а с поверхности — различных оттенков зеленого и т. д.]; очень сильный плеохроизм.

Твердость 7,0; плотность 3,0—3,1.

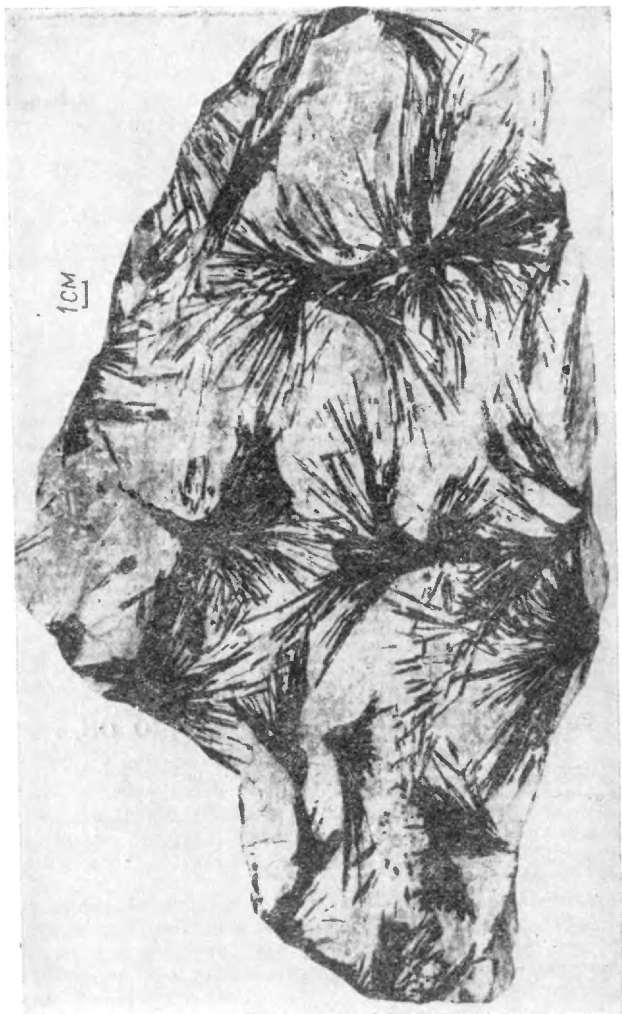


Рис. 54. Снопы турмалина в сланцах.

Показатель преломления 1,62—1,64; двупреломление 0,018. Встречается в пегматитах, грейзенах, кварцевых жилах и в метаморфических породах (кристаллических сланцах).

Месторождения: в США (Калифорния), на о. Эльба, в Бразилии, Мозамбике, Малагасийской Республике.

ПРЕНИТ $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Сингония — ромбическая; образует короткостолбчатые, таблитчатые кристаллы; наблюдается обычно в виде сплошных, зернистых масс, сталактитовых и почковидных агрегатов.

Цвет — светло- и темно-серый; белый, желтый; черта — бесцветная.

Твердость 6,0—6,5; плотность 2,9.

Встречается в виде жильного минерала в гидротермально измененных основных породах, в гранитах и метаморфизованных известняках.

Месторождения: в различных районах Шотландии, в Швейцарии, Франции, США. [В СССР — на Урале, Северном Кавказе, в Крыму, Закавказье, на Кольском полуострове, Новой Земле.]

СТАВРОЛИТ $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Сингония — моноклинная, образует призматические кристаллы; характерны крестообразные двойники. [Отсюда название минерала (ставрос — по-гречески «крест»).]

Цвет — красновато-бурый до буровато-черного; черта — бесцветная или серая; блеск — смоляной.

Твердость 7,0—7,5; плотность 3,6—3,8.

Встречается в кристаллических слюдистых сланцах и в других породах.

Месторождения: в Швейцарии (кантон Тессин), Франции, США (Массачусетс). [Богатая марганцем (11,6%) разновидность ставролита — нордмаркит (марганставролит) — присутствует в марганцевом месторождении Нордмарк (Швеция). В СССР ставролит есть на Южном Урале, в Забайкалье, Карелии, на Кольском полуострове.]

КАЛАМИН (ГЕМИМОРФИТ) $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Сингония — ромбическая; образует тонкотаблитчатые кристаллы, часто с вертикальной штриховкой на гранях; чаще наблюдается в виде почковидных и сталактитовых масс; спайность — совершенная.

Цвет — бесцветный, белый, голубовато-серый; черта — бесцветная; блеск — атласный.

Твердость 4,5—5,0; плотность 3,4—3,5.

Встречается в зоне окисления свинцово-цинковых сульфидных месторождений, а также в карбонатных породах и пегматитах.

Месторождения: Рафтен-Гилл (Уэльс, Великобритания) — правильные кристаллы зеленого цвета, а также сосцевидные нарастания; Мапими, Дуранго (Мексика); в Калифорнии (США). [В СССР — месторождения Восточного Забайкалья (имеются крупные кристаллы), Центрального Казахстана.]

АПОФИЛЛИТ $\text{KCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{F}, \text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Сингония — тетрагональная; кристаллы — псевдокубические; спайность — совершенная.

Цвет — бледно-желтый до белого, серый, светло-зеленый, красный; черта — белая; блеск — стеклянный.

