

ФОРМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

Не менее, чем химический состав и структура, интересны и важны для минералога и коллекционера природные внешние формы минералов. Учение об этих формах — *морфология* переносит нас от несколько абстрактного понятия минерального вида в мир конкретных минералов, тех самых, что мы видим в недрах Земли и храним в наших коллекциях.

Примечательно, что царство минералов обладает такой же организационной структурой, что и царство живых существ — животных и растений. Оно состоит из *индивидуов* — своего рода «особей» минерального царства — и их коллективов — *агрегатов*. Индивид — это любой отдельный кристалл естественной формы независимо от размеров и наличия правильных граней. Зерна полевого шпата, кварца, слюды, слагающие гранит, в такой же степени индивиды, как и красивые, симметричные кристаллы этих минералов. В то же время нельзя назвать индивидами искусственно отколотые, отрезанные, шлифованные или ограненные куски минералов, поскольку естественная форма в этом случае нарушена. Здесь минерал выступает в роли вещества, материала, сырья для какой-либо искусственной деятельности. Наиболее интересные для коллекционера примеры минеральных агрегатов — друзы и сростки кристаллов. Однако основная масса минералов встречается в виде сплошных массивных и зернистых агрегатов, в которых тесно сросшиеся индивиды чаще всего не имеют правильной формы. К таким агрегатам относятся, в частности, горные породы.

Когда минералы отлагаются в свободных пространствах, без помех со стороны других тел, они, как и все другие кристаллические вещества, обнаруживают свойство самопроизвольно принимать правильную и индивидуальную для каждого минерального вида форму кристаллических многогранников. Это удивительное свойство — прямое следствие регулярности их внутреннего строения. В дальнейшем мы будем называть кристаллами именно такие, самоогранившиеся индивиды. На них стоит остановиться подробно: как наиболее яркие представители царства минералов, они чрезвычайно интересны для науки и пользуются особым расположением коллекционеров. Но и в тех случаях, когда из-за помех со стороны других тел минерал не смог реализовать свою способность к самоогранению, он остается кристаллическим телом, так как имеет упорядоченное внутреннее строение.

Любопытно происхождение самого термина «кристалл». Греки и римляне называли «кристаллом» кварц, который они принимали за окаменевший лед: «Кристалл представляет воду, замороженную в условиях исключительного холода. В связи с этим он находится лишь в тех местах, где снег превращается в лед», — указывает Плиний. Именно ему — «самому скромному и простому, но и самому элегантному из камней — горному хрусталю, кварцу» (по выраже-

нию советского ученого Г. Г. Леммлейна) суждено было не только дать название науке о кристаллах — кристаллографии, но и долгое время служить ее главным объектом.

В 1669 г. датский геолог, физиолог и анатом Николай Стенон обнаружил, что кристаллы хрусталия растут посредством наслоения вещества и потому в процессе роста сохраняют неизменными углы между гранями. Установленный Стеноном всеобщий закон постоянства углов был окончательно сформулирован более чем столетие спустя другим классиком кристаллографии, французом Ж. Б. Ром-Делилем: «Границы кристалла могут изменяться по своей форме и относительным размерам, но их взаимные наклоны постоянны и неизменны для каждого рода кристаллов». Как стало ясно позднее, в основе этого закона лежит идентичность структур всех кристаллов одного и того же вещества.

Закон постоянства углов имеет первостепенное значение не только для понимания принципов кристаллографии, но и для практической работы с кристаллами; его недаром называют основным законом кристаллографии. Постараемся хорошо понять и запомнить его, а пока вернемся к внешней правильности кристаллов. «Кристаллы блещут симметрией» — так определил ее выдающийся кристаллограф Е. С. Федоров. И чтобы разобраться в формах кристаллов, начнем с их симметрии. На рис. 5 показаны важнейшие элементы симметрии, свойственные кристаллам. Центр симметрии — точка внутри кристалла, обладающая следующим свойством: на любой проведенной через нее прямой на равных расстояниях от нее находятся соответственные точки кристалла. Кристалл, изображенный на рис. 5, а, имеет центр симметрии С, относительно которого симметричны вершины А и А', грани a и a' и все другие точки кристалла. Ось симметрии — прямая, при вращении вокруг которой кристалл совмещается со своим начальным положением. Кристалл, показанный на рис. 5, б, за один оборот вокруг оси L_3 трижды повторит свое исходное положение; ось L_3 называют осью симметрии 3-го порядка. Прямая L_1 — ось симметрии 4-го порядка: кристалл четыре раза совмещается сам с собой за один оборот (рис. 5, в). Этот кристалл имеет также четыре оси L_2 ; две из них на рисунке показаны, остальные в порядке упражнения предлагаем найти читателю. В кристаллах возможны оси симметрии только 2, 3, 4 и 6-го порядков.

Плоскость симметрии P (рис. 5, г) делит кристалл на две равные части, каждая из которых как бы является зеркальным отражением другой. В кристалле на рис. 5, б можно обнаружить четыре плоскости симметрии, а на рис. 5, в — пять таких плоскостей.

Ограничение каждого кристалла состоит из простых кристаллографических форм (рис. 6). На чертежах кристаллов каждой простой форму со всеми ее гранями принято обозначать одной буквой. На идеальных и полностью образованных кристаллах грани одной простой формы одинаковы и связаны элементами симметрии. Простая форма, образующая многогранник — куб, дипирамиду, тетраэдр и т. д., — называется закрытой. Существуют и открытые про-

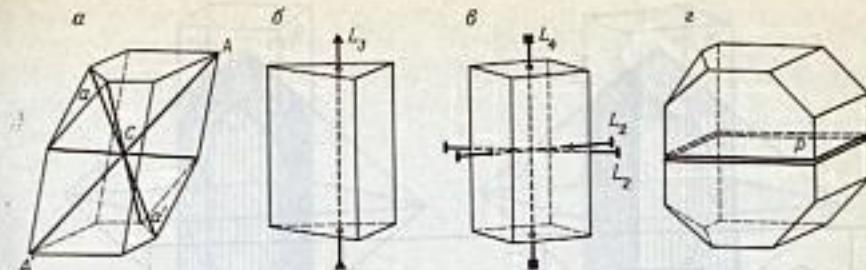


Рис. 5. Важнейшие элементы симметрии кристаллов:
а — центр симметрии; б, в — оси симметрии; г — плоскость симметрии

стые формы, не образующие многогранников: моноэдр (одна неповторяющаяся грань), пинакоид (две одинаковые параллельные грани), дизэдры, призмы, пирамиды; многогранники получаются только в том случае, если их «замкнуть» другими простыми формами, составив комбинацию простых форм. При образовании комбинации грани разных простых форм пересекаются и меняют свои очертания (рис. 7).

Соберем мысленно вместе самые разные кристаллы и посмотрим, как можно классифицировать их по форме в целом. Это поможет нам уяснить кое-какие термины и обозначения, о которые часто «спотыкается» начинающий любитель, читая книгу по минералогии. Отнесемся к упражнению внимательно: от этого будет зависеть понимание дальнейшего. Для начала расположим все кристаллы так, чтобы ось симметрии наибольшего порядка, или главная призма, или группа параллельных ребер были направлены вертикально, и условимся рассматривать кристаллы под одним и тем же углом зрения. Именно так расположены кристаллы на чертежах во всех курсах и справочниках по минералогии; несколько подобных чертежей приведено на рис. 8. Построим в центре каждого кристалла систему координат, проводя координатные оси параллельно главнейшим ребрам кристалла, осиам и плоскостям симметрии. Та часть координатной системы, которая находится внутри кристалла — «осевой крест» — служит как бы его скелетом. Для кристаллов разной формы и осевые крести получаются разными: одни прямые, другие — косые, одни вытянуты в высоту, другие — в ширину и т. д. Обозначим оси a , b , c .

