

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Т.Ю. Черкасова

**ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ И
МИНЕРАЛОГИИ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство

Томского политехнического университета

2014

УДК 548+549(076.5)

ББК 22.37+26.31я73

О-753

Черкасова Т.Ю.

О-753 Основы кристаллографии и минералогии: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2014. – 207с.

Черкасова Т.Ю.

В пособии изложены термины, понятия, основные принципы и законы кристаллографии, механизмы описания симметрии кристаллов, алгоритм определения и формирования названий простых форм. Дано общее представление о зарождении, росте кристаллов и процессах минералообразования. Рассмотрены основные физические и морфологические свойства минералов. Описательная минералогия включает в себя перечень около 100 наиболее распространенных минералов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 130102 «Технология геологической разведки», 022000 «Экология и природопользование».

УДК 548+549(076.5)

ББК 22.37+26.31я73

Рецензенты

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий
кафедрой минералогии и геохимии ТГУ

С.И. Коноваленко

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент ТГУ

Г.Б. Князев

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014

© Сутягин В.М., Бондалетова Л.И., 2014

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
ЧАСТЬ 1. Кристаллография.....	5
1.1. Форма кристаллов.....	19
1.2. Реальные формы и рост кристаллов.....	25
ЧАСТЬ 2. Минералогия.....	40
2.1. Облик кристаллов и морфология агрегатов.....	40
2.2. Химический состав минералов.....	52
2.3. Вода в минералах.....	54
2.4. Физические свойства минералов.....	55
2.5. Процессы минералообразования.....	60
2.6. Практические рекомендации при диагностике минералов.....	76
2.7. Классификация минералов.....	77
2.7.1. Тип I. Самородные элементы.....	78
2.7.2. Тип II. Сульфиды и их аналоги.....	86
2.7.3. Тип III. Галоидные соединения.....	108
2.7.4. Тип IV. Окислы и гидрокислы.....	111
2.7.5. Тип V. Соли кислородных кислот.....	128
2.7.5.1. Класс 1. Сульфаты.....	128
2.7.5.2. Класс 2. Вольфраматы.....	129
2.7.5.3. Класс 3. Фосфаты.....	129
2.7.5.4. Класс 4. Карбонаты.....	134
2.7.5.5. Класс 5. Силикаты.....	147
Заключение.....	200
Список литературы.....	201
Приложение 1.....	202
Приложение 2.....	203
Приложение 3.....	204
Приложение 4.....	205

ВВЕДЕНИЕ

В представленном учебном пособии изложены ключевые понятия кристаллографии и минералогии. Целью написания данного издания послужил мотив интеграции и систематизации всего объема базовой информации, рассматриваемой в пределах курса дисциплины «Основы кристаллографии и минералогии». Учебное пособие раскрывает основные законы кристаллографии, механизмы описания симметрии кристаллов, алгоритм определения и формирования названий простых форм. В рамках данного курса кристаллографии студенту важно научиться описывать конечные формы простых и сложных кристаллов на примере идеальных моделей. Вторая часть издания, посвященная минералогии, позволяет получить представления о минерале, его кристалломорфологии, агрегатах, химизме, физических свойствах и процессах образования.

В пособии приводятся описательные диагностические таблицы, которые включают в себя перечень около 100 наиболее распространенных минералов, облегчая тем самым практическую самостоятельную работу студентов, в процессе формирования представлений и приобретения навыков визуальной диагностики минералов. Учебное пособие сопровождается рисунками для облегчения понимания и усвоения материала.

ЧАСТЬ 1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

*В ограниченном кристалле
само природное явление
как бы ставит готовую,
хорошо сформулированную задачу,
решение которой невозможно
без углубленных геометрических
изысканий...*

И.И. Шафрановский

Кристаллография это наука о кристаллах. Кристаллическое состояние определяется способом построения вещества. Название ее происходит от греческого слова "кристаллос" - лед. Предметом изучения является КРИСТАЛЛ. Кристаллы отражают способ упорядоченного закономерного расположения элементарных частиц (атомов, ионов, молекул) вещества, из которых они состоят, что определяет их правильную геометрическую внешнюю форму.

Современная кристаллография включает учения о внешней форме кристаллов (геометрическая кристаллография), об атомно-молекулярном строении кристаллов специальными методами рентгеноструктурного анализа, электронографии, нейтронографии (структурная кристаллография), об их физических свойствах (физическая кристаллография), о составе кристаллических веществ (кристаллохимия), теорию кристаллогенезиса - образования кристаллов.

Зарождение кристаллографии как науки сопряжено с XVII в. Одним из первых предположений научной интерпретации формы кристаллов считается книга Иоганна Кеплера "О шестиугольных снежинках" (1611г) [7].

Справка: И. Кеплер (1571-1630) высказал мнение, что форма снежинок (кристалликов льда) есть следствие общих расположений составляющих их частиц. Из книги Иоганна Кеплера «Поскольку, всякий раз, когда начинает идти снег, первые снежинки, имеют форму шестиугольной звезды, то на то должна быть определенная причина. Ибо, если это случайность, то почему не бывает пятиугольных или семиугольных снежинок, почему всегда падают шестиугольные, если только они от соударений не утрачивают форму, не слипаются во множестве, а падают редко и порознь? Когда я недавно рассуждал с кем-то на эту тему, то мы сошлись, прежде всего, на том, что причину следует искать не в веществе, а в действующем начале...» [7].

В 1783 году французский ученый Рене Жюст Гаюи (1743-1822), минералог по призванию, заключил, что любой кристалл составлен из параллельно расположенных равных частиц, смежных по целым граням.

Р.Ж. Гаюи уронил как то кристалл кальцита, и, увидев, как тот рассыпался на правильные ромбоэдры, воскликнул «все найдено». Он стал раскалывать все попадавшие ему кристаллы, заслужив у знакомых прозвище «кристаллоклеста – дробителя минералов». Фигуры, на которые минералы раскалывались (куб, ромбоэдр, октаэдр, ромбододекаэдр) позволили ему предположить «многогранную» форму атомов и вывести в 1783г. закон, позволивший теоретически рассчитать возможные грани кристаллов.

Дальнейшим шагом развития атомистической идеи было предложение в 1813г. Уильяма Гайда Волластона (1766-1828), английского физика и химика, абстрагироваться от конкретной формы атомов и заменить их математическими точками. Таким образом, появилось представление о кристаллических решетках. Габриэлю Делафосу (ученику Р.Ж. Гаюи) (1795-1878) принадлежит введение в науку понятия «решетки».

Так из представления трехмерной периодичности в расположении составляющих кристалл одинаковых материальных частиц возник абстрактный геометрический образ – *пространственная решетка*. Иными словами, под *пространственной решеткой* в кристаллографии понимается трехмерная система эквивалентных узлов.

В каждой пространственной решётке можно выделить некоторый повторяющийся элемент её структуры, или, иначе говоря, *элементарную ячейку*. *Элементарная ячейка* — фигура наименьшего размера, последовательным переносом которой можно построить весь кристалл. Пространственные, т.е. объёмные, а не плоские *элементарные ячейки* – это "кирпичики", прикладыванием которых друг к другу в пространстве строится кристалл.

1) *Элементарная ячейка* – элементарный параллелепипед, закономерная повторяемость которого образует пространственную решетку (рис. 1а). *Элементарная ячейка* характеризуется следующими параметрами: углы (α , β , γ) между направлениями, принятыми за координатными оси (X,Y,Z) и отрезки (a, b, c) – промежутки ряда (рис. 1а).

2) *Ряд* – совокупность узлов, расположенных вдоль прямой и повторяющихся через равные промежутки. Ряды соответствуют *ребрам* кристаллов и отождествляются с линиями схождения двух *плоских сеток* (рис. 1б, в).

3) *Плоская сетка* – совокупность узлов, расположенных в одной плоскости и находящихся в вершинах параллелограммов. Данный элемент пространственной решетки соответствует *граням* кристаллов (рис. 1в). Следует также отметить, что *грани* кристалла соответствуют таким *плоским сеткам*, которые имеют наибольшую *ретикулярную плотность*. Под *ретикулярной плотностью* понимается

число узлов, приходящихся на единицу площади плоской сетки или единицу длины ряда пространственной решетки.

4) Узлы – материальные частицы, соответствующие вершинам многогранников, иными словами, это точки схождения нескольких рядов (рис. 1б, A_0-A_n).

5) Пространственная решетка представляет собой совокупность материальных частиц, расположенных в соответствующих точках бесконечного множества параллелепипедов, которые нацело выполняют пространство, будучи равными, параллельно ориентированными и смежными по целым граням (рис. 1г).

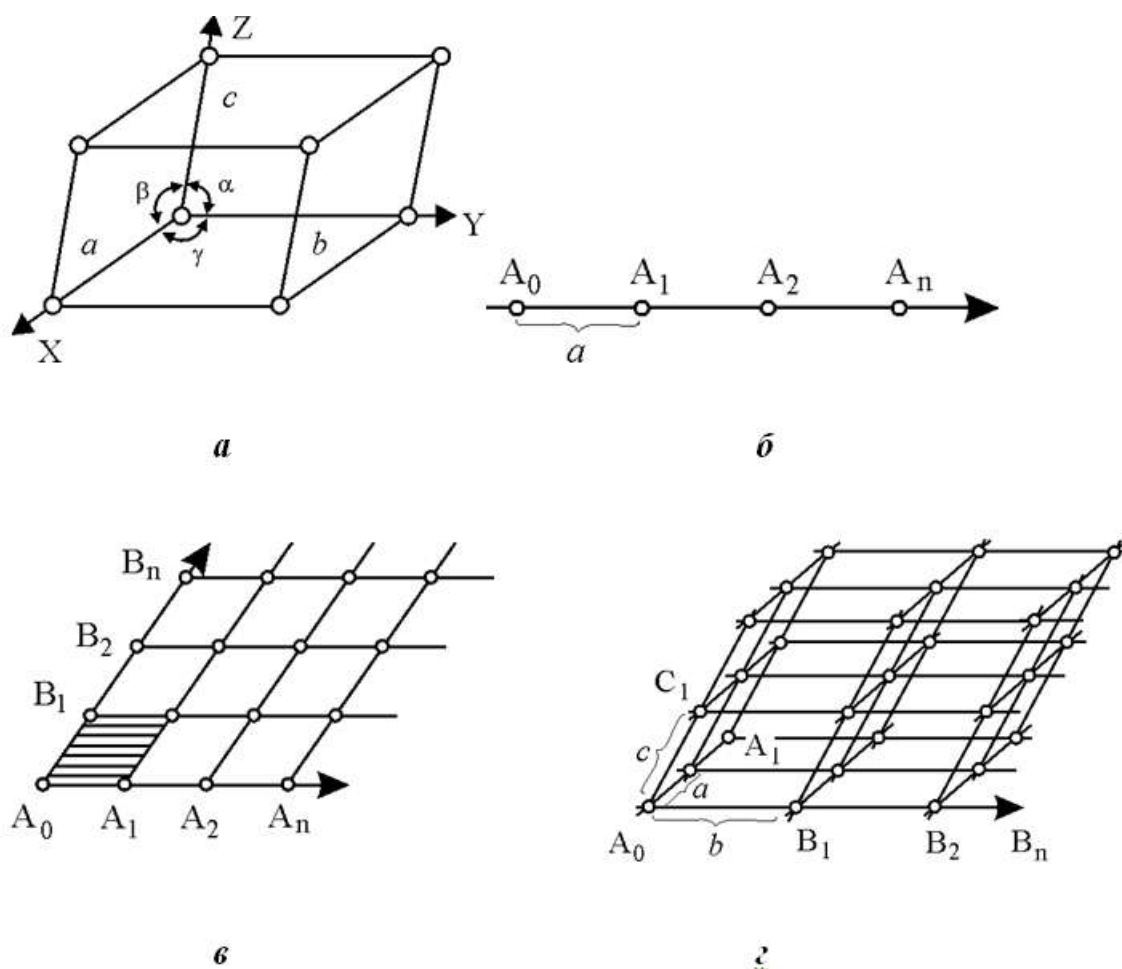


Рис. 1. а) элементарная ячейка; б) ряд пространственной решетки (узлы A_0-A_n); в) плоская сетка; г) пространственная решетка

Итак, кристаллом называется твердое тело в форме многогранника, в котором материальные частицы вещества (атомы, ионы, молекулы) расположены закономерно в виде пространственной решетки.

Справка: Открытие немецким физиком в 1912 г. Макс фон Лауэ (1879-1960) явления дифракции рентгеновских лучей при их прохождении сквозь кристалл явилось главным экспериментальным доказательством правильности теории решетчатого строения кристаллического вещества.