Твердость 4,5—5,0; плотность 2,3—2,4.

Встречается в пустотах основных пород (базальтов, диабазов).

Месторождения Айл-оф-Скай (Великобритания); в Бразилии, Мексике; Индии.

ФОСФАТЫ

Фосфаты составляют обширный и интересный класс, к которому относится значительное число разнообразных по составу минеральных видов. Многие из них образуют красивые кристаллы и обладают ярким цветом. Вместе с тем фосфаты имеют большое промышленное значение как сырье для производства удобрений. [Хотя общее количество фосфатов и их аналогов в земной коре относительно невелико (всего 0,7—1 вес. %), они представлены более чем 200 минералами и играют весьма существенную роль в жизнедеятельности растительных и животных организмов.]

Основу состава фосфатов определяет фосфатный анион $(\text{PO}_4)^{3-}$, который, в отличие от четырехвалентного кремнекислородного тетраэдра, является трехвалентным. Поскольку фосфор пятивалентный (5+), а кислород — двухвалентный (2—), ясно, из чего складывается валентность данного соединения. Как и в си-

ликалах, фосфатные тетраэдры образуют парные и кольцевые структуры, однако более сложные типы структур этому классу обычно не свойственны. Характерны для фосфатов островные структуры.

Из рассматриваемых минералов наиболее важное значение имеет апатит; он встречается во многих магматических породах, а также содержится в зубах и костях животных и входит в состав различных органических остатков. Кости ископаемых животных служат основным источником получения фосфора. [Подавляющую долю фосфора, его солей и фосфорных удобрений получают сейчас из залежей в осадочных породах и из нефелиновых сиенитов.] Фосфаты характеризуются невысокой твердостью и сравнительно небольшой плотностью.

[Основные безводные фосфаты]

АПАТИТ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$

Сингония — гексагональная; кристаллы — призматические, короткостолбчатые, таблитчатые. [Характерны также тонкозернистые агрегаты и землистые массы. Широко распространены конкреции и желваки апатита в осадочных породах, известные под общим названием фосфоритов.]

Цвет — желтовато-зеленый, голубой, фиолетовый, бурый, бесцветный; черта — белая; блеск — стеклянный.

Твердость 5,0; плотность 3,1.

Показатель преломления 1,63—1,64.

Встречается в магматических и осадочных породах, пегматитах, гидротермальных жилах.

Месторождения: в Мексике (Дуранго); Канаде (Квебек, Онтарио); Бирме. [Крупнейшее в мире месторождение апатита находится на Кольском полуострове в районе Кировска. Крупные кристаллы апатита встречены в пегматитах Слюдянского месторождения (Забайкалье), на р. Мама (Восточная Сибирь), а также на Южном Урале.]

ПИРОМОРФИТ $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$

Сингония — гексагональная; кристаллы — призматические, столбчатые и др.; агрегаты — почковидные и шаровидные.

Цвет — зеленый, желтый, бурый; черта — белая; блеск — алмазный, жирный.

Твердость 3,5—4,0; плотность 7,0.

Встречается в зоне окисления свинцовых, свинцово-цинковых и других месторождений.

Месторождения: в Великобритании (Англия, Шотландия); Австралии (Брокен-Хилл, Новый Южный Уэльс); Бирме. [В СССР — в зоне окисления Березовского золоторудного месторождения (Урал). Прекрасные кристаллы пироморфита обнаружены в Шилкинском и Зерентуевском месторождениях Восточного Забайкалья.]

[Основные водные фосфаты]

БИРЮЗА $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot (4 \div 5)\text{H}_2\text{O}$

Сингония — триклинная; кристаллы (короткопризматические) очень редки; обычно образует почковидные агрегаты, сплошные массы или корки; спайность — совершенная.

Цвет — небесно-голубой до зеленовато-голубого, зеленый, серый; блеск — восковой.

Твердость 5,0—6,0; плотность 2,6—2,8.

Образуется в результате выветривания пород, богатых глиноземом, при воздействии на них поверхностных медьсодержащих вод. [Бирюза возникает также за счет ископаемых костей и зубов животных («костяная бирюза», или одонтолит).]

Месторождения: Маданское и другие в Иране (лучшие сорта ювелирной бирюзы); Линч (Виргиния, США), в Египте. [В СССР — большей частью в Средней Азии (Каратобе, Нура-тау).]

ВАВЕЛЛИТ $\text{Al}_3(\text{OH})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Сингония — ромбическая; кристаллы — игольчатые; агрегаты — радиально-лучистые шаровидной и других форм; спайность — совершенная.

Цвет — серый, белый, желтовато-серый, коричневый, бесцветный; блеск — стеклянный.

Твердость 3,0—4,0; плотность 2,4.

Встречается в гидротермальных жилах и в фосфоритах.

Месторождения: Арканзас (США); Барнстап (Девоншир, Великобритания). [В СССР — Шишимские горы (Урал), в Нерчинском районе (Забайкалье).]

ТОРБЕРНИТ $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot (8 \div 12)\text{H}_2\text{O}$

Сингония — тетрагональная; кристаллы — таблитчатые мелкие; агрегаты — чешуйчатые, порошковатые; спайность — совершен-

ная. [Торбернит и отенит входят в группу так называемых урановых слюдов, относящихся к основным водным фосфатам.]