В самых симметричных кристаллах осевой крест наиболее симметричен: равносторонние оси расположены под прямыми углами друг к другу (рис. 8, а). Такие кристаллы развиты по всем направлениям одинаково, т. е. имеют «изометрический» облик; в них, и только в них, всегда можно найти четыре оси симметрии L_3 . Простые формы — только закрытые: куб, октаэдр и некоторые другие. Эти наиболее симметричные кристаллы относят к кубической сингонии.

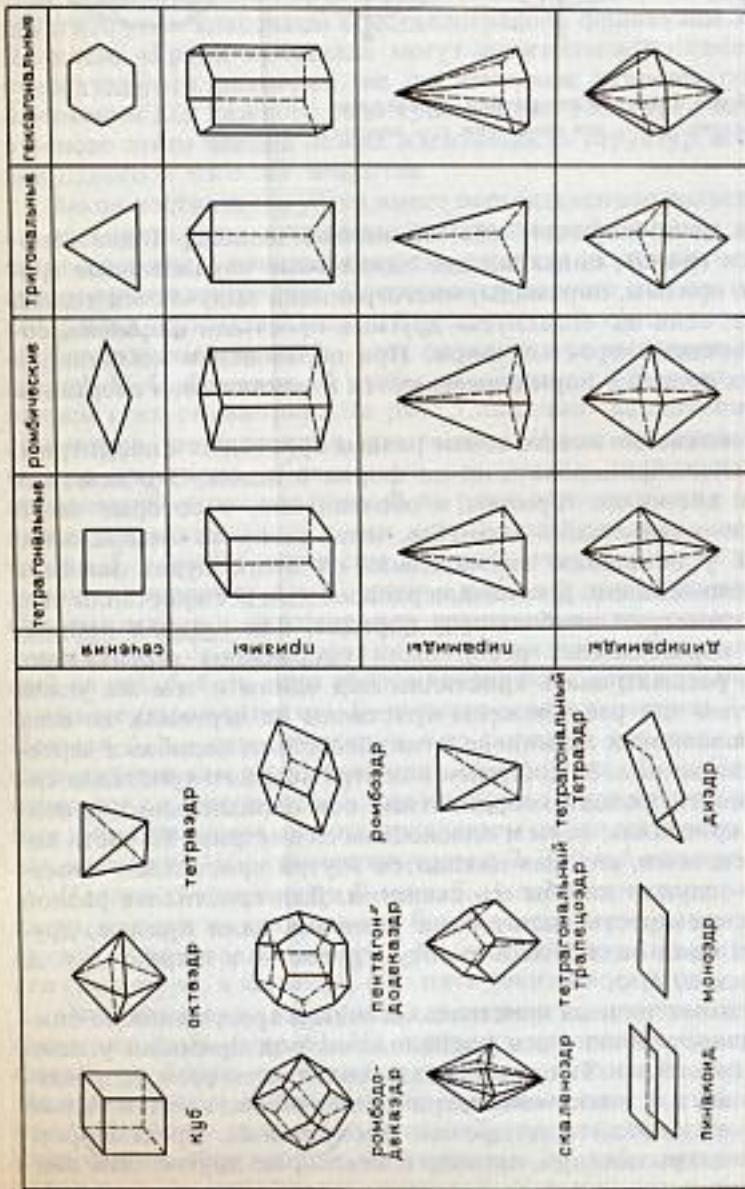


Рис. 6. Некоторые простые формы кристаллов

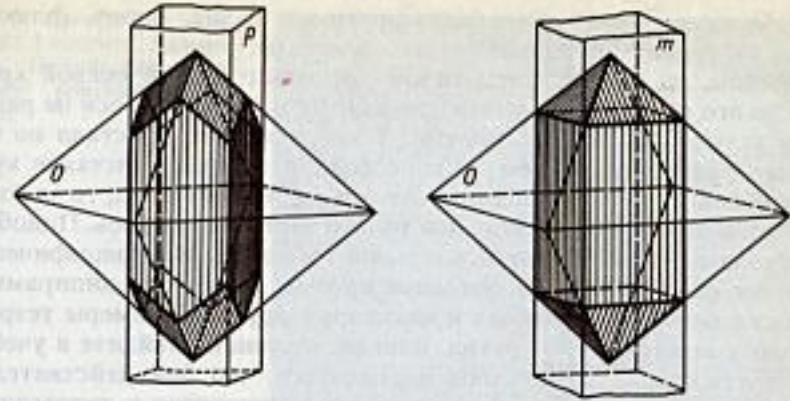


Рис. 7. Комбинация простых кристаллографических форм:
— ромбическая дипирамида, *p* и *m* — ромбические призмы

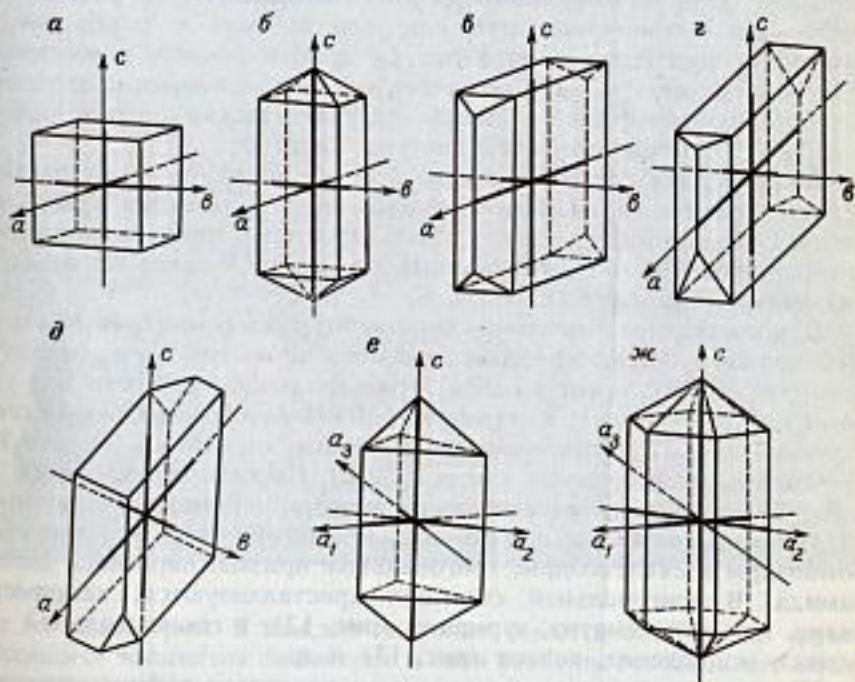


Рис. 8. Кристаллографические сингонии:
а — кубическая, б — тетрагональная, в — ромбическая, г — моноклинная, д — триклиническая,
е — тригональная, ж — гексагональная

В кубической сингонии кристаллизуются галит, пирит, флюорит (рис. 9), гранаты и многие другие минералы.