Тем самым было подтверждено, что абсолютно все кристаллы состоят из частиц, расположенных друг относительно друга закономерно, наподобие узлов пространственной решётки. Вслед за проведенными опытами М. Лауэ теория решетчатого строения кристаллов перестала быть только лишь умозрительным заключением и приобрела форму закона [8].

Итак, все кристаллы одного и того же вещества равноценны по структуре, в силу чего одинаково и взаимное расположение слоев (плоских сеток) друг относительно друга. Наращивая несколько новых граней параллельными слоями, углы между этими гранями не изменятся, как бы ни изменялись размеры кристалла. Отсюда следует основной закон кристаллографии «Закон постоянства граничных углов» (рис. 2).

Справка: В 1669 г. датчанин Николай Стенон (1638-1686), изучая кварц и гематит, сделал важное наблюдение: несмотря на то, что кристаллы одного минерала могут иметь разную форму, углы между их соответственными гранями неизменны. В следующем веке француз Жан-Батист Ромэ-Делиль (1736-1790) нашел, что это свойство присуще всем кристаллическим веществам. Оно получило название «Закона постоянства углов кристаллов» (рис. 2) [6].

Помимо кристаллических веществ, в которых, как уже было сказано выше, размещением материальных частиц «управляет» пространственная решетка, существуют твердые тела, в которых материальные частицы располагаются менее упорядоченно, в них отсутствует трехмерная периодичность в расположении материальных частиц, такие тела называют *аморфными* (рис. 3а).

По своей структуре аморфные тела очень близки к жидкостям или к газам, прочность аморфных тел, как правило, ниже кристаллических. Примерами аморфных тел служат стекла, смолы, опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и др. Внутреннее строение кристаллических твердых тел (рис. 3б) является наиболее устойчивым и отражает равновесное состояние вещества, поэтому зачастую стекла переходят в кристаллическое состояние, обратной картины (при той же температуре) не наблюдается.

Различие между кристаллическими телами и аморфными особенно резко проявляется в их отношении к нагреванию.

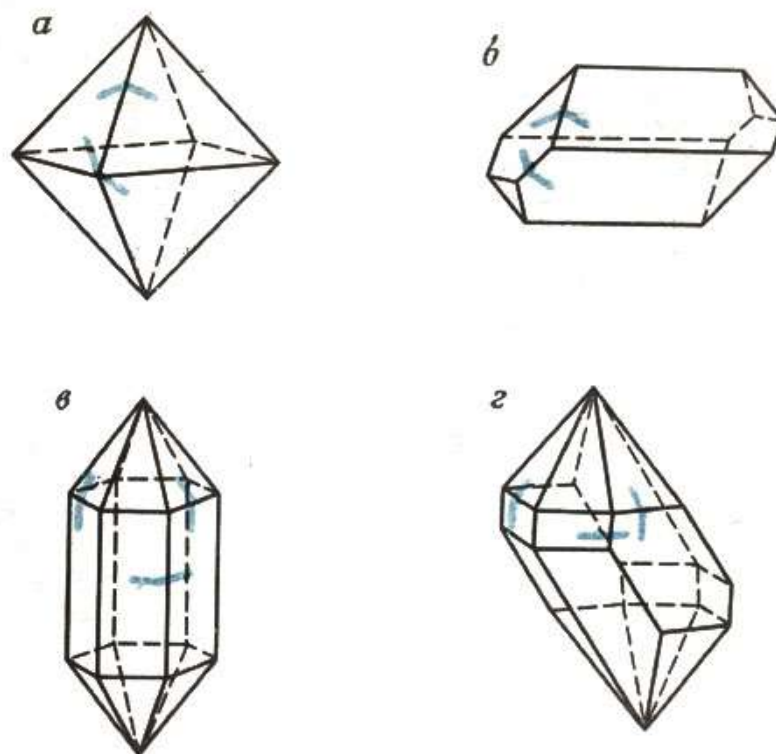


Рис. 2. Закон постоянства углов кристаллов. Соответственные грани кристаллов магнетита (а, б) и горного хрусталя (в, г) образуют друг с другом одинаковые углы. а, в - идеальные кристаллы; б, г - искаженные кристаллы

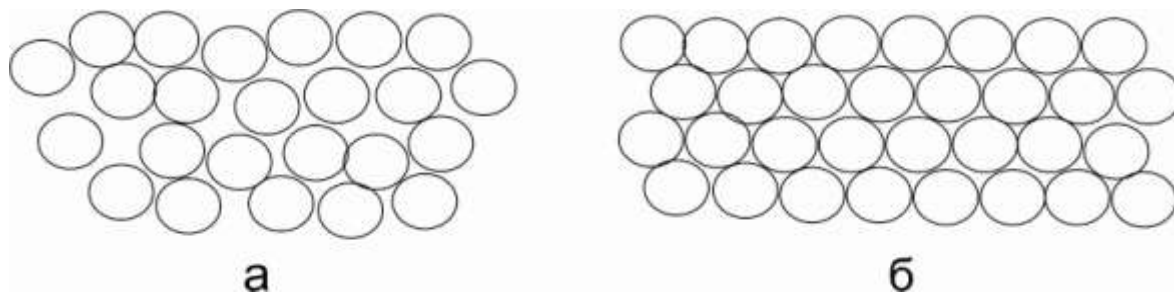


Рис. 3. Характер расположения материальных частиц в аморфных (а) и кристаллических (б) телах

Кристаллическое вещество плавится при строго определенной температуре и при той же температуре происходит переход из жидкого состояния в твердое, аморфные тела не имеют определенной точки плавления, а значит, и не имеют установленной температуры кристаллизации.

Закономерное, упорядоченное внутреннее строение кристаллических веществ обуславливает три их главных *свойства*:

1) *Однородность* (одинаковые свойства кристалла в параллельных направлениях).

Итак, кристалл – это упорядоченная в пространстве система материальных точек (атомов, ионов, молекул). Они расположены определенным образом и чаще всего так, чтобы максимально плотно заполнить объем пространства. *Однородным* может считаться тело, в котором на конечных расстояниях от любой его точки найдутся другие, эквивалентные ей не только в физическом отношении, но и геометрическом. Иными словами в параллельных направлениях наблюдается одинаковость узора взаимного расположения материальных частиц.

2) *Анизотропность* (различные свойства кристаллов в непараллельных направлениях). Это свойство ярко проявляется в монокристаллах (одинокристаллах).

Если *анизотропность* отражает способность вещества проявлять различные свойства (теплопроводность, твердость, упругость, показатель преломления и т.д.) в различных направлениях ($a \neq b \neq c$), то *изотропность* показывает обратную картину. При условии, что свойства вещества постоянны во всех направлениях, такое вещество считается *изотропным*. Это еще одно принципиальное отличие *аморфных* тел, которые являются *изотропными* от *кристаллических*, проявляющих анизотропию свойств (исключением являются кристаллы кубической сингонии, где во всех трех направлениях свойства кристаллического вещества одинаковы). То есть, минералы, кристаллизующиеся в кубической сингонии, также являются однородными во всех трех направлениях пространственной решетки ($a=b=c$).

3) *Способность самоограняться* (способность приобретать форму правильного многогранника при благоприятных условиях роста).

Как уже понял дорогой читатель, способность самоограняться, аналогично первым двум свойствам, является результатом правильного и упорядоченного внутреннего строения кристаллического вещества. Видимые границы кристаллов являются полным внешним отражением строгой внутренней упорядоченности, так как каждый кристалл можно рассматривать как некоторую часть его пространственной решетки, ограниченной плоскостями (гранями). Уместно подчеркнуть, что способность кристаллического вещества самоограняться зависит от кристаллизационной силы вещества и проявляется не всегда, а только при особо благоприятных условиях, когда внешняя окружающая среда

не мешает образованию и свободному росту кристаллов. Если же по каким либо причинам, эти условия не соблюдаются получаются или ксеноморфные или частично деформированные кристаллы. Однако, это всего лишь внешняя форма, внутри они сохраняют полную упорядоченность.

4) *Симметрия кристаллов* проявляется также благодаря их закономерному внутреннему строению. Симметрия или соразмерность проявляется не только в кристаллографии, она проявляется во всем многообразии нашего мира и, по всей видимости, неспроста, так как она полезна и целесообразна.

Справка: Рене Жюст Гаюи (1743-1822) одним из первых отметил важное значение симметрии.

К примеру, в окружающем мире птице нужно два крыла, чтобы летать, человеку – две ноги, чтобы ходить, рыбе два плавника, чтобы плавать. Симметрия – это равновесие и устойчивость, красота и гармония.

Под *симметрией* кристаллов понимается закономерная повторяемость одинаковых граней, ребер и вершин относительно некоторых вспомогательных геометрических образов – элементов симметрии.

Справка: Огюст Браве (1811-1863), один из великих французских основателей геометрической кристаллографии сформулировал понятия элементов симметрии.

К элементам симметрии кристалла относятся:

1) Ось симметрии (L) – прямая линия (рис. 4), при повороте вокруг которой на 360° кристалл несколько раз совмещается со своим исходным положением. Иными словами, при повороте вокруг виртуальной линии (оси симметрии) на определенный угол симметричная фигура займет в пространстве то же положение, которое она занимала до поворота, но на место одних ее частей переместятся другие такие же части. Ось симметрии — это физический и душевный позвоночник кристалла. Наименьший угол поворота вокруг оси, при котором фигура совмещается сама с собой, называется элементарным углом поворота. В данном случае речь идет о вращательной симметрии. Число совмещений кристалла со своим исходным положением при вращении на 360° определяет порядок оси симметрии. В кристаллах принято проводить оси симметрии второго L_2 (180°), третьего L_3 (120°), четвертого L_4 (90°) (рис. 4) и шестого L_6 (60°) порядков. Названные оси симметрии принято обозначать следующими символами: L_2 , L_3 , L_4 , L_6 . Оси симметрии порядка выше 2-го называются *осями симметрии высшего порядка*. В кристалле может быть одна или несколько осей

симметрии одинакового или разных порядков, а может не быть ни одной оси. Количество осей одного и того же порядка указывается коэффициентом перед символом оси симметрии. Например, $6L_2$ – читается: шесть осей второго порядка [10].

Ось первого порядка в кристаллах не указывается, так как ее можно провести в любом многограннике. Выше оси шестого порядка в кристаллах не установлено. Надеюсь, читатель все еще помнит, что свойство симметрии в кристаллах проявляется благодаря закономерному упорядоченному кристаллическому строению вещества. Управляет этой закономерностью пространственная решетка, состоящая из бесконечного множества элементарных ячеек – «кирпичиков», прикладыванием которых друг к другу в пространстве строится кристалл. «Кирпичики» должны быть одинаковые по размерам и форме и укладываться одним и тем же способом, заполняя пространство без промежутков. Легко проверить, что заполнить пространство таким образом возможно, к примеру, с помощью трехгранных, четырехгранных и шестигранных призм, но пяти, либо семигранными призмами невозможно, так как останутся пустоты. Таким образом, для постройки кристаллов последние «кирпичики» не подойдут, следовательно, и проведение L_5 , L_7 и т.д. невозможно [6].

Справка: Для неживой материи характерно преобладание симметрии, при переходе от неживой к живой материи уже на микроуровне преобладает асимметрия. Интересно, что в цветочном мире наиболее распространена поворотная симметрия 5-го порядка, которая принципиально невозможна в периодических структурах кристаллов.

Оси симметрии могут проходить через центры граней (плоскостей, ограничивающих многогранник), середины ребер (прямых линий, по которым сходятся грани кристалла) и вершины (точки пересечения ребер) многогранников.

Разберем на примере куба, или гексаэдра (6 граней), как проводятся оси симметрии в кристаллах. Через середины граней куба можно провести оси L_4 , так как при повороте на 90° , все точки названной фигуры вернутся в исходное положение (рис. 4). Ось симметрии – прямая линия, проходящая через 2 точки, то есть через две грани. Из этого утверждения следует, что в кубе есть три взаимно перпендикулярные оси L_4 , так как граней 6. Через каждые попарно противоположные параллельные грани проводятся три оси L_4 (рис. 4).

Важно отметить, что если в кристалле проводятся оси высшего порядка, в данном случае L_4 , то оси низшего порядка по этим направлениям уже не проводятся. Соответственно, следующим возможным прохождением осей симметрии в кубе могут являться

середины ребер (линии пересечения граней). Минимальный угол поворота, при вращении на который все точки гексаэдра совместятся сами с собой в данном случае 180° (L_2) (рис. 4). Считаем количество ребер в кубе. Их оказывается 12, соответственно проводим $6L_2$ через каждые два взаимно параллельных ребра. Остается рассмотреть возможность прохождения осей симметрии через вершины куба. При вращении на 120° (L_3) все точки фигуры совпадают с исходным положением. Соответственно через противоположные вершины гексаэдра можно провести $4L_3$, так как вершин в гексаэдре 8. Таким образом, записываем набор осей симметрии гексаэдра $3L_44L_36L_2$. Последовательность записи осей симметрии осуществляется в строчку без знаков препинания в режиме понижения их порядка. Коэффициент перед осями указывает их количество в кристалле.