Цвет — изумрудно-зеленый; черта — бледно-зеленая; блеск — стеклянный.

Твердость 2,0—2,5; плотность 3,2.

Встречается в пегматитах и других породах.

Месторождения: в Корнуолле (Великобритания), Северной Каролине (США), ФРГ.

ОТЕНИТ $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot (10 \div 12)\text{H}_2\text{O}$

Сингония — тетрагональная; кристаллы — таблитчатые; агрегаты — чешуйчатые, корковые; спайность — совершенная.

Цвет — ярко-желтый, светло- и темно-серый; блеск — стеклянный или матовый (тусклый); сильно флюоресцирует (в желтовато-зеленых тонах).

Твердость 2,0—2,5; плотность 3,2.

Встречается в зонах окисления урановых месторождений и урансодержащих пегматитов.

Месторождения: Сент-Остелл и Редрут (Корнуолл, Англия); в ФРГ, Австралии.

[Нормальные водные фосфаты]

ВИВИАНИТ $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Сингония — моноклинная; кристаллы — призматические, шестоватые, игольчатые; встречается в форме гибких пластинок; спайность — совершенная.

Цвет — первоначально бесцветный, при окислении изменяется до темно-зеленого или синего, темно-красного или черного; черта — бесцветная до бурой или темно-синей; блеск — стеклянный до перламутрового.

Твердость 1,5; плотность 2,7.

Встречается в рудных жилах и пегматитах, где образуется в результате разложения фосфатов. [Встречается также в осадочных железорудных месторождениях. Известны кристаллически-лучистые агрегаты вивианита в месторождениях бурых железняков Крыма и на Таманском полуострове.]

Месторождения: Поопо (Боливия); Сент-Агнес (Корнуолл, Англия); в Камеруне.

ЛУДЛАМИТ $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Сингония — моноклинная; кристаллы — таблитчатые; образует также сплошные массы; спайность — совершенная.

Цвет — ярко-зеленый до яблочно-зеленого; блеск — смоляной.

Твердость 4,5; плотность 5,5.

Встречается в зонах окисления рудных месторождений.

Месторождения: Уилл-Джейн, Труро (Корнуолл, Англия); Хагендорф (Бавария, ФРГ).

ВАРИСЦИТ $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Сингония — ромбическая; кристаллы (октаэдрического облика) редки; обычно встречается в виде желваков, конкреций.

Цвет — от светло- до изумрудно-зеленого; блеск — восковой.

Твердость 3,5—4,5; плотность 2,6.

Образуется в богатых глиноземом породах под воздействием фосфорсодержащих поверхностных вод.

Месторождения: Фейрфилд (Юта); в Калифорнии, Неваде (США), ФРГ, Австралии, Бразилии.

Описанные выше представители некоторых групп фосфатов являются наиболее распространенными. Существует много минералов за пределами этих групп.

АРСЕНАТЫ И ВАНАДАТЫ

Аналоги фосфатов — арсенаты и ванадаты — также образуют красивые кристаллы. С фосфатами их сближает сходство кристаллической структуры, основой которой является тетраэдр типа XO_4 , где X представлен мышьяком (As) либо ванадием (V).

МИМЕТЕЗИТ $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$

Сингония — гексагональная; кристаллы — призматические, игольчатые и т. д. [Название происходит от греческого миметес — «подражаю», за сходство с пироморфитом.]

Цвет — ярко-желтый, оранжевый, зеленый, бурый, бесцветный; [блеск — жирный, полудиафаный].

Твердость 3,5—4,0; плотность 7,3.

Встречается в зоне окисления свинцово-цинковых месторождений.

Месторождения: Цумб (Намибия); Дуранго (Мексика); Ледхиллс (Шотландия). [В СССР кристаллы и почковидные агрегаты миметезита встречены в Восточном Забайкалье и в Казахстане.]

ВАНАДИНИТ $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$

Сингония — гексагональная; кристаллы — призматические или игольчатые; агрегаты — шаровидные, почковидные и др.

Цвет — ярко-красный (до оранжевого), бурый; черта — белая или желтая; блеск — смоляной.

Твердость 3,0; плотность 6,9.

Встречается в зоне окисления свинцово-цинковых месторождений.

Месторождения: в Шотландии (Великобритания); Мибладен (Марокко); Колорадо (США).

БЕЙЛДОНИТ $(\text{Pb}, \text{Cu})_3(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_2$

Сингония — моноклинная; образует зернистые массы, наблюдается в виде конкреций и волокнистых агрегатов.

Цвет — желтый, зеленый; блеск — смоляной.

Твердость 4,5; плотность 5,5.

Встречается в зоне окисления сульфидных месторождений меди.

Месторождения: Сент-Дей (Корнуолл, Великобритания); Цумеб (Намибия).