Рядом, на рис. 8, б мы видим несколько другой осевой крест: высота его отличается от горизонтальных размеров — оси не равны, хотя углы по-прежнему прямые. Таким образом, кристалл по вертикали развит иначе, чем по горизонтали. Если в кристалле кубической сингонии все координатные оси служат осями L_1 , то здесь такую роль может выполнять одна только вертикальная ось. Подобные кристаллы относят к тетрагональной сингонии. Их специфические простые формы — тетрагональные призмы, пирамиды, дипирамиды, а также моноздр, пинакоид и некоторые другие. Примеры тетрагональных кристаллов — рутил, циркон, везувиан. Найдите в учебнике чертежи этих кристаллов и убедитесь, что они действительно обладают перечисленными качествами и относятся к тетрагональной сингонии.

В ромбической сингонии (см. рис. 8, в) кристаллы развиты по-разному уже во всех трех направлениях. Вследствие этого сохраняются только оси симметрии 2-го порядка. Простые формы — ромбические призмы, пирамиды, дипирамиды, возможны пинакоиды, моноздр, дизэдры. Примеры — оливин, барит (рис. 10).

Некоторые осевые кресты получаются косыми. В моноклинной сингонии один из координатных углов непрямой (см. рис. 8, г). Набор элементов симметрии еще беднее, чем в ромбической сингонии: одна единственная ось L_2 , либо плоскость симметрии, либо ось и плоскость, на пересечении которых возникает центр симметрии. Простые формы — пинакоид, ромбическая призма, дизэдр, моноздр. Примеры: ортоклаз, диопсид, гипс.

В кристаллах триклинической сингонии все координатные углы непрямые (см. рис. 8, д). Имеется лишь центр симметрии либо элементы симметрии отсутствуют вовсе. Простые формы — моноздр и пинакоиды. Примеры триклинических минералов — аксинит, альбит, халькантит, амазонит (рис. 11).

Для кристаллов, имеющих единственную ось симметрии 3-го или 6-го порядка, осевые кресты получаются не из трех, а из четырех осей: три из них лежат в одной горизонтальной плоскости под углами 120° друг к другу, а четвертая вертикальна и совпадает с единственной осью L_3 (тригональная сингония, см. рис. 8, е) или L_6 (гексагональная сингония, см. рис. 8, ж). Простые формы гексагональной сингонии — гексагональные призмы, пирамида и дипирамида, моноздр, пинакоид; в тригональной сингонии еще и различные ромбозздры и скаленозздры, тригональные призмы, пирамида, дипирамида. В тригональной сингонии кристаллизуются, например, кварц, кальцит, тематит, турмалин (рис. 12); в гексагональной — берилл, молибденит, апатит (рис. 13) и др.

Итак, все кристаллы делятся на семь кристаллографических сингоний: кубическую, тетрагональную, ромбическую, моноклинную, триклиническую, тригональную и гексагональную. Еще раз заметим, что эта самая общая характеристика формы кристаллов основана

Рис. 9. Прозрачные кристаллы флюорита. Дальнегорск, Приморский край. Размер кристаллов до 3,5 см



Рис. 10. Кристаллы барита. Пёла, ФРГ. 6×4 см



на их симметрии. В каждой сингонии имеется свой набор «руководящих» элементов симметрии и свои особенности внешнего облика кристаллов, которые непременно надо уяснить. Даётся это на первых порах не без труда, и надо основательно потренироваться сначала на чертежах кристаллов, а потом и на самих кристаллах. Зато когда вам придется самостоятельно определять неизвестные

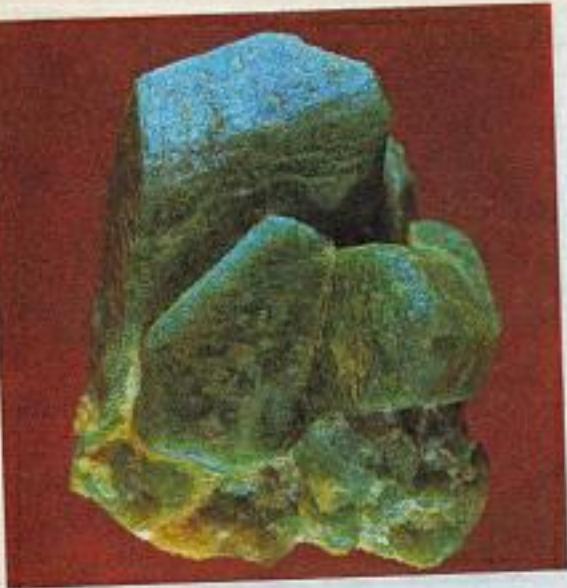


Рис. 11. Кристаллы амазонита. Гора Парусная, Колымский полуостров. Высота кристаллов до 6 см



Рис. 12. Турмалин на кварце. Река Чикой, Бурятия. Высота кристалла 4 см



Рис. 13. Сросток кристаллов апатита на щетке магнетита с кальцитом. Дашибасай, АзССР. Длина кристаллов до 12 см

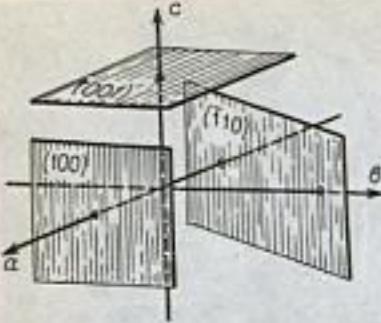
минералы, умение выявлять симметрию и сингонию кристаллов со- служит неоценимую службу.

Теперь мы используем те же кристаллографические системы координат, чтобы обозначить положение граней кристаллов. Эти обозначения часто встречаются в литературе. Грань обозначают символом — заключенными в скобки тремя числами, так называемыми индексами грани. Индексы относятся друг к другу как синусы углов, составляемых гранью с координатными осями. Индексы граней кристаллов — всегда целые и обычно небольшие числа. Если символы двух граней отличаются только одним индексом, то больший угол с соответствующей осью составляет та грань, у которой этот индекс больше. Если грань параллельна оси, то ее индекс по этой оси равен нулю. Пересечение с отрицательной частью оси обозначается минусом — чертой над соответствующим индексом. Так, символ (100) означает, что грань пересекает ось a в ее передней (положительной) части и параллельна осям b и c ; грань (001) пересекает ось c и параллельна осям a и b ; грань $(\bar{1}10)$ пересекает ось a сзади, а ось b спереди и параллельна оси c (рис. 14).

Символами можно обозначить и простые формы. Для этого используется символ ближайшей к наблюдателю грани, т. е. той, которая располагается в передней верхней части координатной системы. Этот символ будем указывать в фигурных скобках, чтобы не спутать с символом грани. Например, в кубической сингонии куб обозначается символом $\{100\}$, октаэдр $\{111\}$, ромбододекаэдр $\{110\}$ (рис. 15). Подумаем над формой кристалла, о котором известно, что он принадлежит к тетрагональной сингонии и имеет грань (100) . Поскольку этот символ указывает, что грань параллельна оси

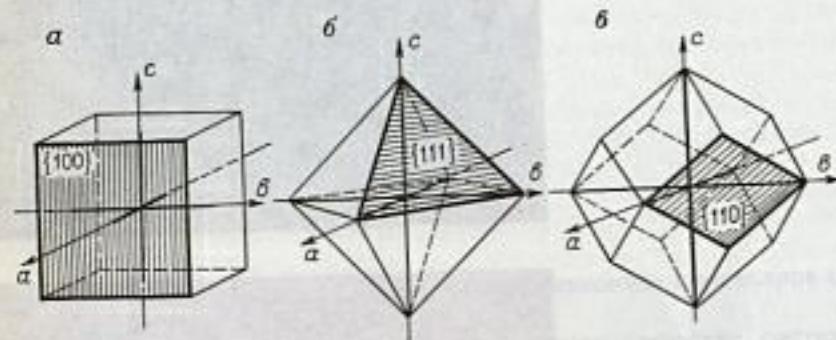
c , которая в тетрагональном кристалле совпадает с осью симметрии L_4 , то в таком кристалле должны быть также грани (010) , $(\bar{1}00)$ и $(0\bar{1}0)$; вместе все они образуют тетрагональную призму $\{100\}$, но не куб (тоже $\{100\}$): один и тот же символ может в разных сингониях обозначать различные простые формы.