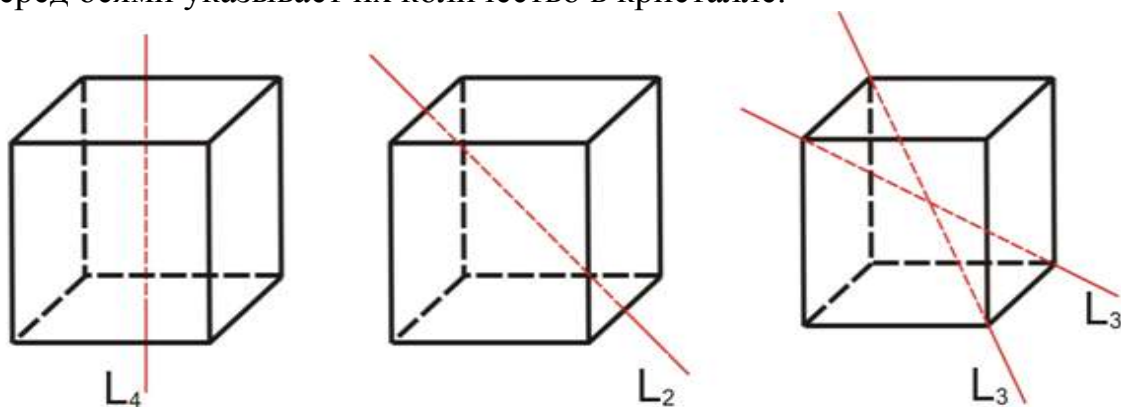


Рис. 4. Оси симметрии, проходящие через центры граней, ребер и вершины. Порядок оси определяет минимальный угол поворота, при вращении на который все точки фигуры возвращаются в исходное положение. Набор осей симметрии куба $3L_44L_36L_2$

Важно знать, что помимо осей симметрии L_2 , L_3 , L_4 , L_6 в кристаллах следует уметь находить *инверсионные оси симметрии*. В пределах нашего курса обучения необходимо уметь определять инверсионные оси четвертого Li_4 и шестого Li_6 порядков. *Инверсионная ось* - зеркально поворотная ось, проявляющаяся в следующих простых формах: тетрагональный тетраэдр, тетрагональный скаленоэдр (Li_4), ромбоэдр (Li_6). Li_4 в кристаллах совпадает с L_2 , Li_6 с L_3 . Инверсионные оси определяются путем совмещения всех точек фигуры не при прямом положении, а при обратном или зеркальном. Таким образом, в тетрагональном тетраэдре и скаленоэдре (рис. 5) через противоположные центры ребер проходит L_2 (180°), но уже при повороте на (90°) наблюдается обратное или зеркальное отражение граней. Значит, в этом направлении проходит Li_4 . Аналогичная картина устанавливается в ромбоэдре, инверсионная ось шестого порядка (Li_6)

совпадает с L_3 , так как уже при повороте на 60° мы видим обратное расположение верхних граней.



Рис. 5. Инверсионные оси четвертого (Li_4) и шестого (Li_6) порядка в кристаллах средней категории

2) Плоскость симметрии (P) – такая плоскость, которая делит кристалл на две зеркально-равные части (рис. 6). В результате этого виртуального деления фигура представляет собой предмет и его зеркальное отражение. Если приложить две ладошки друг к другу, то разделяющая их плоскость будет являться плоскостью симметрии. Данный элемент симметрии носит отражательный характер. Максимальное число плоскостей, которое возможно провести в кристаллах, равно 9 (рис. 6) Плоскости симметрии проводят через середины граней, по ребрам и по диагоналям граней.

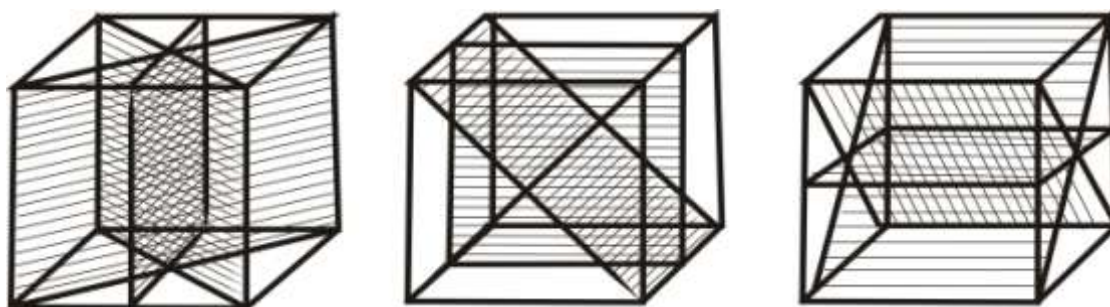


Рис. 6. Плоскости симметрии гексаэдра (число плоскостей равно 9)

3) Центр симметрии (C) – это воображаемая точка внутри кристалла, в которой пересекаются и делятся пополам линии, соединяющие противоположные одинаковые грани, ребра и вершины кристалла. Если в кристалле есть центр симметрии, то каждая грань кристалла должна иметь равную себе противоположную, параллельную

и обратно направленную грань. Если в кристалле хотя бы одна из граней не имеет себе противоположную равную, параллельную и обратно направленную грань, то центр симметрии в кристалле отсутствует. Практическим способом определения наличия центра в кристалле можно считать «способ укладывания многогранника на ровную поверхность» (к примеру, на стол), при этом напротив абсолютно *каждой* грани многогранника, которая оказывается совмещенной с плоскостью стола, должна быть равная и параллельная ей обратно направленная грань, а не вершина или выступающее ребро. Если это условие соблюдается, то в кристалле есть центр симметрии.

Совокупность всех имеющихся элементов симметрии (осей, плоскостей, центра) в кристалле необходимо *записывать в строчку*, без знаков препинания между ними, начиная с осей высшего порядка, затем указания количества плоскостей симметрии и в последнюю очередь наличие центра, если таковой имеется. Например, элементы симметрии тетрагональной призмы записывается следующем образом: L_4L_25PC [10].

Для правильной диагностики элементов симметрии кристалла нужно знать некоторые *правила*:

- 1) Если в кристалле есть ось симметрии «n»-го порядка и перпендикулярно этой оси проходят оси второго порядка, то всего содержится «n» осей 2-го порядка, перпендикулярных оси n-го порядка. Пример: L_33L_2 ; L_44L_2 ; L_66L_2 .
- 2) Если в кристалле есть ось симметрии «n»-го порядка, и вдоль нее проходит плоскость симметрии, то всего через эту ось будет проходить «n» таких плоскостей.
- 3) Линия пересечения двух плоскостей симметрии является осью симметрии, причем угол поворота вокруг этой оси вдвое больше угла между плоскостями.

Все элементы симметрии взаимодействуют друг с другом, вследствие чего некоторые их комбинации в кристаллах невозможны, а некоторые обязательны. Так, осей 3-го порядка (L_3) может быть 1, 4 или ни одной; 4-го порядка (L_4) – 1, 3 или ни одной; 6-го порядка (L_6) – 1 или ни одной; все оси симметрии пересекаются в одной точке [6].

По совокупности элементов симметрии в кристаллографии принято выделять *3 категории* и *7 сингоний*.

Категория отражает наиболее существенные свойства и отношения предметов объективного мира. Другими словами, это разряд, группа, класс однородных кристаллов, имеющих общие признаки.

Сингония (гр. *syn* вместе + *gonia* угол) - система, объединяющая кристаллы с одинаковой совокупностью углов между гранями.

Справка: Впервые сформулировать основы учения о сингониях удалось немецкому ученому Христиану Самуэлю Вейсу (1780-1856) с австрийцем Фридрихом Моосом (1773-1839), известным по шкале твердости [6].

Кристаллы каждой сингонии характеризуются одинаковыми углами и относительными величинами отрезков (параметров элементарной ячейки: a , b , c) по трем координатным осям, обладают подобным набором элементов симметрии – осями и плоскостями симметрии. Также в каждой сингонии кристаллы обладают одинаковым числом единичных направлений. *Единичным* называется направление, которое не повторяется в кристалле.

ВЫСШАЯ КАТЕГОРИЯ

• *Кубическая сингония* (обязательное наличие $4L_3$, несколько осей выше второго порядка) *параметры элементарной ячейки*: $a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$.

СРЕДНЯЯ КАТЕГОРИЯ

• *Гексагональная сингония* (обязательное наличие одной оси L_6) *параметры элементарной ячейки*: $a=b \neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$.

• *Тетрагональная сингония* (обязательное наличие одной оси L_4) *параметры элементарной ячейки*: $a=b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$.

• *Тригональная сингония* (обязательное наличие одной оси L_3) *параметры элементарной ячейки*: $a=b \neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$.

НИЗШАЯ КАТЕГОРИЯ

• *Ромбическая сингония* (сумма осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии равна 6 или 3: $3L_23PC$, L_22P . Нет осей симметрии выше второго порядка).

параметры элементарной ячейки: $a \neq b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$.

• *Моноклинная сингония* (сумма осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии равна 2 или 1: L_2PC , L_2 . Нет осей симметрии выше второго порядка).

параметры элементарной ячейки: $a \neq b \neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma \neq 90^\circ$.

• *Триклинная сингония* (наличие центра симметрии (C), либо полное отсутствие элементов симметрии).

параметры элементарной ячейки: $a \neq b \neq c$; $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$.

Всего в результате различных комбинаций элементов симметрии в кристаллах определено 32 вида симметрии (табл. 1)

Справка: По некоторым данным первый вывод групп симметрии был сделан в 1826г. немецким кристаллографом Морицем Людвигом Франкенгеймом (1801-1869), затем независимо от него в 1830 г. немецким профессором Марбургского Университета, минералогом Иоганном Фридрихом Гесселем (1796—1872), геометрически доказавшим, что внешняя форма кристаллов описывается лишь 32 видами симметрии. Одновременно он разработал полную теорию симметрии конечных фигур и вывел бесконечное множество видов их симметрии. Однако эта работа осталась незамеченной. Те же 32 вида вновь, хотя и иным путем, открыл уже в 1867г. русский ученый Аксель Вильгельмович Гадолин (1828—1892). В этих 32 классах размещены все без исключения искусственные кристаллические вещества и все минеральные виды и разновидности.

Таблица 1

Виды симметрии кристаллов (32)

Категория	Сингония	Вид симметрии						
		Примитивный	Центральный	Аксиальный	Планальный	Планаксиальный	Инверсионно-примитивный	Инверсионно-планальный
Низшая	Триклинная	–	C					
	Моноклинная			L ₂	P	L ₂ PC		
	Ромбическая			3L ₂	L ₂ 2P	3L ₂ 3PC		
Средняя	Тригональная	L ₃	L ₃ C	L ₃ 3L ₂	L ₃ 3P	L ₃ 3L ₂ 3PC		
	Тетрагональная	L ₄	L ₄ PC	L ₄ 4L ₂	L ₄ 4P	L ₄ 4L ₂ 5PC	Li ₄ (=L ₂)	Li ₄ = 2L ₂ 2P
	Гексагональная	L ₆	L ₆ PC	L ₆ 6L ₂	L ₆ 6P	L ₆ 6L ₂ 7PC	Li ₆ (=L ₃ 3P)	Li ₆ 3L ₂ 3P (=L ₃ 3L ₂ 4P)
Высшая	Кубическая	3L ₂ 4L ₃	3L ₂ 4L ₃ 3PC	3L ₄ 4L ₃ 6L ₂	3Li ₄ 4L ₃ 6P	3L ₄ 4L ₃ 6L ₂ 9PC		

1.1. ФОРМА КРИСТАЛЛОВ

"Кристалл неизменно несет на себе следы предыдущих моментов своего существования, и по его форме, по скульптуре его граней, мелочам и деталям его поверхности мы можем читать его прошлое..."

А.Е. Ферсман

Форма кристаллов не случайна, в природе она отражает обстоятельства образования минералов. В кристаллографии изучаются идеальные формы кристаллов – модели, на примере которых происходит знакомство с возможной морфологией минералов.