В структуре оставшихся не рассмотренными молибдатов и вольфрамов так же имеется анион XO_4 , где X — это молибден (Mo) или вольфрам (W) соответственно. В этих группах идеальные тетраэдры претерпевают некоторые структурные изменения.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Авантюрин 97, 176

Авантюризация 97

Аварит 135

Агат 45, 147

Агрегаты

— волокнистые 97, 143, 151, 171—173, 183, 191

— гроздевидные 68, 152, 159, 182

— дендритовые 65, 129, 133

— звездчатые 149, 157

— землистые 143, 144, 157, 182, 187

— зернистые и сплошные массы 68, 129, 133, 135, 137, 139, 140, 143, 144, 151, 152, 160, 167—169, 172, 173, 176, 179, 180, 181, 183, 185, 187

— листоватые 131, 152, 156, 167, 172, 191

— натечные 149, 159, 182

— почковидные 68, 138, 140, 152, 187, 188, 190, 191

— радиально-лучистые 68, 157, 179, 182, 183, 185, 186, 188

— сетчатые 68

— чешуйчатые 83, 135, 152, 172, 173, 188, 189

— шаровидные 68, 95, 157, 159, 182, 187, 188, 191

— шестоватые 83, 135, 152, 172, 173, 188, 189

Адамин 120

Адуляр («лунный камень») 97, 177

Адуляризация 97

Азурит 23, 51, 73, 162

Азурмалахит 160

Аквамарин 96, 181, 182

Аксинит 53, 82, 107, 109, 183

Актинолит 55, 107, 109, 147, 172

Актинолит-асбест 172

Алебастр 143

Александрит 69, 145

Алмаз 49, 59, 67, 72, 79, 80, 94—96, 98, 106—109, 120, 121, 132, 133, 167

Альбит 23, 39, 55, 82, 97, 107, 175—178
 Альмандин 55, 107, 109, 167
 Алумосиликаты 166
 Амазонит 23
 Аметист 46, 91, 146, 147, 149
 Аморфные вещества 62, 70, 112
 Амфиболы 23, 39, 83, 164, 171
 Анализ
 — рентгеноструктурный 62, 99, 100
 — химический 122, 126, 127
 Анальцим 42, 109, 179
 Анатаз 55, 150
 Ангидрит 49, 136
 Англезит 72, 107, 109, 120, 144
 Андалузит 52, 107
 Андезин 39
 Андезиты 38
 Андрадит 23, 53, 109, 168
 Анортит 39, 175, 177
 Анортозиты 38
 Антимонит («сурьмяный блеск») 73, 81, 107, 139
 Антраконит 156
 Апатит 42, 44, 71, 83, 84, 106, 107, 109, 120, 187
 Апофиллит 107, 186
 Арагонит 120, 155, 157, 158
 Аргиллиты 46
 Арсенаты 190
 Арсенопирит 73, 107, 140
 Асбест 72, 149
 Асперолит 182
 Астеризм (звездный эффект) 98
 Аурипигмент 23

Б

Базальты 33, 35, 38, 40, 129, 179, 182, 186
 Барит 44, 49, 81, 107, 136, 143
 Бейлдонит 191
 Берилл 42, 59, 83, 84, 90, 107, 109, 181, 182
 Биксбит 181
 Биотит 39, 55, 109, 173
 Бирюза 23, 107, 109, 188
 Биссолит 24, 172
 Битовнит 175
 Блеклые руды 142

Борнит 44, 73, 96, 107, 109, 137, 145
Брекчий осадочные 47
Брикеты угольные 123
Бриллиант 98
Бронзит 170
Брукит 150
Бумажный шпат 156
Бурнонит 73, 107, 109, 142

В

Вавеллит 107, 109, 188
Вакансии 91
Ванадаты 190
Ванадинит 23, 191
Варисцит 109, 190
Везувиан (идокраз) 55, 81
Вивинит 26, 73, 107, 109, 189
Виллемит 23, 121
Висмут самородный 107, 133
Витерит 120, 155, 159
«Волосатик» 147
Волластонит 53, 55
Воробьевит 181

Г

Габитус кристаллов 67, 78
Габбро 38
Гагат 50
Галенит 44, 71, 73, 79, 107, 109, 138, 140, 142, 144
Галит 23, 25, 49, 71, 107, 109, 153
Галоиды 108, 153
Геденбергит 53
Гелиодор 181, 182
Гелиотроп (кравик) 147
Гематит 49, 53, 66, 73, 84, 107, 109, 144, 152, 176
Гётит 109
Гиалит 150
Гидротермы 42—45, 131
Гиперстен 55, 169
Гипс 23, 46, 49, 106, 107, 110, 121, 134, 142
Глинозем 188, 190
Гнейсы 134, 150, 167

«Голубой Джон» 154
Гониометр 75
Горный хрусталь 61, 116, 147—149
Гошенит 181
Гранаты 23, 44, 52, 53, 79, 80, 163, 166
Граниты 38, 40, 134, 145, 173, 176, 185
Графит 59, 73, 92, 107, 109, 164
Грейзены 151, 154, 181, 183, 185
Гриноцит 93
Гроссуляр 53, 55, 107, 167

Д

Данбурит 42, 180
Датолит 53, 109
Двойники, тройники кристаллов 69, 71, 97, 104, 132, 137, 138, 140, 142, 147, 150, 151, 156, 157, 159, 171, 176, 177, 179, 185
Двупреломление 87, 88, 100, 113
Демантоид 23, 168
Демидовит 182
Деформации кристаллов 63, 64, 74
Диабазы 179, 182, 186
Диморфизм 59
Диопсид 53, 55, 107, 109, 121, 170
Диориты 38
Дисперсия 98
Дистен 83
Дифракция 75, 76, 95
Долериты 38
Доломиты 44, 49, 55, 109, 143, 146, 147, 157, 171, 180
Друзы кристаллические 42, 103, 139, 153, 178
Дуниты 38, 133, 136