Рис. 14. Символы кристаллических граней.



a

Рис. 15. Символы простых кристаллографических форм: куба (*a*), октаэдра (*b*), ромбододекаэдра (*c*)



Реалии жизни кристаллов

Читатель, должно быть, уже заметил, что до сих пор, говоря о законах формы и симметрии кристаллов, мы пользовались главным образом их идеализированными моделями — по существу не самими кристаллами, а свойственными им многогранниками. Реальные кристаллы существенно отличаются от своих геометрических схем. «Нижний» конец кристалла чаще всего либо совсем отсутствует, либо вместо кристаллического ограничения несет отпечаток поверхности, на которой вырос кристалл. В процессе роста каждый конкретный кристалл приобретает черты индивидуальности и отличается в чем-то непохожим на своих собратьев и тезок: и разными размерами, и преобладанием то одних, то других граней, и бесконечным разнообразием узоров на них, и искажениями формы. (Чем пристальнее мы будем изучать кристалл, тем больше обнаружим в нем таких черт). При всем этом модель всегда верна в одном: она указывает углы между гранями и между ребрами, одинаковые на всех кристаллах данного минерала.

Индивидуальный облик — это и печать «личной биографии» данного кристалла, и отражение общих закономерностей формирования реальных кристаллов. И значит, нам интересно будет познакомиться с реальными кристаллами минералов поближе. Их зарождение и развитие изучает особая отрасль минералогии — онтогенез минералов.

Рис. 16. Папиршпат — тонкопластинчатые кристаллы кальцита. Кличка, Читинская область. 7×10 см



Обращает на себя внимание, что из всего набора простых форм, свойственных вообще данному минеральному виду, конкретный кристалл «отдает предпочтение» то одним, то другим формам. Морфологический рекордсмен — кальцит: на его кристаллах насчитывается свыше 700 простых форм. Но ограничение каждого отдельного кристалла кальцита может показаться даже бедным: либо это гексагональная призма, прикрытая на концах гранями ромбодюара, либо один ромбодюэр без всяких других граней, либо скаленодюэр, либо пинакоид {0001}, иногда настолько преобладающий над другими формами, что кристаллы имеют облик тонких, похожих на бумагу листков — так называемый папиршпат (рис. 16), но вариантов, правда, бесконечно много.

Границы одной простой формы, как правило, развиты неодинаково. Под воздействием земного тяготения, движения минералообразующих растворов, газов и паров, тепловых потоков в них кристаллизация принимает направленный характер: вещество откладывается преимущественно на тех гранях растущего кристалла, которые обращены навстречу движению минералообразующей среды. Такие грани постепенно «выклиниваются», а противоположные им грани увеличиваются и становятся преобладающими (рис. 17). Симметрия реального кристалла при этом понижается по сравнению с моделью, и он приобретает не свойственный ей облик. Так, ромбододекаэдр граната вытягивается и превращается в ложную призму (рис. 18). Крайний случай искажения облика — так называемые *натевидные кристаллы*, в которых встречаются минералы всех сингоний (рис. 19).

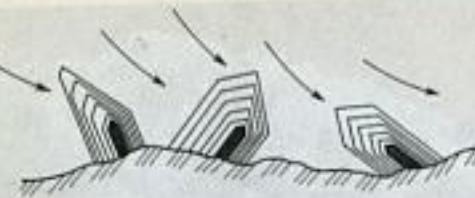


Рис. 17. Искажение кристаллов при росте в движущейся среде

Грани реального кристалла — это не абстрактные, пустые геометрические плоскости, а физические поверхности с характерным рельефом — штриховкой, бугорками, ямками. Как и другие детали реального кристалла, рисунок грани определяется и общими структурными особенностями минерала, и обстоятельствами развития данного конкретного кристалла. Все грани одной простой формы имеют однотипную «скульптуру», обладают одинаковыми физическими свойствами — одинаково растворяются, одинаково электризуются, адсорбируют примеси и т. д., одинаково ориентированы относительно направлений спайности. Это помогает отличать простые формы друг от друга.

Перейдем к примерам. Изображенный на рис. 20 кристалл сфalerита имеет восемь граней, из которых четыре с треугольной штриховкой. Следовательно, надо предположить наличие по крайней мере двух простых форм — со штриховкой и без нее. Судя по числу, взаимному расположению и очертанию штрихованных граней, они составляют тетраэдр («треугольный» молочный пакет). Гладкие грани — маленькие и общих ребер не имеют; но мысленно их можно продолжить до пересечения друг с другом, и тогда можно убедиться, что они тоже составляют тетраэдр. Кристалл, следовательно, нужно отнести к кубической сингонии. Налицо и обязательный ее признак — четыре оси L_1 : каждая проходит через центр гладкой грани и через центр противоположной ей штрихованной грани.

Кристалл пирита, изображенный на рис. 21, также имеет комбинацию двух простых форм. Мысленно разрабатывая пятиугольные грани, добиваемся пересечения их друг с другом и получаем пентагонодекаэдр [210]. Проделаем то же самое с небольшими прямоугольными гранями — получается куб [100].

Виллит — разновидность везувiana (рис. 22). Руководствуясь формой и симметрией, а также рельефом граней, выделяем две тетрагональные призмы [100] и [110], тетрагональную дипирамиду [111] и пинакоид [001]. Наличие этих форм и единственной оси симметрии 4-го порядка свидетельствует о принадлежности кристалла к тетрагональной сингонии.

У кристаллов арсенопирита (рис. 23) налицо все признаки ромбической сингонии: расположение габитусных ребер подсказывает прямогоугольный осевой крест, в то же время имеются оси симметрии только 2-го порядка. Однако точными исследованиями установлена моноклинная сингония арсенопирита, а за кажущуюся

Рис. 18. Правильный (справа) и искаженный кристаллы граната (андрадита и гроссулиара). Река Вилкой, Якутия. Высота левого кристалла 2,5 см