Простой идеальной *формой* кристалла называется многогранник, все грани которого можно получить из одной грани с помощью преобразований определенной группы элементов симметрии. Если пространство замыкается, то образуется выпуклый многогранник, который представляет собой *закрытую простую форму*. Все простые формы высшей категории являются *закрытыми* (рис. 7), то есть грани этих простых форм ограничивают и замыкают конечный объем. *Открытые простые формы* не замыкают пространство, они всегда находятся в комбинации с другими простыми формами, такая форма считается *сложной*.

Итак, среди кристаллов выделены две группы форм: 1) простая форма и 2) сложная форма (комбинация простых форм). *Простой формой* называется кристалл, который состоит из одинаковых по величине и очертанию граней, имеющих симметричное расположение.

Сложной формой (комбинацией простых форм) называется кристалл, состоящий из различных по величине и очертанию граней. *Число* различных граней определяет *количество* простых форм в комбинации, то есть в комбинации участвуют столько простых форм, сколько разновидностей граней вы можете увидеть в многограннике.

На сегодняшний момент открыто *47 простых форм*, названия которых определяет форма поперечного сечения, количество и очертание граней. В номенклатуре простых форм кристаллов используются следующие термины:

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| • <i>Моно</i> – один | • <i>Пента</i> – пять |
| • <i>Ди, би</i> – два | • <i>Гекса</i> – шесть |
| • <i>Три</i> – три | • <i>Окта</i> – восемь |
| • <i>Тетра</i> – четыре | • <i>Додека</i> – двенадцать |

- Эдра – грань
- Гонио – угол
- Син – сходно

- Пинакос – таблица
- Клине – наклон
- Поли – много

К кубической сингонии отнесено 15 простых закрытых кристаллографических форм (рис. 7.,8)

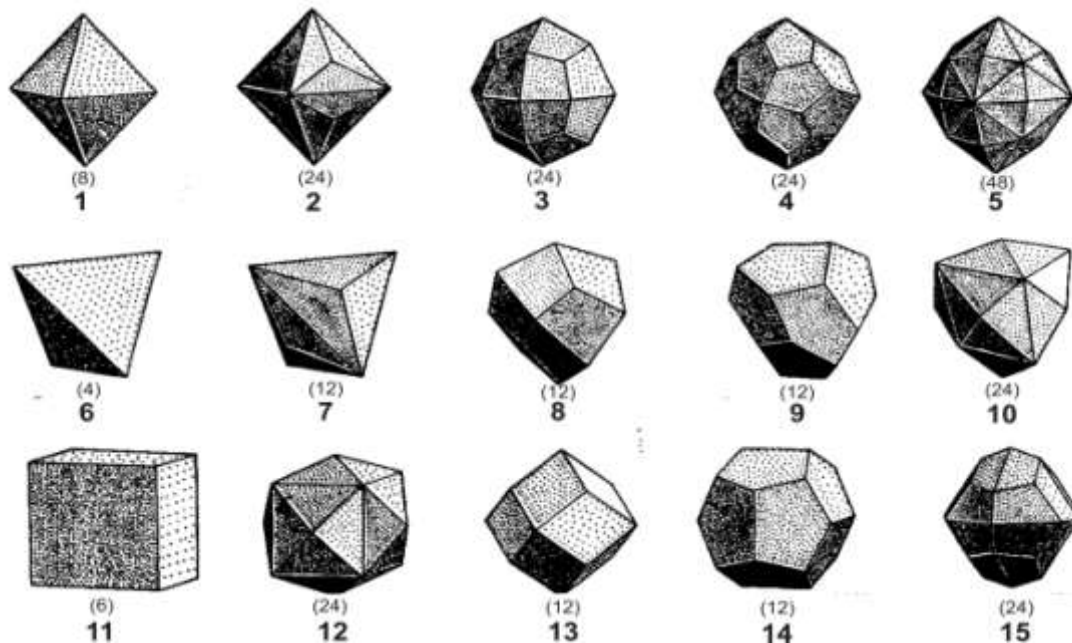


Рис. 7. Простые формы высшей категории кубической сингонии. В скобках указано количество граней. Условные обозначения: 1) октаэдр; 2) тригонтриоктаэдр; 3) тетрагонтриоктаэдр; 4) пентагонтриоктаэдр; 5) гексаоктаэдр; 6) тетраэдр; 7) тригонритетраэдр; 8) тетрагонритетраэдр; 9) пентагонритетраэдр; 10) гексатетраэдр; 11) гексаэдр; 12) тетрагексаэдр; 13) ромбододекаэдр; 14) пентагондододекаэдр; 15) дидододекаэдр

В сингониях средней категории могут встречаться призмы разного рода (когда все грани простой формы располагаются параллельно друг относительно друга и относительно оси симметрии высшего порядка), пирамиды (когда все грани сходятся в одной точке – вершине), дипирамиды, трапецоэдры (в этом случае грань простой формы представляют четырехугольник, а не треугольник, как в дипирамидах; в трапецоэдрах пояс ребер граней не лежит на одной прямой, в отличие от дипирамид); два скаленоэдра (дитригональный и тетрагональный); ромбоэдр (рис. 9.). Так как призмы и пирамиды относятся к открытым простым формам (не замыкают пространство), они находятся в комбинации с пинакоидами и моноэдрами. Однако, необходимо помнить, что пинакоид и моноэдр являются характерными простыми формами низшей категории.










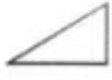




















Исходные формы		Производные формы			
Общий вид	Форма грани	Общий вид	Форма грани	Общий вид	Форма грани
 Тетраэдр, 4 грани		 Тригон-тритетраэдр, 12 граней		 Пентагон-тритетраэдр, 12 граней. Класс $4L_33L_2$	
		 Тетрагон-тритетраэдр, 12 граней		 Гексатетраэдр, 24 грани. Класс $4L_33L_26P$	
 Октаэдр, 8 граней		 Тригон-триоктаэдр, 24 грани		 Пентагон-триоктаэдр, 24 грани. Класс $3L_44L_36L_2$	
		 Тетрагон-триоктаэдр, 24 грани		 Гексоктаэдр, 48 граней. Класс $3L_44L_36L_29PC$	
 Куб, 6 граней		 Пентагон-додекаэдр, 12 граней		 Дидодекаэдр, 24 грани. Класс $4L_33L_23PC$	
		 Тетрагексаэдр, 24 грани			
		 Ромбододекаэдр, 12 граней			

Рис. 8. Вывод производных форм кубической сингонии из исходных форм тетраэдра, октаэдра, гексаэдра и самостоятельные простые формы

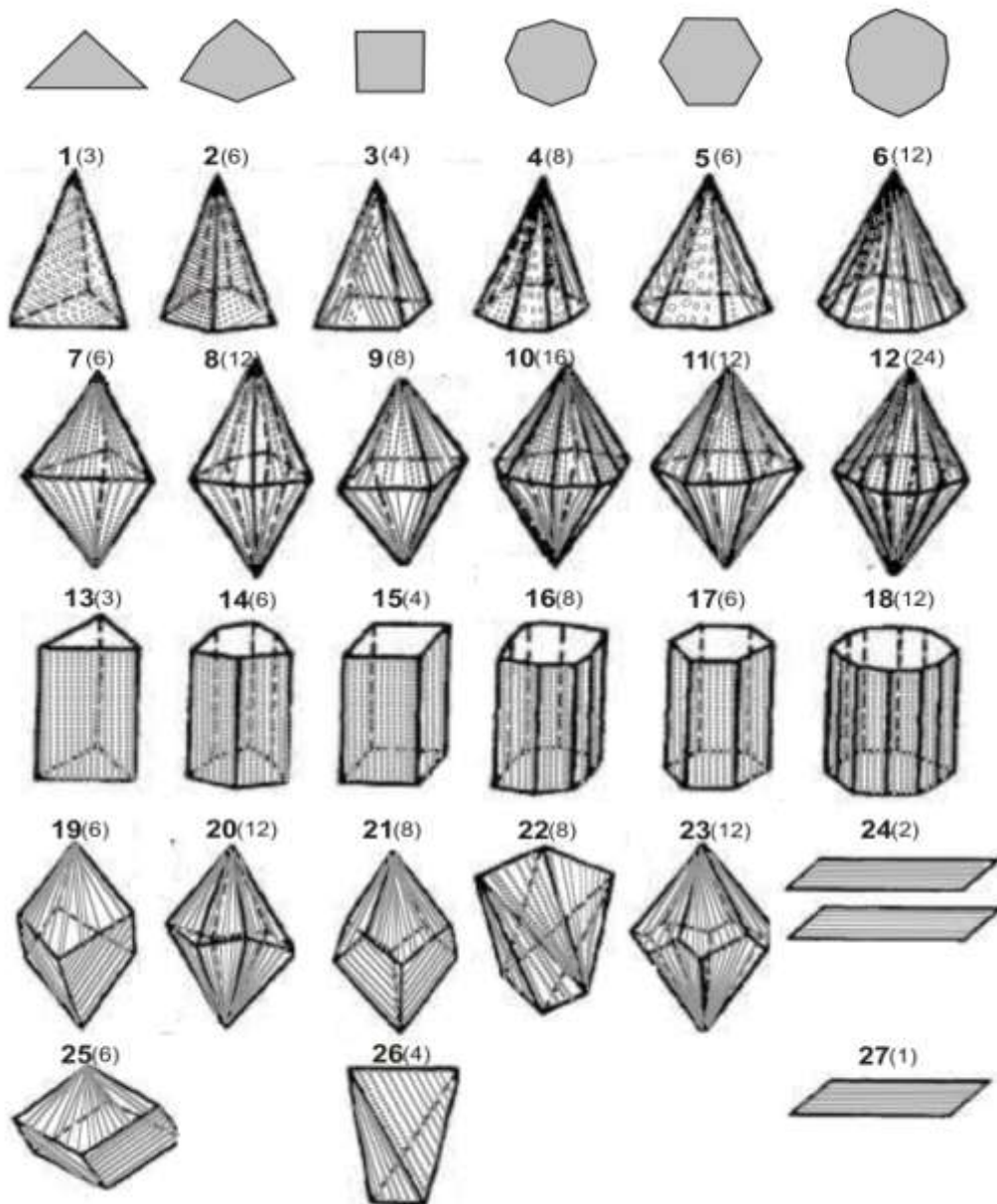


Рис. 9. Простые формы средней категории. В скобках указано количество граней. Условные обозначения: 1) тригональная пирамида; 2) дитригональная пирамида; 3) тетрагональная пирамида; 4) дитетрагональная пирамида; 5) гексагональная пирамида; 6) дигексагональная пирамида; 7) тригональная дипирамида; 8) дитригональная дипирамида; 9) тетрагональная дипирамида; 10) дитетрагональная дипирамида; 11) гексагональная дипирамида; 12) дигексагональная дипирамида; 13) тригональная призма; 14) дитригональная призма; 15) тетрагональная призма; 16) дитетрагональная призма; 17) гексагональная призма; 18) дигексагональная призма; 19) тригональный трапецоэдр; 20) дитригональный скаленоэдр; 21) тетрагональный трапецоэдр; 22) тетрагональный скаленоэдр; 23) гексагональный трапецоэдр; 24) пинакоид; 25) ромбоэдр; 26) тетрагональный тетраэдр; 27) моноэдр.

В сингониях низшей категории возможны ромбическая призма, ромбическая пирамида, ромбическая дипирамида и ромбический тетраэдр (ромбическая сингония), а также диэдр, моноэдр и пинакоид (рис. 10.).