Ж

Жад 164, 170
Жадит 107, 109, 164, 170
Железная слюдка 97
Железная шляпа 50
«Железные цветы» 157
Железо 135
Жеоды 46, 179
Жилы
— гидротермальные 40, 42, 43, 45, 129, 131, 134, 136—139, 143, 150—152, 154, 179, 181, 183, 187, 188

Жилы
— пегматитовые 42, 150, 154
Жировик 173

З

«Зародыши» кристаллов 63
Золото 44, 49, 73, 107, 109, 131, 132
«Золото дураков» 139
Зоны
— вторичного обогащения 50, 51
— окисления 51, 159, 160, 182, 186, 189, 191
— контактовые 43, 44, 53

И

Известняки 43, 44, 46, 50, 55, 133, 134, 140, 146, 147, 150, 181
Излом 71, 110
Изоморфизм 59, 60, 64
Изоморфные смеси 60
Изумруд 59, 67, 90, 146, 181
«Искряные камни» 157
Иммерсия 111
Инклюзии 65
Инкрустации 66
Интерференция 95, 96, 112, 113, 114
Иолит (кордиерит) 55
Иризация 97
Исландский шпат 87, 88, 156
Источники термальные 45, 134

К

Каламин (гемиморфит) 109, 185
Кальцит 24, 44, 46, 55, 66, 71, 72, 75, 84, 87, 106, 107, 109,
110, 120, 121, 140, 155, 156, 180, 183
Камасит 135
Каолин 43, 72
Касситерит 44, 71, 107, 109, 144, 150
Кварц 23, 39, 40, 42, 44, 46, 59, 66, 72, 75, 84, 97, 98, 106, 108,
109, 116, 123, 131, 139, 140, 147, 149, 150, 163, 183, 185
Кварциты 55, 147, 152
Кианит 52, 55, 108

Кимберлитовые трубки 133, 167
 Киноварь 44, 72, 93
 Клиноцоизит 55, 109
 Ковеллин 96
 Ковкость минералов 109, 131
 Колеманит 120
 Конгломераты 47
 Конкреции 48, 49, 68, 140, 141, 187, 190, 191
 Кордиерит 55, 89
 Корки кристаллические 23, 103, 138, 153, 188, 189
 Корунд 59, 65, 71, 84, 90, 92, 98, 106, 107, 109, 120, 133, 144, 146
 «Кошачий глаз» (цимофан) 97, 145, 149
 «Красная серебряная руда» 140
 Кремнезем 36, 46, 48, 49, 50, 59, 95, 147, 150
 Кристаллизация минералов 36, 37, 41, 67
 Кристаллы 64, 65, 76
 — анизотропные 87, 112
 — волосовидные 150
 — двусные 87, 115, 116
 — игольчатые 97, 150, 172, 182, 188—191
 — изотропные 87, 112
 — клиновидные 83, 183
 — одноосные 87, 115, 116
 — песчаные 49
 — призматические 139, 140, 143, 147, 150, 159, 168, 169, 171, 179, 180, 181, 185, 187, 188, 190, 191
 — пластинчатые 83, 131, 152, 172, 173
 — столбчатые 150, 172, 177, 180, 181, 187
 — таблитчатые 82, 134, 152, 171, 173, 176, 187—189
 — теневые 66
 Кристобалит 59, 95
 Куприт 107, 109, 129, 145

Л

Лабрадор 39, 175, 176
 Лабрадориты 177
 Лава вулканическая 32, 33, 45, 59
 Лазурит 73, 92, 109
 «Ласточкин хвост» 142
 Лейкосапфир 146
 Лепидолит 53
 Лимонит 21, 96
 Лонсдейлит 133
 Лудламит 189
 Люминесценция 117, 133, 154

М

- Магма 32, 37, 52
Магнетит 49, 53, 71, 73, 151
Малакон 180
Малахит 24, 51, 73, 90, 107, 109, 129, 160, 162
Марказит 24, 44, 73, 107, 109, 140, 141
Медь 73, 93, 109, 129, 130
Мел 72
Месторождения
— гидротермальные 140, 142, 147, 157, 159
— магматические 40
— метасоматические 140, 152
Метамикты 180
Метаморфизм 52—55, 177, 185
— дислокационный 52
— контактовый 53, 138, 146
— региональный 52, 53, 168, 171
Метасоматоз 45, 140, 171
Микроклин 23, 38, 107, 175, 177
Милонит 52
Миметезит 109, 190
Миндалины 46, 179
Минералы
— акцессорные 39, 147
— анизотропные 111
— жильные 43, 157, 185
— изотропные 111
— индикаторы 55, 104
— лейкократовые 36, 39
— мафические 36, 39
Миспикель 140
Модификации полиморфные 59
Монацит 109
Морион 147
Мраморы 55
Мусковит 97, 109, 165, 172, 178

Н

- Натролит 42, 107, 178
Нефелин 72, 84
Нефрит 107, 109, 164, 172
Нефть 95
Нитраты 49
Нордмаркит 185