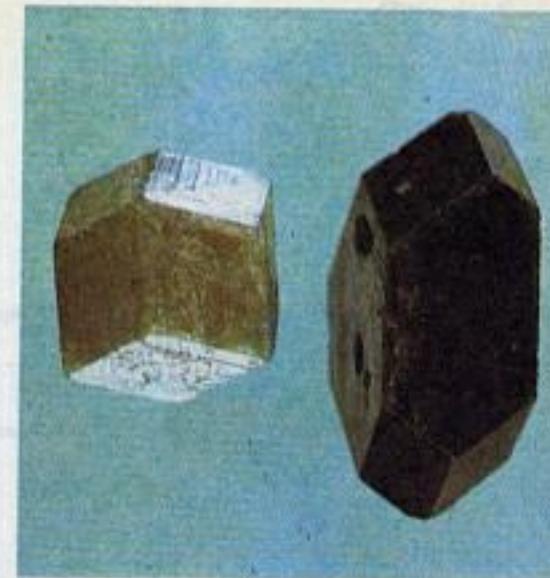
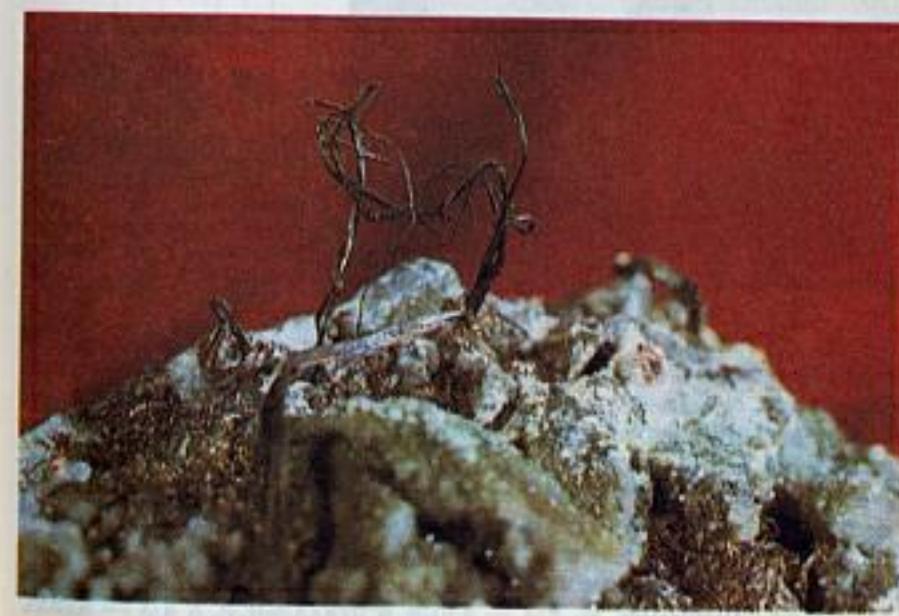


Рис. 19. «Проволочное серебро» — интевидные кристаллы кубической сингонии. Казахстан. 7×5,5 см



симметрию его называют псевдоромбическим минералом. Кристаллы образованы комбинациями четырех ромбических призм, одна из которых определяет их столбчатый облик: на рис. 23, а это призма t , а на рис. 23, б — призма p .

Рассмотрим пример посложнее. На рис. 24 схематически показаны различные габитусные типы топаза — одного из любимых кол-



Рис. 20. Кристалл сфалерита

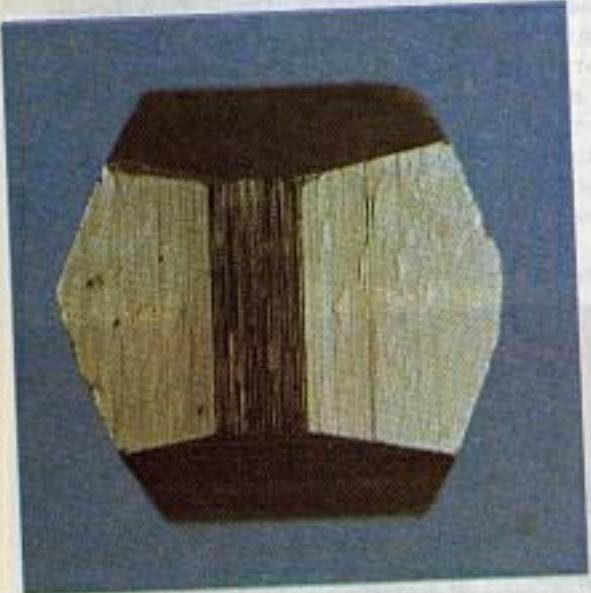


Рис. 21. Кристалл пирита — комбинация пентагонододекаэдра («пиритоэдра») и куба. Березовское месторождение, Урал. Размер кристалла 3 см

лекционерами минералов. Они получили особые названия по месторождениям, где пользуются преимущественным распространением, и отличаются друг от друга преобладанием различных простых форм. Каждый кристалл имеет три взаимно перпендикулярные плоскости симметрии, линии пересечения которых служат осями L_2 , а точка пересечения всех трех плоскостей — центром симметрии. Следовательно, топаз нужно отнести к ромбической сингонии. Габбитус определяется комбинацией ромбических призм, вытянутых вдоль осей симметрии: m , p , s — вдоль вертикальной, d и f — вдоль горизонтальных. Каждая призма состоит из четырех граней, часть которых не видна на чертеже, так как находится на противоположной стороне кристалла. Границы призмы q присутствуют лишь на одном из кристаллов и почти вытеснены другими простыми формами. Имеется также ромбическая дипирамида t — по две грани с передней и задней стороны головки кристалла и столько же на другой головке — всего восемь граней.

Рис. 22. Кристалл вилутита

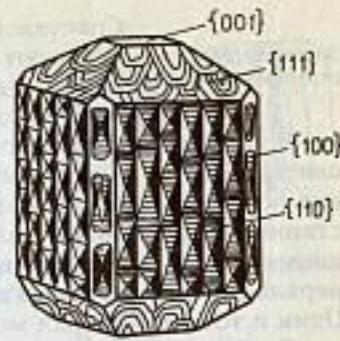


Рис. 23. Кристаллы арсеноапиrita

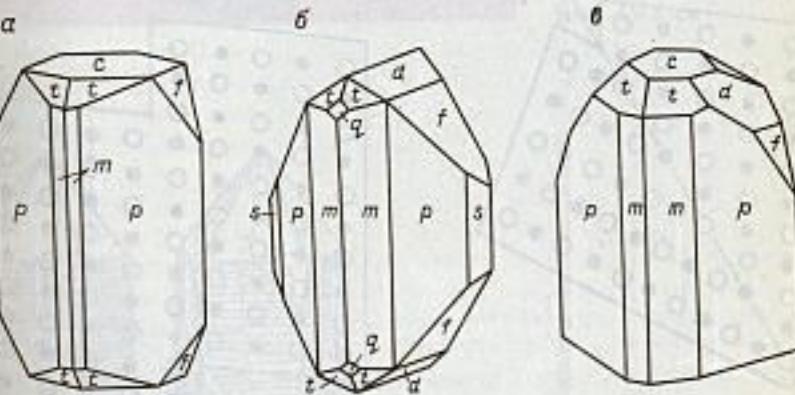
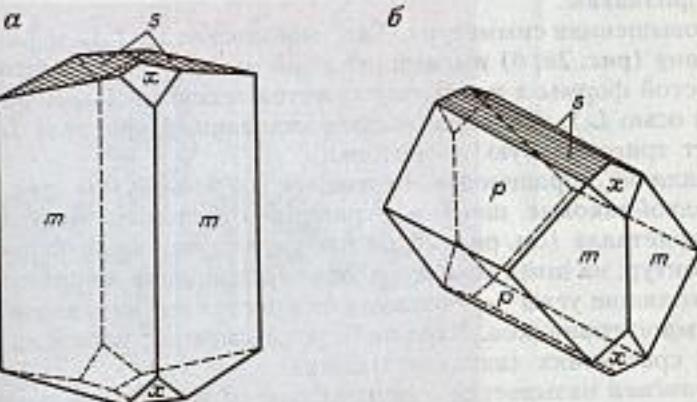


Рис. 24. Кристаллы топаза:

a — мурзинский тип; *b* — адючилинский тип; *c* — ильменский тип (нижняя часть кристалла не показана)

Срастаясь в случайных положениях, индивиды образуют сростки и агрегаты. Но бывают и закономерно ориентированные срастания. Среди них различают двойники и эпитаксии.