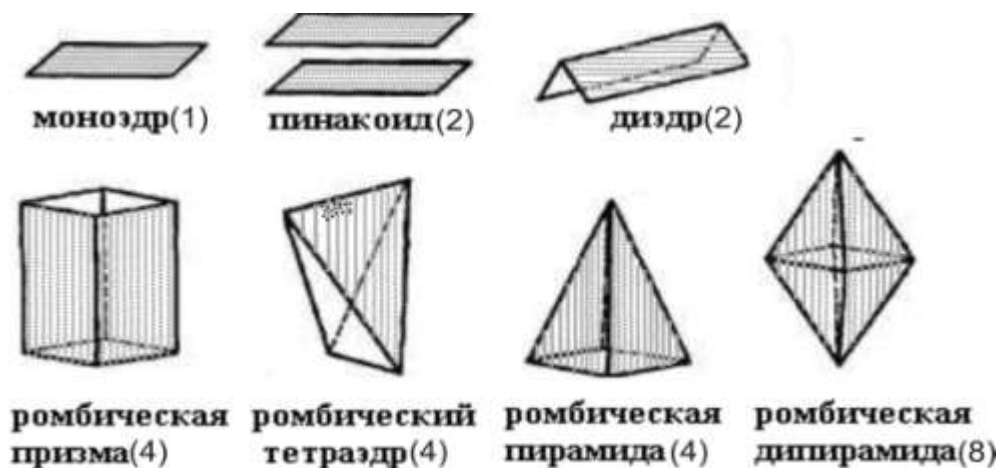


Рис. 10. Простые формы низшей категории. В скобках указано количество граней

Правила работы с комбинациями

Для верного описания комбинаций необходимо знать точный алгоритм работы со сложными кристаллами:

- 1) Первоначально необходимо определить элементы симметрии (оси, плоскости, центр) для всего кристалла;
- 2) В соответствии с полученным набором элементов симметрии легко установить принадлежность описываемого сложного кристалла к определенной сингонии (см. табл.1);
- 3) Сужая возможность нахождения простых форм в комбинации в диапазоне определенной сингонии, можно перейти к подсчету числа простых форм, участвующих в образовании комбинации. Для этого необходимо посчитать количество различных по величине и очертанию граней. Количество различных по величине и очертанию граней тождественно количеству простых форм, участвующих в комбинации.
- 4) Далее для каждого вида граней (отдельной простой формы) нужно посчитать их общее количество и посмотреть взаимное расположение относительно элементов симметрии, тем самым определив название простой формы.
- 5) В результате описания сложного кристалла должна появиться запись из набора элементов симметрии и перечисления простых форм, участвующих в образовании комбинации изучаемого кристалла.

Пример: На *рис. 11.* показаны различные проявления развития граней одних и тех же двух простых форм кубической сингонии. Правильность определения простых форм в комбинации зависит от соблюдения алгоритма определения. 1) Определив элементы симметрии для всего кристалла, устанавливаем сингонию, к которой относится искомая комбинация. В данном случае набор элементов симметрии будет следующим: $3L_44L_36L_29PC$. Такой набор характерен для кристаллов кубической сингонии (см. *табл. 1*), поэтому будем искать простые формы кубической сингонии.

2) Считаем число простых форм, участвующих в комбинации. Для этого определяем визуально, сколько различных видов граней есть в кристалле. Устанавливаем, что два.

3) Диагностируем простые формы по количеству одинаковых граней и их взаимному расположению относительно элементов симметрии кристалла. Один вид граней представлен в виде шести одинаковых граней, второй – в виде восьми. Обратите внимание, что расположение граней во всех случаях независимо от их развитости относительно элементов симметрии кристалла остается неизменным (*рис. 11, (а-в)*). При этом один вид граней располагается перпендикулярно кристаллографическим осям четвертого порядка L_4 , а второй – перпендикулярно осям третьего порядка L_3 .

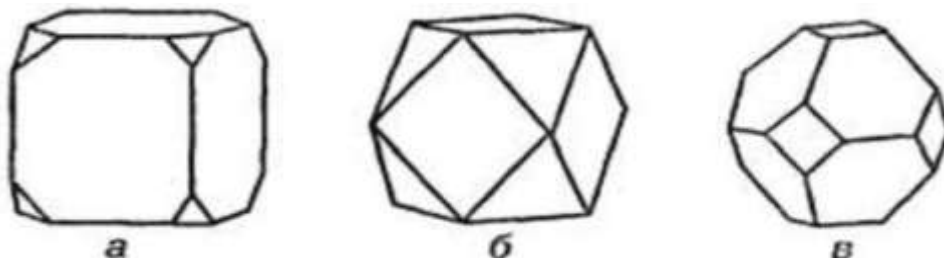


Рис. 11. Комбинация двух простых форм кубической сингонии: гексаэдра и октаэдра: а) развитые грани гексаэдра; в) преобладание развития граней октаэдра

Таким образом, первая простая форма по количеству граней и их взаимному расположению в пространстве относительно элементов симметрии кубической сингонии представляет гексаэдр, а вторая – октаэдр. В результате проделанной работы следует записать: Кристалл с набором элементов симметрии $3L_44L_36L_29PC$ представляет комбинацию 2 простых форм кубической сингонии: гексаэдра и октаэдра.

1.2. РЕАЛЬНЫЕ ФОРМЫ И РОСТ КРИСТАЛЛОВ

*Красота и блеск кристаллов
Всем и каждому понятны.
Беглый взгляд они чаруют,
Формы их уму заняты.
Искушенный наблюдатель
Разглядит их жизни тайны,
И по полочкам разложит
Все, что кажется случайным...*

Многообразие природных кристаллов не исчерпывается лишь формами, обусловленными внутренней структурой кристалла. В конечном счете, та или иная форма кристалла является результатом взаимодействия симметрии его внутренней структуры и симметрии среды кристаллизации. Пространственно неравномерное или одностороннее поступление обеспечивающих рост кристаллов компонентов или физико-химическая неоднородность самой среды кристаллизации может приводить к искажениям внешней формы кристалла. Идеально развитые кристаллы с четкими геометрическими очертаниями в природе встречаются не так уж часто.

Справка: Одним из основателей систематики и номенклатуры форм природных кристаллов является известный саксонский минералог Абраам Готлоб Вернер (1750-1817). Во второй половине XIX в. русские академики Николай Иванович Кокшаров (1818-1892) и Павел Владимирович Еремеев (1830-1899) совместно создали труды, посвященные изучению форм кристаллов. Составленные ими сводки дали науке мощную описательную основу, своего рода морфологические эталоны минеральных видов, заслужив высочайшую оценку современников и последователей. Владимир Иванович Вернадский, оценивая научную деятельность Н.И. Кокшарова писал: «Можно сказать, что только благодаря Кокшарову мы имеем точное познание геометрической формы главных групп минералов и только после его работ явились возможными правильные обобщения и сравнения тех явлений, для познания которых форма является главной и решающей».

До сих пор сохранил свое значение основательный труд немецкого кристаллографа Виктора Морица Гольдшмидта (1853-1933) - многотомный "Атлас кристаллографических форм", собравший все опубликованные к тому времени изображения кристаллов минералов.

Изучению форм природных кристаллов посвятили свою жизнь такие выдающиеся ученые как Евграф Степанович Федоров (1853-1919), крупнейшим достижением которого был строгий вывод всех возможных пространственных групп. Анатолий Капитонович Болдырев (1883-1946), создавший гигантский труд — «Определитель кристаллов». В Ленинградском горном институте А.К. Болдырев основал одну из первых в СССР

рентгенометрическую лабораторию, первую и единственную в СССР кристалломоделную мастерскую, две гониометрических и кристаллизационную лабораторию для учебных и научных целей. Затем продолжателем этой школы и онтогенетического направления в изучении природных кристаллов был Дмитрий Павлович Григорьев (1909-2003) [6].

Владимир Иванович Вернадский (1863-1945) и Александр Евгеньевич Ферсман (1883-1945) также внесли огромный вклад в изучение природных форм кристаллов.

Однако, одна геометрическая кристаллография не может дать всех ответов на многие вопросы, касающиеся особенностей форм реальных кристаллов. Например, почему грани природных кристаллов не идеально гладки? С чем связано искажение формы кристаллов и т.д.? Только углубленное изучение зарождения и жизни кристаллов может дать определенные ответы на актуальные запросы практики.

Процесс образования и роста кристаллов называют процессом кристаллизации – перехода вещества в кристаллическое состояние путем укладки атомов, ионов, молекул в кристаллическую решетку.

Кристаллы возникают при переходе вещества из любого агрегатного состояния в твердое. Кристаллизация может происходить из *расплава, раствора и газа*. Из расплавов кристаллизуется не более 20% минеральных видов, но на их долю приходится свыше 90% массы земной коры. К ним в первую очередь относятся породообразующие распространенные светлоокрашенные и темноокрашенные минералы. Кристаллизация из водных растворов охватывает примерно 90% минеральных видов. К их числу следует отнести большинство рудных минералов. Из газов и паров образуется не более 2,5% минеральных видов.

Начало кристаллизации вещества обуславливается возникновением центров кристаллизации (зародышей) и достижением ими критической величины, при которой присоединение следующих частиц сделало бы их разрастание энергетически более выгодным, чем распад. Чаще всего такие зародыши распадаются, что связано либо с собственными колебаниями, либо с бомбардировкой их свободными частицами. Зарождение кристаллов для большинства веществ проявляется либо с понижением температуры, в результате чего уменьшаются температурные колебания и частицы (атомы, ионы), потеряв избыток теплового движения, проявляют присущие им химические свойства и группируются в пространственную решетку, либо с повышением концентрации вещества в растворе или газе, что приводит к увеличению вероятности встречи частиц друг с другом, то есть к возникновению зародышей [5].

Таким образом, рост кристаллов можно рассматривать как процесс, посредством которого мельчайшие кристаллические частицы – зародыши достигают макроскопических размеров. Причем кристаллизация протекает не во всем объеме, а лишь там, где возникнут зародыши. Факторами, влияющими на появление зародышей, являются не только переохлаждение и повышение концентрации раствора или вязкости расплава, но и присутствие посторонних обломков кристаллов или пылинок, на поверхности которых собираются частицы, упрощая этим начало кристаллизации. Рано или поздно изменение внешних условий прекращает кристаллизацию, а иногда даже вызывает растворение (расплавление) выросших кристаллов. Вслед за кристаллизацией данного минерала может начаться осаждение других. Их индивиды занимают оставшееся место и промежутки между ранними, уже выросшими кристаллами.

Кристаллизация происходит самопроизвольно просто потому, что существует возможность высвобождения свободной энергии, что представляет собой в сущности один из способов ее уменьшения. Процесс кристаллизации является энергетически выгодным [6].

Справка: Главные энергетические закономерности, управляющие процессами зарождения и роста кристаллов, были установлены в конце прошлого века Гиббсом (1839-1903) – выдающимся американским физиком, одним из основателей теории термодинамики.

В 1927-1928гг. немецким физиком Вольтером Косселем (1888-1956) и И.Н. Странским совместно предложена молекулярно-кинетическая теория совершенного роста кристаллов.

В соответствии с теорией Коссея-Странского следует, что рост кристаллов происходит за счет новых слоев вещества, откладывающихся так, что грани передвигаются параллельно самим себе (рис. 12). Перемещение грани за единицу времени в направлении, перпендикулярном ее плоскости называется скоростью нарастания грани. По причине движения граней параллельно самим себе углы между двумя любыми гранями растущего кристалла остаются постоянными [6].

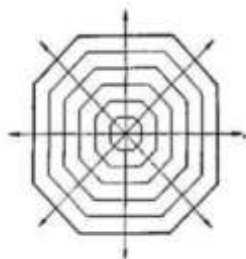


Рис. 12. Стрелками показана скорость нарастания граней

Таким образом, при росте кристалла происходит своего рода соревнование: одни грани разрастаются и как бы вытесняют другие. Главное запомнить, что увеличиваются в размерах как раз те грани, которые растут медленно. Чем сильнее спешка, тем больше риск сойти с дистанции.

Модель послойного роста хорошо объясняет плоскогранность кристаллов, но не дает ответов на многие другие вопросы, к примеру: Почему кристаллы, став плоскогранными, все же продолжают расти? Ведь как показывают расчеты, для дальнейшего роста идеального плоскогранного кристалла необходимо громадное пересыщение вещества. Объяснение этому противоречию дает вторая модель роста кристаллов за счет дефектности кристаллической структуры реальных кристаллов. Температура – это запас тепловой энергии кристалла, которая неизбежно раскачивает частицы, не давая им неподвижно покоиться в узлах решетки. Колеблясь, частицы и в кристалле продолжают обмениваться энергией. Время от времени какая-нибудь из них, получив достаточный энергетический импульс, выскакивает из узла, оставляет на своем месте вакансию и внедряется в междоузлие. С понижением температуры колебания уменьшаются, но полностью не исчезают.

Справка: В 1949 г. два лауреата Нобелевской премии немецко-американский физик Джеймс Франк (1882-1995) и английский химик (1918-1998) предложили модель не послойного роста кристаллов, а дислокационного (рис. 13). Суть этой идеи заключается в том, что на грани растущего кристалла имеется исчезающая ступенька, навивающая на себя не плоские, а спиральные слои. Существование такой ступеньки объясняется нарушением регулярности строения реального кристалла, или винтовой дислокацией.