О

Обсидиан 33
Одонтолит 188
Окислы 43, 51, 73, 108, 139, 144
Окраска минералов
— аллохроматическая 90
— ахроматическая 93
— идиохроматическая 90
Оливин 39, 40, 55, 60, 81, 107, 109, 133, 136, 163, 166
Оливиниты 133
Олигоклаз 39, 176
Олово деревянистое 151
Оолиты 152, 157
Опал 44, 50, 70, 72, 95, 107, 109, 112, 121, 149, 150, 163
Опалесценция 95, 150, 177
Оптические свойства 100
Ореол контактовый 53
Орлец 171
Ортоклаз 38—40, 82, 97, 107, 109, 175, 177, 178
Оси
— кристаллографические 67, 77, 81—84, 87, 98, 108
— оптические 87, 115
— симметрии 76, 79, 83, 84
Отдельность 71
Отенит 25, 73, 120, 189
Отражение света 71, 85, 86, 93, 95, 98

П

«Павлинья руда» 96
Паяльная трубка (метод, прибор) 122, 123
Пегматиты 41, 42, 137, 145—147, 151, 157, 173, 176, 177, 179—
183, 185, 187, 189
Пектолит 182
Перидотиты 167
Периклаз 146
Перламутр 157
Перлы (буры и др.) 126
Песчаники 47, 49, 55, 150
Пикочет 146
Пираргирит 73, 140
Пирит 24, 25, 44, 50, 53, 79, 107, 109, 137, 139, 141
«Пиритоэдры» 139
Пироксены 39, 53, 71, 83, 135, 164, 169

Пиролюзит 107
Пироморфит 107, 109, 187, 188, 190
Пироп 109, 167
Пироэлектричество 74
Плавокость минералов 122, 123
Плагноклазы 39, 69, 83, 107, 176
Платина 40, 73, 107, 109, 133, 135
Плеонаст 146
Плеохроизм 89, 183
Плоскости
— симметрии 76, 77, 79
— спайности 104, 109
Плотность минералов 99, 105—107, 129
Побежалость 25, 96
Поглощение света 89—91, 93
Полевые шпаты 38, 39, 42, 69, 106, 151, 175, 180
Полиморфизм 59
Полоска Бекке 111
Полупроводники 93, 94
Поляризация света 74, 89, 111, 112, 147
Порфиروبласты 52
Преломление света 85, 86, 100, 101, 110, 111, 115
Пренит 24, 107, 109, 185
Прозрачность минералов 100
Прочность минералов 109
Прустит 24, 44, 94, 140
Псевдоморфозы 50, 70, 149, 151, 159
Пушкит 169
Пьезоэлектричество 74

Р

Рапа 153
Раухтопаз 91, 96, 147
Реальгар 26
Рефрактометр 110
Рефракция 110
Решетка кристаллическая 91
Риолиты 38, 40
Роговики 170, 171
Родонит 82, 109, 171
Родохрозит 90, 109, 160
Розы гипсовые, пустынные и др. 49, 143, 152
Россыпи 131—133, 135, 146, 147, 150
Рост кристаллов 63, 66

Ртуть самородная 132
Рубин 59, 64, 69, 90, 120, 144, 146, 147
Рубин-балэ 146
Рудиты 46
Рутил 24, 71, 73, 98, 107, 109, 147, 150, 151

С

Самородки 131, 132, 135
Санидин 38, 40, 175
Сапфир 92, 144, 146, 147
Сапфир-шпинель 146
Сардер 147
Свинец самородный 133
Связи химические 56, 58, 136, 153
Сегрегация магматическая 40
Селенит 82, 110
Сера 25, 45, 71, 72, 107, 134, 135
Сердолик 147
Серебро 25, 44, 73, 93, 107, 109, 130, 131, 140
Серицит 43
Серпентин 55, 72, 107, 173, 174
Серпентиниты 38, 167
Сидерит 44, 107
Сиениты нефелиновые 179, 180, 187
Силикаты 43, 51, 53, 58, 73, 108, 162
— каркасные 163
— кольцевые 164
— островные 163
— слоистые 165
— цепочечные 163
Силлиманит 55
Силлы 35
Сильвин 25
Симметрия кристаллов 62, 67, 76, 77
Сингония 77—79, 100
— гексагональная 83, 84, 115
— кубическая 77, 79, 80
— моноклиная 81—83
— ромбическая 81—83
— тетрагональная 80, 81, 115
— тригональная 81, 84, 115
— триклиная 77, 82, 83
Скаполит (мариалит) 53, 55, 107
Скарны 44, 53, 138, 146, 152

Сланцы

- глинистые 53
- кристаллические 49, 55, 139, 145, 150, 152, 167, 168, 171, 173, 175—177, 185
- слюдяные 23, 55, 147, 183, 185
- Слюды 24, 42, 44, 53, 70, 72, 172, 189
- «Слюдяные книжки» 83
- Смитсонит 51, 107, 159
- Содалит 107, 109, 120, 179
- Соли ископаемые 49, 136, 153
- Сольфатары 134
- Спессартин 109
- Сподумен 24, 42
- Ставролит 55, 82, 185
- Сталагмиты 156
- Сталактиты 156, 185
- «Стеклянная голова» 152
- Стекло 61, 62, 74, 110, 112
- Стибнит 123, 139
- Стильбит (десмин) 107, 179
- Структура кристаллическая 59—61, 64, 69, 74, 75, 93, 144, 163—166
- дефекты 90, 92
- Стяжения 47, 68, 143
- Сульфаты 49, 108, 136, 142
- Сульфиды 43, 45, 51, 131, 137
- Сфалерит (цинковая обманка) 24, 44, 58, 70, 73, 107, 109, 121, 137, 138, 140, 142
- Сфен (титанит) 55