В двойниках структуры индивидов одного и того же минерала связаны осями или плоскостями симметрии, которых каждый индивид по отдельности не имеет (рис. 25, а). Различают двойники срастания, прорастания и полисинтетические (рис. 26 и 27). Двойники широко распространены в царстве минералов и для некоторых минеральных видов очень характерны (киноварь, плагиоклазы и др.). Один и тот же минерал может двойниковать разными способами.

Двойники отличают от обычных кристаллов и сростков по следующим признакам:

- 1) повышенная симметрия. Так, двойник кварца по «дофинейскому» закону (рис. 28, б) имеет на каждой головке двойной набор граний простой формы x и поэтому кажется гексагональным (с вертикальной осью L_6), тогда как несдвойникованный кристалл (рис. 28, а) имеет тригональную симметрию;
- 2) наличие обращенных, перевернутых частей (см. рис. 26);
- 3) «двойниковые швы» — границы отдельных индивидов на гранях кристалла (см. рис. 28, б) или на изломе, образующие замкнутый контур; на швах можно видеть несовпадение штриховки;
- 4) входящие углы — в отличие от кристаллов-индивидуов — выпуклых многогранников. Входящие углы имеются также на параллельных срастаниях (автоэпитаксиях).

Эпитаксией называется ориентированное нарастание одного индивида на другой. Известны эпитаксические нарастания галенита

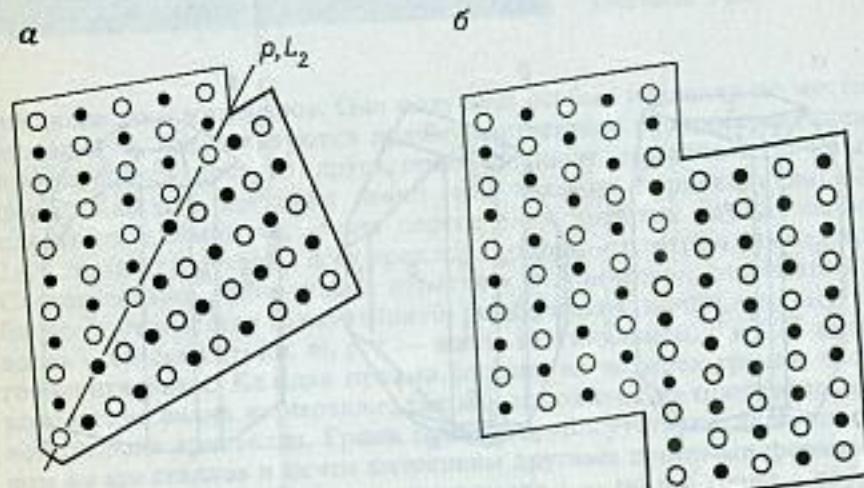


Рис. 25. Кристаллические структуры двойника (а) и параллельного срастания (б)

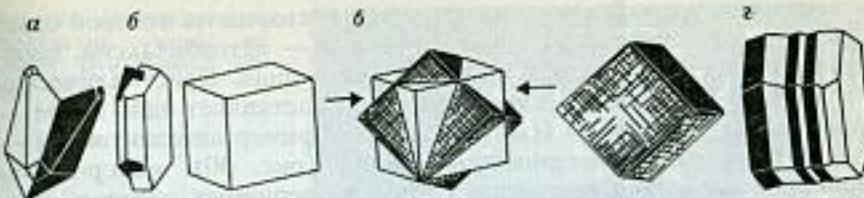


Рис. 26. Двойники:
а — двойник срастания кальцита; б — «карлбадский» двойник ортоклаза; в — двойник прорастания флюорита; г — полисинтетический двойник плагиоклаза

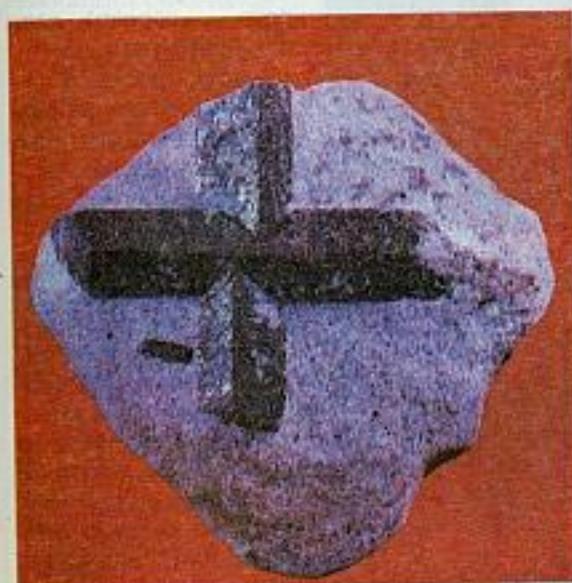


Рис. 27. Двойник прорастания ставролита. Кольский полуостров. Размер двойника 6×5 см

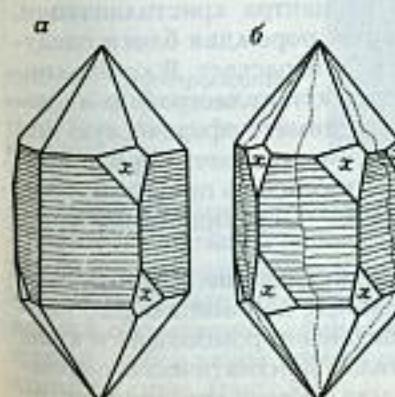


Рис. 28. Монокристалл (а) и «дофинитский» двойник (б) кварца

на пирротин, халькопирита на тетраэдрит, кварца на полевой шпат (рис. 29) и др. Частный случай эпигенеза — автоэпигенез, нарастание на кристалл того же минерального вида. Кристаллическая структура автоэпигенетического сростка представляет одно целое — *параллельное срастание* (см. рис. 25, б). Пример автоэпигенеза — так называемый скрипетровидный кварц (рис. 30). «Вторичные» индивиды нарастают преимущественно на вершинах головки и затем срастаются между собой, что и привело к образованию венца, или «скрипета».

Ветвящиеся кристаллы
Рядом с кристаллами-многогранниками необычно выглядят ажурный кристалл галита — каменной соли (рис. 31). Это особая порода кристаллов — *дендрит* (от греческого «дэндрон» — дерево), развивающийся в условиях, когда приток питающего вещества к растущему кристаллу затруднен, и это сдерживает скорость роста. В таких случаях нарастание происходит преимущественно по ребрам и вершинам — образуется *скелетная форма*. В процессе роста кристалл, будучи как бы вынужден сам отыскивать себе питание, разрастается ребрами и вершинами далеко от центра кристаллизации, — так возникает дендрит. «Морозные узоры» зимой на окнах — это дендриты льда.

К чему ведут «ошибки»
Реальные кристаллы всегда содержат структурные дефекты — посторонние ионы, незанятые узлы кристаллической решетки и т. п. Все это — неизбежные «ошибки» построения в процессе кристаллизации регулярных, правильных структур вроде той, что показана на рис. 1. Когда кристалл растет спокойно и медленно, дефектов возникает немного и по внешнему облику кристалла их присутствие не обнаруживается. Но если «концентрация» дефектов резко возрастает (например, при быстрой кристаллизации), то несовершенство структуры отражается и на форме кристалла, порой неожиданным образом.