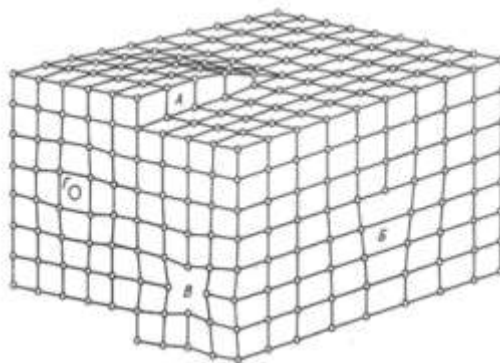


Рис. 13. Схема строения кристаллической решетки реального кристалла с различными видами точечных дефектов, провоцирующих рост кристаллов. Винтовая дислокация (А), краевая дислокация (Б), вакансия (В), внедрение атома в междоузлие (Г)

С дефектами кристаллической структуры связана также аллохроматическая окраска минералов. Дефекты способны перемещаться: при температуре, близкой к точке плавления, скорость перемещения вакансий достигает нескольких метров в секунду. Однако, это движение хаотично и больше напоминает топтание на месте (за одну секунду вакансия смещается всего на несколько микрометров), но все же оно делает принципиально возможной диффузию атомов, а, следовательно, перекристаллизацию в твердом состоянии [6]. Скорость нарастания граней различна. Часто она определяется скоростью процессов тепло- и массообмена, наличием дислокаций (дефекты структуры), примесей, пересыщения раствора, концентрационных потоков т.д. Неравномерность массопереноса проявляется в том, что к одинаковым граням неодинаково подается строительный материал. Там, где истощенный раствор быстрее заменяется свежим, грани при прочих равных условиях нарастают быстрее. Направленное движение раствора вызывает преимущественное отложение вещества на гранях, обращенных навстречу потоку. К примеру, при росте кристалла в сланцеватой породе он будет больше всего удлиняться вдоль сланцеватости, так как в этом направлении проницаемость породы максимальна и раствор обновляется быстрее. Заметно влияет на габитус кристалла также сила тяжести, направленная всегда вертикально. Истощенный раствор, у которого плотность меньше, поднимается вверх, образуя так называемые концентрационные потоки, обуславливающие опережающий рост "подветренной", верхней стороны кристалла. На кристаллах преобладают грани, атомные сетки которых густо покрыты материальными частицами, то есть обладают наибольшей *ретикулярной плотностью*. С другой стороны, медленный рост граней обычно способствует увеличению их поверхности, так как быстрорастущие грани со временем исчезают (рис. 14). Отсюда можно сделать вывод, что кристалл покрывается гранями с наименьшей скоростью роста и наибольшей ретикулярной плотностью.

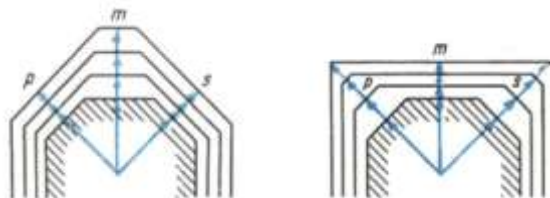


Рис. 14. Различный рост граней. На левом кристалле грань *m* растет быстрее граней *p* и *s*, на правом – медленнее

Грани природных кристаллов часто имеют отклонения от идеальных многогранников в виде *вицинальных образований, впадин, зон растворения, штриховки и т.д.*

Вицинальные образования – скульптуры роста в виде пологих бугорков, слегка уклоненных от плоскости главной грани, специфичных для каждого минерала и для конкретной простой формы. Причины зарождения таких уклонений заключаются в локальном усилении роста, вследствие появления какой-нибудь неоднородности – дефекта, вокруг которого облегчается зарождение новых слоев. Источниками новых зарождений могут стать также механические включения других минералов, повреждения – царапины и трещины. С ними растущий кристалл справляется сам: вокруг повреждения начинается усиленный рост (вследствие появления неровности на гладкой грани) и образуется нарост-рубец, в точности такой, как при заживлении раны. Трудно подобрать им более верное название, чем то, которое дал Г. Г. Леммлейн в своей книге «Морфология и генезис кристаллов» – "шрамовые вицинали".

Впадины и зоны растворения являются следствием недосыщения раствора, за счет которого растет кристалл. Как только раствор вновь становится пересыщенным, начавший растворяться кристалл опять начинает расти – регенерировать. Растворимость заметно увеличивается из-за структурных дефектов и примесей. Если рост кристалла сопровождается появлением *вициналей*, то при растворении (разъедании) возникают *ямки – фигуры травления*. Их форма и симметрия зависят от кристаллической структуры. Различные грани поддаются растворению в разной степени, и кристалл постепенно покрывается быстро растворяющимися гранями (тогда как при росте преобладают медленно растущие грани). В первую очередь растворению подвергаются вершины и ребра, вследствие чего формы растворения часто округлы и кривогранны [6].

Комбинационная штриховка отражает своего рода соревнование граней различных простых форм в своем росте. Представлена она в виде узких полосок граней смежных форм. Комбинационная штриховка всегда параллельна разделяющему грани ребру.

Как уже отмечалось выше, в природе кристаллы не всегда имеют идеальную форму, как мы привыкли видеть на кристаллографических моделях. В результате влияния внешних факторов происходит значительное искажение и отклонение от идеальных правильных многогранников, характерных для той или иной сингонии.

Например, когда раствор, как питающая среда, плохо перемешивается и его концентрация не успевает выравниваться, преобладает неравномерный рост кристаллов. В таком случае грани начинают отставать в росте от вершин и ребер, которые окружены питающим раствором со всех сторон, в отличие от середин граней. Такая ситуация возникает при высоком пресыщении, неподвижном растворе и затрудненной диффузии: раствор не в состоянии обеспечить равномерную поставку вещества кристаллу. В результате такой кристаллизации возникают усложненные фигуры роста – *скелеты*. В определенных обстоятельствах скелетная форма обеспечивает кристаллу более быстрое наращивание массы, а значит, она при этом не только возможна, но и предпочтительна. Здесь уместно процитировать мнение видного советского кристаллографа Н. Н. Шефталя, "кристалл в первую очередь стремится расти, во вторую – расти наиболее совершенным".

Классическим примером кристаллических скелетов являются *снежинки*. К вынужденным формам роста принадлежат также кристаллические *дендриты* – как бы гипертрофированные, разросшиеся скелетные кристаллы. Причины их возникновения те же, что и скелетов: затрудненное питание, плохой отвод тепла. Нередко дендриты находят в узких трещинах вмещающей породы. Каждая ветвь стремилась расти в сторону более крепкого раствора, подальше от конкурирующей соседней ветви, и под влиянием этой тенденции дендрит все более разрастался в стороны. Такой способ роста определяет форму дендритов, сходную с кустами и деревьями. Отсюда и название: "дендрос" в переводе с греческого дерево [6].



Рис. 15. Дендриты пиролюзита (Германия)

Давно замечено, что образование дендритов происходит, как правило, в сильно пересыщенных растворах и значительно переохлажденных расплавах. Существенную роль играют тормозящие рост примеси: при одних и тех же условиях в загрязненных средах развиваются дендриты, а в чистых – обычные кристаллы. Почему это происходит, показал в 1950 г. в своей книге «Дендритная кристаллизация» советский исследователь Д. Д. Саратовкин. Растущий кристалл извлекает из раствора или расплава чистое вещество, а примесь накапливается вокруг и начинает тормозить рост граней. Однако вблизи вершин и ребер она как бы отесняется смежными гранями и остаются просветы, обеспечивающие преимущественный рост вершин и ребер. На изломе контура образовавшегося отростка возникает ответвление, на нем со временем вырастает ветвь второго поколения. Намного реже встречаются в природе *антискелеты* – кристаллы с выпуклыми гранями, нараставшими быстрее ребер и вершин. Возможная предпосылка их возникновения – меньшая по сравнению со скелетами неравновесность (открытость системы): при той же массе антискелет обладает меньшей поверхностью. Развитию антискелетов может способствовать преимущественная адсорбция тормозящих примесей ребрами и вершинами. По-видимому, появление антискелетов более вероятно при малых пересыщениях.

А.Е. Ферсман наглядно показал в своих зарисовках на примере кристаллов алмаза как меняется их форма от скелетной до антискелетной в зависимости от изменения внешних факторов среды минералообразования (рис. 16).

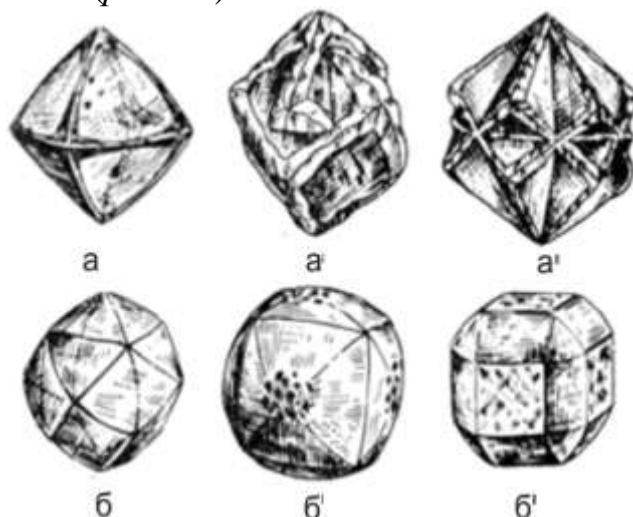


Рис. 16. Скелетная форма кристаллов алмаза: *a* – октаэдр, *a'*, *a''* – закономерные крестовидные прорастания (двойников) октаэдров; Антискелетная форма кристаллов алмаза *б*, *б'* – тетрагексаэдр; *б''* – комбинация гексаэдра, октаэдра, ромбододекаэдра

Предположительно, по мере раскristаллизации кимберлита (материнской породы алмаза) высокое давление создает условие растворимости, что ведет к образованию скелетных форм, при понижении давления кристаллики алмаза начинают усиленно расти.

Помимо скелетных и антискелетных кристаллов к искаженным формам также следует отнести *нитевидные* или *волосовидные* кристаллы (рис. 17).



Рис. 17. Кристаллы биссолита – волосовидная разновидность актинолита

В книге М. Н. Малеева «Свойства и генезис природных нитевидных кристаллов и их агрегатов» возникновение удлиненных форм кристаллов объясняется совместным, взаимоусиливающим действием нескольких факторов, каждый из которых создает тенденцию к вытянутому облику кристаллов. Из-за особенностей структуры, наличия винтовой дислокации или по другой причине кристалл уже на ранней стадии роста получает преимущественное развитие в каком-нибудь одном направлении. При большом пересыщении он развивается более или менее обычным путем. Если пересыщение мало, рост идет медленно, и формируется совершенная структура с малым числом дислокаций, располагающихся главным образом вдоль удлинения кристалла. Когда пересыщение недостаточно для зарождения новых слоев, рост боковых граней прекращается, но торец кристалла продолжает расти, так как здесь имеются выходы осей винтовых дислокаций. Тенденция к

нитевидному росту усиливается избирательным поглощением примесей боковыми гранями [6].

Все сказанное выше относилось непосредственно к отдельным кристаллам. Однако в природных условиях гораздо чаще образуются не отдельные кристаллы, а *кристаллические сростки*, которые в свою очередь в зависимости от взаимной ориентировки в пространстве подразделяются на *закономерные, приближенно закономерные* и *незакономерные*. К последним принадлежат агрегаты различно ориентированных кристаллических зерен, в которых взаимная ориентировка более или менее случайна, произвольна. Примером *приближенно закономерных* кристаллических сростков могут служить *друзы* (минеральные щетки) – скопления кристаллов, имеющих общую подложку и приближенно закономерную ориентировку головок кристаллов. К *закономерным* сросткам относятся *эпитаксия, параллельные сростки* и *двойники*.

Эпитаксические сростки отражают закономерно ориентированное нарастание одного минерала на другой. Как правило, выросшие кристаллы одинаково ориентированы на индивиде-основании – "матрице". Этим эпитаксические срастания отличаются от обычных, *незакономерных сростков* минералов. В минералогической литературе описано более 400 эпитаксических пар, однако, не надо считать, что на этом открытия новых эпитаксических срастаний закончатся. Эпитаксия может проявляться как на микро, так и на макро-уровне. Примером хорошо видимой эпитаксии является письменный гранит или «еврейский камень», который представляет закономерное срастание полевого шпата и кварца.

Уже в 1908 г. В.И. Вернадский отметил, что при эпитаксическом срастании возникает самая низкоэнергетическая поверхность раздела кристаллов. В связи с этим эпитаксическое срастание может получить преимущество как перед образованием отдельного кристалла, так и перед случайным, неориентированным нарастанием. Поверхность матрицы (как и любого кристалла) представляет своего рода структурный дефект (нарушение однородности структуры, локализация свободной энергии), а эпитаксия этот дефект как бы залечивает, исправляет. Возникают такие срастания, по мнению А.Е. Ферсмана, путем одновременной кристаллизации кварца и полевого шпата из *эвтектических расплавов*. *Эвтектикой* называют структуру, состоящую из определенного сочетания двух (или более) твердых фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкого сплава. Благодаря

округлой сплюсненной форме вростков кварца в полевом шпате схожих с рыбками, А.Е.Ферсман назвал их «ихтиоглиптами», часто они следуют параллельно друг другу создавая визуально эффект рыбьей стаи [6].