Т

- Тальк 70, 72, 106, 108, 109, 173
- Танзанит 169
- Твердости шкала 104, 106, 108, 129
- Твердость минералов 106, 108, 155, 163
- Тетраэдр кремнекислородный 58, 163, 186
- Тетраэдрит 109
- Тигровый глаз 96, 149
- Титан 90
- Топаз 25, 42, 44, 81, 82, 106, 107, 109, 146, 166, 182, 183
- Торбернит 25, 73, 107, 109, 188, 189
- Трахиты 40
- Тремолит 55, 107, 109, 171, 172
- Тридимит 59

Тсаволит 168
Тугтупит 119
Турмалин 42, 44, 53, 74, 84, 89, 107, 109, 147, 183, 184
«Турмалиновые солнца» 183
Туфы кремнистые 46
Тэнит 135
Тягучесть минералов 131

У

Углерод 92
Улексит 107
Уранинит 109

Ф

Фантомы 66
Фаялит 60, 166
Фенакит 109
Фенокристаллы (фенокристы) 40, 52
Фигуры
— интерференционные 115, 116
— травления 66, 67
Филлиты 55
Фистацит 169
Флинт 49
Флюоресценция 91, 117, 121, 154, 189
Флюорит 25, 44, 58, 66, 69, 71, 72, 80, 91, 106, 107, 120, 121, 154
Форстерит 55, 58, 60, 166
Фосфаты 108, 186—189
Фосфоресценция 117—120
Фосфориты 187, 188
Фторапатит 53
Фумаролы 45, 134

Х

Халцедон 49, 97, 147, 149
Халькозин 73, 109, 137, 145
Халькопирит 96, 109, 129, 137
Хлорит 55, 70
Хризоберилл 42, 81, 97, 107, 109, 145

Хризоколла 182
Хризопраз 147
Хром 64, 65, 90, 97
Хромофоры 90
Хрупкость минералов 110

Ц

«Царская водка» 21
Целестин 107, 109, 121, 143
Центры
— кристаллизации 63
— окраски (F-центры) 91, 96
— рассеяния 97
— симметрии 76, 77
Цеолиты 46, 165, 178
Цертолит 180
Церуссит 51, 72, 107, 109, 121, 159
Циркон 69, 81, 96, 107, 109, 120, 121, 133, 180
Цитрин 147
Цоизит 55, 168

Ч

Черта 72, 73, 104
Чёрты 49

Ш

Шабазит 42
Шеелит 107, 109, 120
Шпинель 55, 69, 79, 97, 107, 109, 120, 146

Э

Эвапориты 49
Эвклаз 183
Эгирин 42
Экссольюция 61
Электрический баланс 58, 61, 90
Электронейтральность 91
«Электронная ловушка» 91
«Электронный газ» 93

Электроны-доноры 94, 95
Электропроводимость 93, 94
Элементы переходные 90
Энгидриты 46
Энергетическая щель 93, 94
Энстатит 169
Эпидот 55, 82, 107, 109, 168, 169

Я

Ячейки элементарные 75
Яшма 147

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора	5
От автора	7
1. Введение	8
Немного истории	9
Литература	10
[Рекомендуемая литература]	12
2. Коллекционирование и хранение минералов	15
Сбор минералов	—
Обработка и демонстрация образцов	18
Химические очистители	20
Чистка наиболее распространенных минералов	22
Хранение образцов	25
Документация образцов	26
Фотографирование минералов	27
3. Горные породы и слагающие их минералы	32
Магматические горные породы	—
Осадочные горные породы	46
Метаморфические горные породы	52
4. Состав и структура минералов	56
Кристаллохимия	—
Полиморфизм и изоморфизм	59
Кристаллическое состояние вещества	61
Отклонения от нормального роста кристаллов	65
Габитус кристаллов	67
Двойники	69
Спайность	70
Блеск	71
Цвет черты	72
Электрические свойства кристаллов	74
Структура кристаллов	—
Симметрия в кристаллах	76
Сингонии кристаллов	77
5. Кристаллы и свет	85
Отражение и преломление	—
Цвет минералов	89

6. Диагностика минералов	99
Систематизация наблюдений	102
Определение плотности минералов	105
Определение твердости минералов	106
Показатель преломления	110
Цвета интерференции	112
Флюоресценция и фосфоресценция	117
Химические методы диагностики	121
7. Описание минералов	128
Самородные элементы	129
Сульфиды и сульфаты	136
Окислы	144
Галоиды	153
Карбонаты	155
Силикаты	162
Фосфаты	186
Арсенаты и ванадаты	190
Предметный указатель	192

Майкл О'Донохью
Путеводитель по минералам
для начинающих

Редактор издательства Л. Г. Ермолаева
Обложка художника А. И. Бородина
Технический редактор И. Г. Сидорова
Корректор Н. Д. Баримова

ИБ № 6347

Сдано в набор 20.02.85. Подписано в печать 15.07.85. Формат 70×100/32.
Бумага книжно-журн. имп. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 8,38. Усл. кр.-отт. 9,27. Уч.-изд. л. 9,74. Тираж 100 000 экз.
(1-й завод 1—50 000 экз.). Заказ 518/689. Цена 50 коп.