По мере роста и накопления дефектов структура расщепляется на отдельные блоки, чуть-чуть разориентированные друг относительно друга. Разрастаясь в стороны от центра кристаллизации, блоки, в свою очередь, тоже расщепляются, порождая блоки следующих поколений, разориентированность их нарастает. В конце концов происходит нарушение святой святых кристаллографии — закона постоянства углов: либо кристалл принимает сферическую или кривогранную форму (рис. 32), либо получается нечто вроде кристаллического сростка, в котором можно различить признаки закономерного расположения отдельных частей — «субиндивидов» (рис. 33).

В начальной стадии блочный рост может сопровождаться возникновением на гранях ступенчатого рельефа, напоминающего паркет или мозаику. При дальнейшем расщеплении ромбоздры и кубы нередко принимают форму седла. Кристаллы призматического облика разрастаются пучками (см. рис. 33, слева), а если кристалл растет

Рис. 29. Эпигенетическое нарастание кварца на альбит. Центральный Памир. 7×6 см

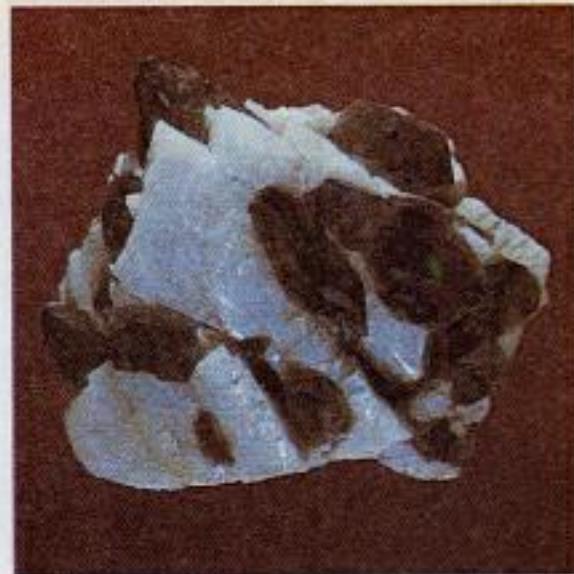


Рис. 30. Скрипетровидный кварц. Месторождение Ватиха, Урал. Высота левого кристалла 6 см



обоими концами, то возникает *сноповидный сросток* (рис. 33, справа) — в действительности продукт расщепления одного единственного индивида. Сноп в дальнейшем может развиться в *двулистник*, а смыкание противоположных концов седла или двулистника ведет к образованию *сферокристалла* (рис. 34). Интенсивное расщепление дает в конце концов *сферолит* шаровидной формы с гладкой поверхностью (рис. 35).



Рис. 31. Дендрит галита. Иновроцлав, Польша. Высота дендрита 11 см



Рис. 32. Кристалл кальцита. Дальнегорск, Приморский край. 7×6 см

Таким образом, расщепленный кристалл — это одновременно и индивид, поскольку он растет из одного центра кристаллизации, и агрегат, поскольку в периферийной своей части он превратился в «сросток».

Эти интересные образования очень широко распространены в царстве минералов. В форме снопов и двулистников часто встреча-

Рис. 33. Расщепленные кристаллы кварца: слева — пучок, справа — сноп. Дашикесан, АзССР. Высота 12 см

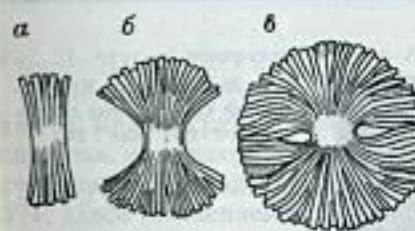


Рис. 34. Стадии расщепления кристаллов:
а — «сноп», б — «двулистник», в — сферокристалл

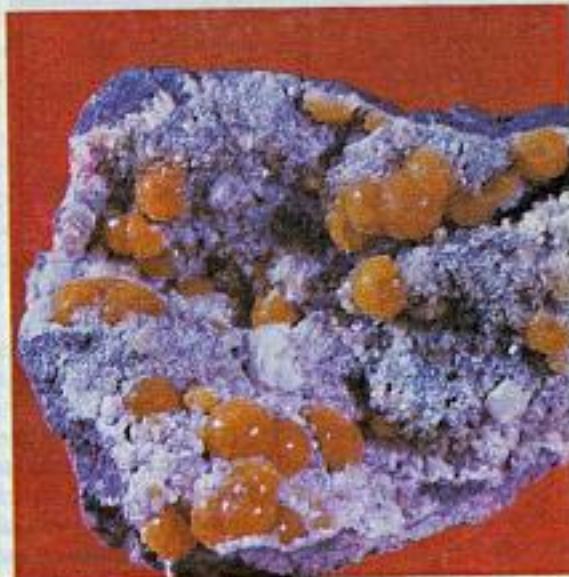


Рис. 35. Стеллерит. Сарбайское месторождение, Казахстан. Диаметр сферолитов до 1 см



Рис. 36. Стилбит. Красноярский край. Длина сноповидного «ростка» 7 см



Рис. 37. Малахит. Джезказганское месторождение, Казахстан. Диаметр сферокристаллов до 2,5 см

ется один из минералов группы цеолитов — стильбит (рис. 36); на это прямо указывает его прежнее название «десмин» — по-гречески «похожий на сноп». Агрегаты сферолитов с блестящей гладкой поверхностью в эпоху «горняцких» названий стали именовать «стеклянными головами»: бурая стеклянная голова (гётит), красная стеклянная голова (гематит) и др. Про изумительный зеленый мала-

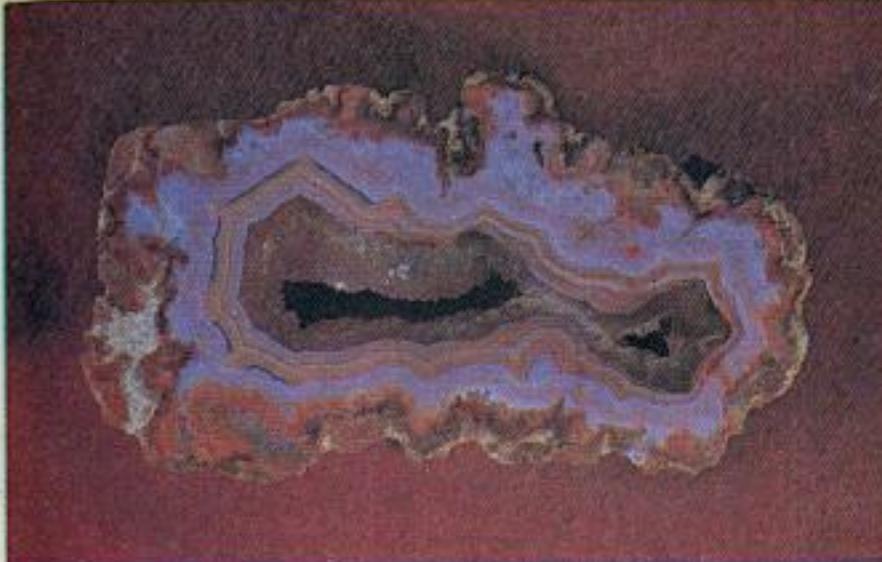


Рис. 38. Агат — полированный срез. Адрасман, ТаджССР. 13×7 см

хит П. Бажов сказал: «Камень, а на глаз, как шелк, хоть рукой погладить», — такое впечатление создается тончайшим сферолитовым строением. Гораздо более редки сферокристаллы малахита (рис. 37); здесь расщепление происходило не на концах призматических кристалликов, а преимущественно на их боковых гранях. Сферолитовая разновидность кварца — халцедон является родоначальником целой гаммы красивых поделочных камней, среди которых особое место занимают агаты (рис. 38).