Частным случаем образования *параллельных сростков* является *автоэпитаксия*. *Автоэпитаксия* (гомозэпитаксия) – процесс ориентированного наращивания кристаллического вещества, одинакового по структуре и не отличающегося химически (или отличающегося незначительно) от вещества подложки. Отличие может заключаться в различном количестве примесей, что обуславливает возможность формирования гомогенных электронно-дырочных структур.

Примером являются часто встречаемые автоэпитаксичные сростки кварца. Ориентированное зарождение происходит в местах концентрации поверхностной энергии кристалла-индуктора – на вершинах, разделяющих призму и ромбоэдрические грани головки. Разрастающиеся индивиды второго поколения смыкаются друг с другом и образуют эпитаксический венчик или утолщенную головку – "скипетр". Зарождение новых индивидов может быть связано с изменениями внешних условий. Об этом свидетельствует смена окраски, например, бесцветной на фиолетовую (аметистовую) (*рис. 18*).



Рис. 18. Скипетровидный кристалл кварца

При автоэпитаксии кристаллическая структура младшего индивида продолжает структуру старшего, и оба составляют в сущности один кристалл. Все элементы структур индивидов расположены соответственно параллельно, вследствие чего одинаково ориентированы и элементы ограничения – грани, ребра,

вершины. Помимо автоэпитаксии встречаются просто параллельные сростки многоголовых кристаллов.

Как *автоэпитаксия*, так и *многоголовый рост* приводят к одному и тому же результату – параллельному срастанию. Но с генетической точки зрения это не совсем одно и то же. Автоэпитаксия начинается с ориентировки нового зародыша, тогда как многоголовый рост возможен при смене габитуса или регенерации взрослого кристалла. Параллельное срастание – термин сугубо морфологический: он обозначает просто сросток параллельно ориентированных кристаллов независимо от причины ориентировки. Параллельные срастания могут образовываться при одинаковой ориентировке нескольких индивидов, эпитаксически нарастающих на одну матрицу, или из-за разделения кристаллов по спайным направлениям.

Как и параллельные сростки, *двойники* относятся к закономерным срастаниям одного минерального вида, в которых поверхность срастания принадлежит одновременно одинаковым плоским сеткам обоих индивидов. Но если в параллельных сростках структуры индивидов по обе стороны поверхности срастания продолжают друг друга и получают одна из другой простым параллельным переносом, то в двойниках они связаны осевой или зеркальной симметрией.

Таким образом, *двойником* называется закономерный сросток двух однородных кристаллов, в котором один кристалл является зеркальным отражением другого или же один кристалл выводится из другого путем поворота на 180° . Плоскость, при отражении в которой из одного кристалла двойника выводится другой, называется *двойниковой плоскостью*. Направление при повороте вокруг которого на 180° , из одного кристалла выводится другой называется *двойниковой осью* (рис. 19) [11].

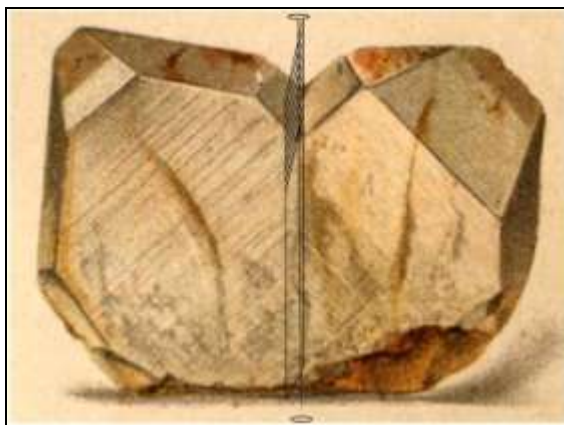


Рис. 19. Двойник кристаллов кварца

Таким образом, у *двойников* следует выделять несколько характерных особенностей отличающих их от параллельных сростков: 1) входящие углы; 2) двойниковую ось; 3) двойниковую плоскость.

Почему образуются двойники? По большому счету ответ заключается опять в энергетической выгоде образования такого закономерного сростания. Входящие углы выполняют роль той самой ступени, на которой осаждение частиц облегчено по сравнению с гладкой гранью. Для роста входящие углы двойников еще удобнее, чем при эпитаксии, так как структуры индивидов полностью идентичны. Иными словами, двойникование – это один из способов, которыми кристалл может облегчить себе рост. Предположим, в процессе роста возникла "ошибка упаковки": группа частиц случайно заняла не свое, а симметричное, двойниковое положение. Благодаря появлению входящего угла такая ошибка энергетически выгодна, надобности в ее исправлении нет. Рост продолжается с двойниковой упаковкой частиц, и отложение вещества идет преимущественно во входящих углах.

Образованию двойников также способствуют следующие факторы: 1) температурные колебания, обуславливающие смену полиморфных модификаций (переход из гексагонального β -кварца в тригональный α -кварц); 2) химические примеси (двойники превращения); 3) механическое давление (за счет двойникования частично сбрасывается «механическое» напряжение). Так образуются некоторые двойники кальцита и доломита (в том числе полисинтетические – сложные двойники) в зернах *мраморов* и метаморфизованных, перемятых *известняков* (рис. 20). В отдельных случаях можно наблюдать серию кристаллов, сростшихся так, что каждые два соседних ориентируются относительно друг друга в двойниковом положении, а кристаллы, следующие через один, являются взаимно параллельными. Такие двойники называют *полисинтетическими* [11].

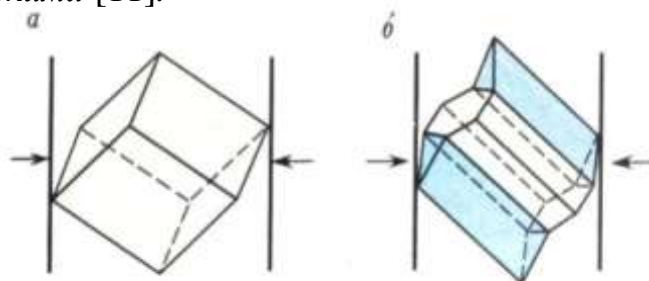


Рис. 20. Механическое двойникование: а – ромбоэдр кальцита до двойникования; б – полисинтетический двойник кальцита после двойникования

Полисинтетические двойники могут придавать псевдохроматическую (ложную) окраску плагиоклазам (породообразующим каркасным силикатам). Пластинки полисинтетических двойников в плагиоклазах часто имеют микроскопическую толщину именно по этой причине с плоскостями их срастаний связан характерный оптический эффект – *иризация*.

В данном случае речь шла о двойниках срастания, или контактных двойниках, когда индивиды расположены по разные стороны от плоскости срастания (рис. 21, а); в двойниках прорастания, или проникновения они как бы пронизывают друг друга (рис. 21, б). В двойниках прорастания кристаллы как бы обрастают друг друга, либо насквозь проникают один в другой, соприкасаясь по сложной извилистой (ступенчатой) поверхности [2].

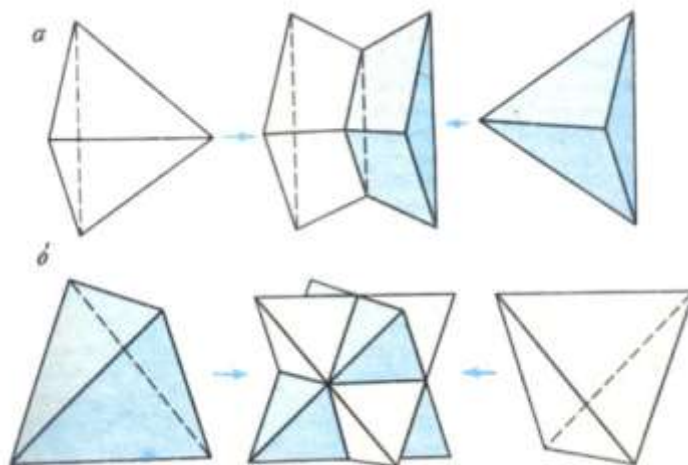


Рис. 21. Двойники срастания (а) и прорастания тетраэдров (б)

В двойниковании могут участвовать больше чем два индивида, тогда говорят о *тройниках*, *четверниках*, *шестерниках* и т.д. [6].

Существует множество законов двойникования, они определяются направлениями, по которым происходит срастание индивидов. Например, двойники по «шпинелевому» закону срастаются вдоль грани октаэдра. В «арагонитовом» законе двойниковой плоскостью служит грань ромбической призмы. Для арагонита и церуссита – типичны тройники по этому закону с псевдогексагональной симметрией.

В частности, для кварца описано около 18 законов двойникования, причем чаще всего встречаются как раз двойники с совмещенными главными осями L_3 – дофинеийские и бразильские. Особенности двойникования кварца связаны с тем, что его структура допускает существование "левых" и "правых" кристаллов, внешне

отличающихся расположением небольших граней x (рис. 22, а). В дофинейском двойнике прорастают друг друга два одинаковых индивида (рис. 22, б), в бразильском – левый и правый (рис. 22, в).

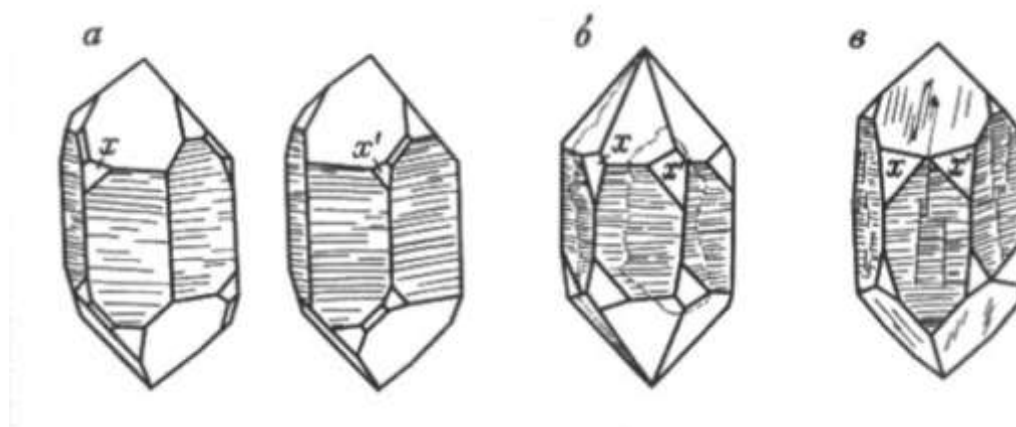


Рис. 22. Двойникование кварца: а – левый и правый кристаллы; б – дофинейский двойник; в – бразильский двойник

ЧАСТЬ 2. МИНЕРАЛОГИЯ

*Мысли беззвучны. Слова не доносят их сути.
Обо всем тебе скажет лишь камень,
безмолвно пред взором лежащий...*

Вьетнамская мудрость

Познание минерального мира кристаллических тел, происходили в основном в связи с практическими потребностями человечества. И как бы прозаично это не звучало, минералы использовались в подавляющем большинстве случаев лишь с целью извлечения из них ценных компонентов – благородных, цветных, черных и редких металлов и неметаллов, рассеянных элементов, различных химических соединений.

Минералогия – наука о минералах, которая изучает кристаллическую структуру, химический состав, свойства, морфологию агрегатов, процессы образования и изменения минералов, закономерности их совместного нахождения в природе, а также условия и методы искусственного получения (синтеза) и практического использования. Объектом изучения минералогии является минерал. *Минералами* называют физически и химически однородные кристаллические тела, образовавшиеся в результате определенных природных физико-химических процессов.

2.1. Облик кристаллов и морфология агрегатов

Облик (габитус) кристаллов – это внешний вид кристаллов, определяемый преобладанием тех или иных простых форм. Морфология минеральных индивидов выражается в различном соотношении их длины, ширины и толщины. В зависимости от этого принято выделять следующие морфологические типы *облика кристаллов*:

1) *Изометричный* (близкий к шарообразному) – кристаллы характеризуются одинаковыми соотношениями размеров длины, толщины и ширины. Обычно *изометричный* облик кристаллов характерен для минералов, кристаллизующихся в кубической сингонии. Примерами минералов изометричного облика являются *алмаз, магнетит, гранат, сфалерит, пирит* и др.