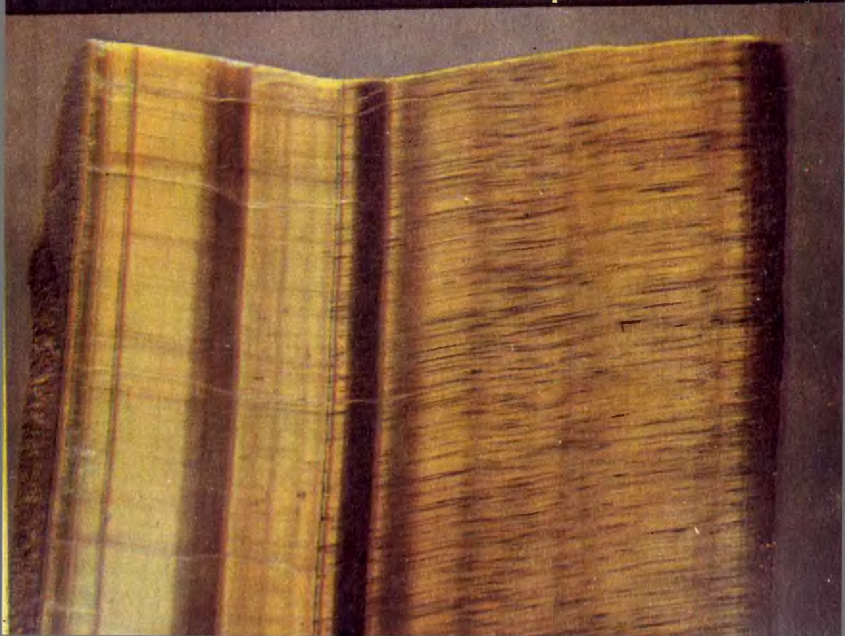
Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», Ленинградское отделение.
193171, Ленинград, С-171, Фарфоровская ул., 18.

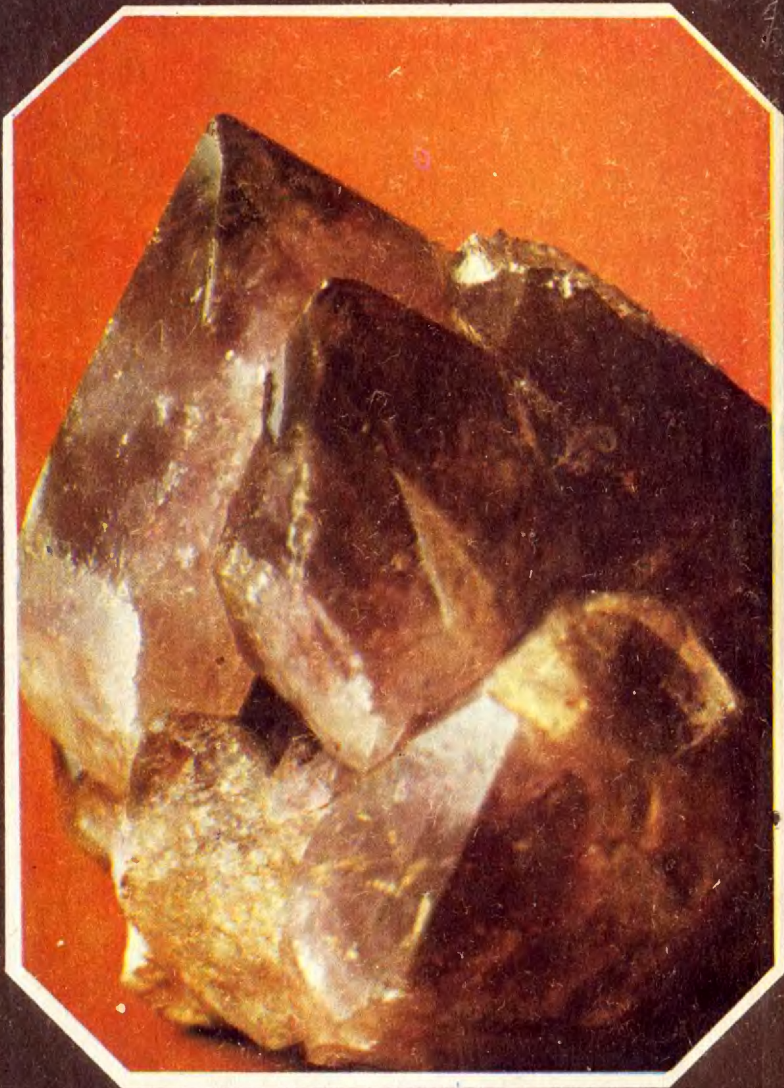
Типография № 2 Ленуприздата. 191104, Ленинград, Литейный пр., 55.



Флюорит

Тигровый глаз





50 коп.