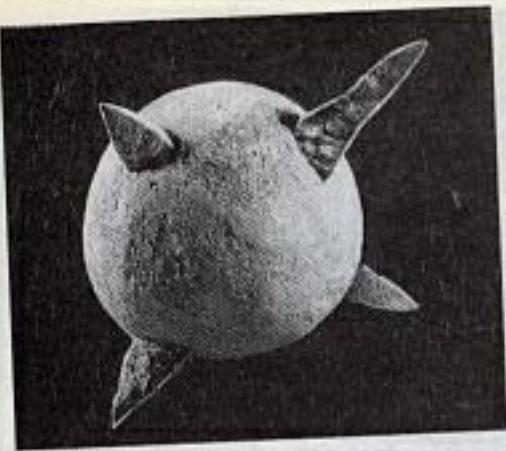
Псевдоморфозами в минералогии называют продукты замещения одних минералов другими, в которых сохраняется внешняя форма замещенного минерала. Образуются они тремя способами:

- В чужом обличье
- 1) постепенным замещением первоначального минерала;
 - 2) в два этапа — удалением первоначального минерала и отложением нового минерала в освободившемся пространстве;
 - 3) преобразованием структуры минерала без изменения его состава (так называемые параморфозы).

Иногда замещение минерала сопровождается определенной ориентацией новых индивидов относительно исходной формы, которую они заполняют, — явление парадоксальное, если учесть, что новый минерал не имеет отношения к этой форме. Такие псевдоморфозы встречаются, например, среди уралитов (псевдоморфозы амфиболов по пироксенам), мушкетовитов (магнетит по гематиту).

Псевдоморфозы можно встретить среди всех классов минерального царства: медь Cu по куприту Cu_2O , атакамит $Cu_2Cl(OH)_3$ по

Рис. 39. «Беломорская рогулька». Побережье Белого моря. 12×9 см



азуриту $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$, пирит FeS_2 по пирротину FeS , кварц SiO_2 по апофиллиту $\text{KCa}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]F \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Среди параморфоз отмечены интересный пример с кварцем. При температурах выше 573 °С кремнезем кристаллизуется в виде гексагональной модификации, кристаллы которой очень похожи на обычный кварц. При понижении температуры эта модификация переходит в кварц, претерпевая структурную перестройку. Таким образом, кристаллы кварца высокотемпературного происхождения по существу представляют собой псевдоморфозы. Упомянутая структурная перестройка значительно облегчается двойникованием — этим и объясняется широкое распространение дофинейских двойников кварца (см. рис. 28).

Признаки псевдоморфоз — несоответствие формы кристаллов минеральному виду, наличие реликтов (незамещенных остатков) первоначального минерала, особенности строения (тело с внешней формой кристаллического индивида сложено агрегатом зерен, волокон и т. п.).

Установить, из чего состоит псевдоморфоза, обычно не составляется труда. Иное дело — исходный, первоначальный минерал, о котором достоверно известна только его внешняя форма. Некоторые псевдоморфозы оказываются поэтому «крепкими орешками».

С давних пор на побережьях арктических морей находят живописные псевдоморфозы кальцита по кольцевидным сросткам неизвестного минерала (рис. 39). У нас их называют «беломорскими рогульками», в международной литературе — глендонитами. Предполагалось, что это продукты замещения некоторых легкорасторимых минералов, кристаллизующихся из морской воды. Однако на ходки глендонитов приурочены к отложениям, возникшим в эпоху холодного климата, исключавшего образование этих минералов. Не выяснен пока и предок знаменитого ахтарандита, открытого академиком Э. Г. Лаксманом в конце XVIII столетия на реке Ахтаранд в Якутии. «Кристаллы» ахтарандита сложены зернами хлорита, граната, каолинита, доломита и имеют формы кубической сингонии.



Рис. 40. Друзы кристаллов пироморфита. Миладен, Марокко. 5×4,5 см

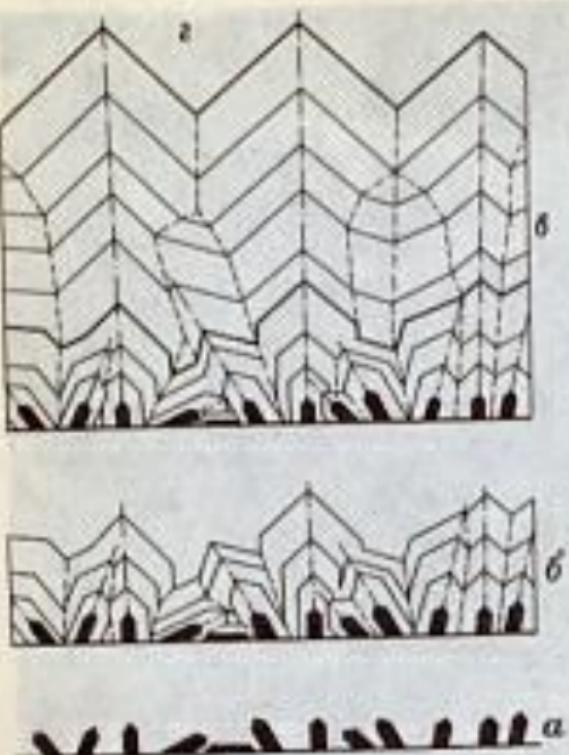
Сообщества индивидов

Индивиды, развивающиеся из расположенных по соседству центров кристаллизации, срастаются в **минеральный агрегат**. Из всего многообразия агрегатов наиболее привлекательны друзы, вырастающие в свободных пространствах из произвольно расположенных зародышей. При друзовом росте индивиды развиваются независимо друг от друга и сохраняют облик одиночных кристаллов (рис. 40).

Но с течением времени индивиды все больше срастаются и начинают стесняться друг друга. По мере развития агрегата все большее число индивидов поддавляется своими соседями и прекращает рост. В конце концов продолжают расти только те индивиды, которые ориентированы в сторону свободного пространства, т. е. перпендикулярно поверхности нарастания агрегата. Происходит, таким образом, самоупорядочение агрегата, называемое **геометрическим отбором**: среди растущих остаются только индивиды с одинаковой, параллельной ориентировкой, и друза перерастает в **параллельно-щетковатый агрегат**. Как это получается, поясняет схема на рис. 41. Свободная поверхность такого агрегата, образованная головками кристаллов, носит название **щетки**.

Можно понять, почему крупные друзы встречаются нечасто: по мере роста увеличивается вероятность вырождения друзы в параллельно-щетковатый агрегат. Для образования крупных друз нужно, чтобы центров кристаллизации было не слишком много и чтобы

Рис. 41. Схема геометрического отбора:
а — рост отдельных кристаллов; б — сра-
стание в друзу; в — переход в параллель-
но-шестоватый агрегат; г — щетка



расположены они были не слишком близко друг к другу. Условия, благоприятные для продолжительного друзового роста, обычно создаются медленной кристаллизацией.