2) *Удлиненный* (вытянутый в одном направлении), когда длина значительно преобладает над шириной. Среди них выделяют: *столбчатые, игольчатые, шестоватые, призматические, волокнистые и нитевидные* кристаллы. Удлиненный облик кристаллов характерен для минералов, кристаллизующихся в средней категории (гексагональной, тетрагональной, тригональной сингонии). Примерами удлиненных минералов являются *турмалин, берилл, хризотил-асбест* и др.

3) *Уплющенный* (таблитчатый, пластинчатый), когда длина и ширина значительно преобладает над толщиной. Подобный облик кристаллов характерен для минералов, кристаллизующихся в низшей категории (ромбическая, моноклинная, триклинная сингония). Примерами минералов уплощенного габитуса выступают *слюды, молибденит, графит* и др.

Морфология агрегатов. Главное отличие агрегатов от индивидов состоит в том, что они возникают из многих центров роста, в которых отдельные кристаллы начинают расти самостоятельно и независимо друг от друга. Затем наступает фаза коллективного роста: индивиды объединяются в агрегат и растут вместе, подчиняясь общим законам развития. Минеральные индивиды очень часто находятся в мономинеральных (сложены одним минералом) или полиминеральных (сложены несколькими минералами) сростаниях.

Агрегат – совокупность взаимосвязанных и, как правило, однотипных индивидов. Но одни и те же индивиды могут объединяться в различные агрегаты в зависимости от удобных обстоятельств. Ради выяснения этих обстоятельств мы и изучаем агрегаты, стараясь понять способы и причины их возникновения, как упорядоченной системы, сообщества.

Входящие в состав агрегатов минеральные индивиды могут отличаться внешним обликом, то есть размером и морфологией.

Существуют следующие типы минеральных сростаний:

1) *Зернистые* (по величине слагающих их зерен делятся на *крупнозернистые* (от 5 мм), *среднезернистые* (от 1 до 5 мм), *мелкозернистые* (менее 1 мм)). По характеру распределения зерен в пределах минерального агрегата следует различать *равномернозернистые* и *неравномерозернистые*.

2) *Друзы (щетки)* – приближенно-закономерные сростки правильных, хорошо образованных кристаллов, выросших в полостях (пустотах) горных пород на каких-либо поверхностях (общих подложках) (*рис. 23*). *Друзой* называют группу плотно сросшихся кристаллов, ограниченных головками и гранями

составляющих её кристаллов с одной стороны, и субстратом, на который они нарастают – с другой. Друзы характеризуются двумя главными качествами: геометрической формой индивидов в сочетании с их несколько хаотическим расположением.



Рис. 23. Друза кристаллов аметистовидного кварца

Собственная (идиоморфная) кристаллическая огранка индивидов говорит о росте в свободном пространстве. Каждый индивид имеет также участки индукционных поверхностей совместного роста с соседними индивидами и отпечаток подложки, на которой выросла друза. Свободная, идиоморфная часть индивидов несет определенную информацию: признаки особенностей роста, симметрии питания и растворения, ориентировки в пространстве. Коллективизация сводится к срастанию индивидов при их более или менее самостоятельном развитии в одном агрегате. Бывает, что друза сложена индивидами разных возрастов. О том, какие из них старше, какие моложе, можно судить по взаимному расположению: кристаллы младшего поколения зарождаются и растут на старших, несут их отпечатки, заполняют пространство между ними.

Почему мы видим приближенно-параллельные сростки индивидов, ориентированных перпендикулярно к общей подложке, ведь изначально центры кристаллизации ориентируются хаотично или случайно? Причины кроются в самом процессе роста и совместной кристаллизации агрегата. По мере формирования этого «ансамбля», кристаллы один за другим начинают соприкасаться и срастаться, в этой борьбе выживает наиболее удачливый. Рост

минеральных индивидов в друзе отчетливо можно проследить на рисунке 24.

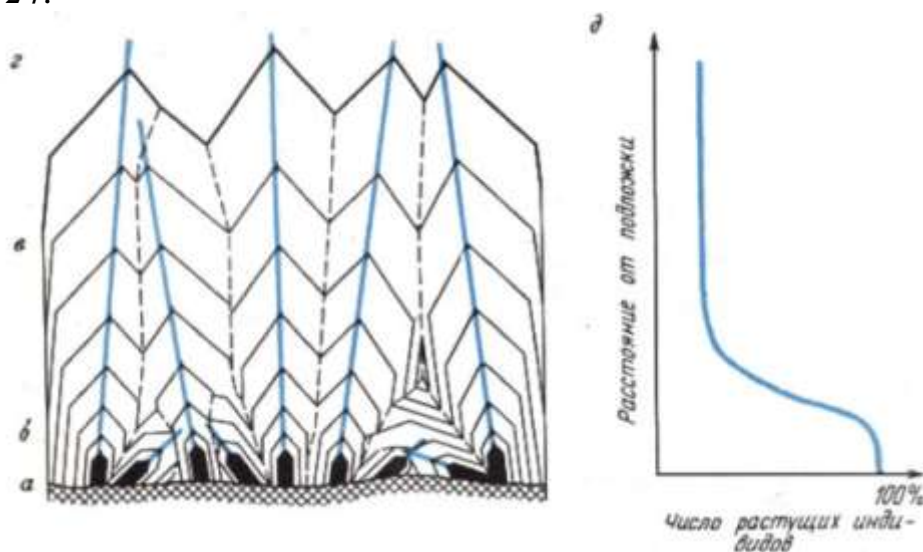


Рис. 24. Процесс формирования друзы: а – рост отдельными кристаллами; б – друзовый агрегат; в – параллельно-шестоватый агрегат; г – щетка; д – график геометрического отбора

Кристаллы, расположенные наклонно к подложке (то есть, растущие в этом направлении быстрее всего), вскоре упрутся в своих соседей, и рост их прекратится, они зарастут более крупными партнерами. В итоге продолжать рост будут только те индивиды, которые быстрее всего растут перпендикулярно подложке и поэтому не мешают друг другу (рис. 24, в). Такая организация роста – явление не редкое.

Левую часть рисунка подкрепляет график справа: по вертикали которого расстояние от подложки, по горизонтали – доля продолжающих рост индивидов (рис. 24, д). В пределах некоторого расстояния число индивидов не меняется, все зародившиеся кристаллы растут. Затем рост вступает в стадию геометрического отбора и число растущих индивидов постепенно сокращается. В стадии параллельно-шестоватого роста число индивидов снова не меняется, так как механизм геометрического отбора перестает действовать. Из графика видно, что между друзой и параллельно-шестоватым агрегатом нет резкого перехода: один агрегат постепенно перерастает в другой. Помимо друз срастания существуют друзы разрастания, образующиеся в твердой среде метасоматическим путем.

Справка: В 20-х годах известный советский физик и кристаллограф Александр Васильевич Шубников (1887-1970) ввел понятие геометрического отбора, а в 1949 г. академик Андрей Николаевич Колмогоров (1903-1987) разработал его математическую теорию.

Друзы формируются не только за счет геометрического отбора в свободных условиях роста, также они могут расти в стесненном пространстве – узкой щели, трещине. В таком случае индивиды дорастают до противоположной стенки и упираются в нее. На этом рост может остановиться, и тогда получится друзовый агрегат. Но если трещина постепенно открывается, то рост агрегата может продолжаться, а его строение будет зависеть от скорости открывания. Если трещина открывается быстро и растущие кристаллы не могут догнать противоположную стенку, возникает геометрический отбор, приводящий к образованию агрегата первого типа.

Третий случай возможен, когда трещина раздвигается самим растущим агрегатом, а точнее кристаллизационным давлением. Последнее обусловлено выделением из раствора твердого вещества, то есть развивается за счет энергии, освобождаемой при кристаллизации. При этом формируются параллельно-шестоватые агрегаты третьего типа – так называемые "жилы с просечкой". В таких жилах встречаются, в частности, хризотилковый и амфиболовый асбесты и волокнистая разновидность гипса – селенит (рис. 25).



Рис. 25. Параллельно-шестоватое срастание тонковолокнистого гипса (селенита) с просечкой в центральной зоне

В параллельно-шестоватом агрегате третьего типа волокна вытянуты параллельно друг другу и перпендикулярно стенкам трещины, вмещающей жилу; в средней части имеется тонкая "просечка", где минерал жилы находится в виде друзового агрегата, обычно содержащего также мелкие посторонние включения.

Справка: Известный минералог Аркадий Григорьевич Жабин (1934-2007) в 1967 г. обосновал, что важную роль в процессе образования таких параллельно-шестоватых агрегатов с просечкой играет автоэпитаксия.

История агрегата начинается с образования будущей просечки – тонкого друзового прожилка, кристаллизующегося в узкой трещине. Дорастая до стенок, индивиды начинают оказывать на них кристаллизационное давление. А оно может быть внушительным: в экспериментах установлены величины до 200 Н/см^2 и даже больше. Это значит, что на каждом квадратном метре площади жилы в обе стороны могут действовать расклинивающие усилия по 200 т. Для сравнения скажем, что пол современного дома с железобетонными перекрытиями допускает в 1000 раз меньшую нагрузку. Возникшего усилия во многих случаях достаточно, чтобы хотя бы немного расширить трещину за счет уплотнения породы. Тем временем в тесном пространстве прожилка идет геометрический отбор. Он сопровождается ростом новых индивидов, которые при своем зарождении эпитаксически ориентировались вдоль господствующего положения кристаллов – перпендикулярно к стенке трещины. Видимо, следует также допустить, что в условиях, когда стенки оказывают сопротивление росту агрегата, геометрический отбор может дополнительно регулироваться тем, что максимальное кристаллизационное давление развивается в направлении наибольшего роста кристаллов. Если сопротивление стенок достаточно велико, рост агрегата тормозится и заканчивается на стадии геометрического отбора. В противоположном случае сопротивление стенок преодолевается, прежде всего, теми индивидами, которые расположены поперек прожилка и, следовательно, в этом направлении могут развить наибольшее усилие. Наклонно же ориентированные индивиды, наоборот, подавляются сопротивлением стенок. Геометрический отбор и самоупорядочение агрегата завершаются раньше, чем в свободно растущей друзе. После этого в обе стороны дружно растут шестоватые индивиды, морфологически и кристаллографически ориентированные параллельно друг другу и перпендикулярно к трещине [6].

Питающий раствор поступает к агрегату по обоим контактам с породой – обычно по одному немного больше, чем по другому. Так, при росте селенита в пластовых жилах сила тяжести улучшает поступление питающего раствора к верхнему контакту и одновременно ослабляет питание нижнего контакта. Вследствие этого параллельно-шестоватый агрегат селенита обычно растет несколько быстрее вверх, а просечка смещена вниз от середины [6].

3) *Радиально-лучистые агрегаты и конкреции* – шаровидные, иногда неправильные, но близкие к округлой форме стяжения с радиальнолучистым или скорлуповатым строением. Разница между *радиально-лучистыми агрегатами* и *конкрециями* заключается в принципе отложения вещества. Радиально-лучистые образования растут, как и параллельно-шестоватые агрегаты первого типа с той лишь разницей, что индивиды нарастают не на плоскую подложку, а на замкнутую выпуклую поверхность песчинки, крупинки породы или кристаллика. В центральной части радиально-лучистого агрегата имеется зона геометрического отбора. Иногда такой агрегат напоминает сферолит. Но сферолиты – это не агрегаты, а сложные индивиды – расщепленные кристаллы. Если радиально-лучистые агрегаты близки к параллельно-шестоватым агрегатам первого типа, то конкреции близки к третьему типу. В конкреции индивиды расположены тоже по радиусам, как и в радиально-лучистом сростке. Пространство для роста освобождается кристаллизационным давлением. Такие агрегаты растут в рыхлых, податливых средах – глинах, песках. Иногда такой затравкой служат органические остатки. Рост конкреции происходит от центра к краям. Как правило, форма выделения в виде конкреции характерна для минералов, образуемых осадочным (поверхностным) путем. Если рост идет в трещине или в пленке раствора, получается плоский агрегат – "солнце" (рис. 26). Характерными минералами, которые формируются в виде конкреций, являются: сидерит, марказит, пирит (рис. 26) и другие [6].



Рис. 26. Пирит, плоская дисковидная радиально-лучистая конкреция 8,5 x 0,6 см. Спарта, Рандолф, Иллинойс, США

4) *Секрещии (жеоды, миндалины)* – формы отложения минералов в полостях горных пород. Здесь рост индивидов направлен от краев к центру. *Жеодами* называют секрещии, размер которых более 2 см в диаметре, все, что меньше, называют *миндалинами*. Такая форма минеральных сростаний, как правило, имеет плотно заросшие края и пустой центр.

5) *Оолиты* – агрегаты, состоящие из мелких шариков, размер которых могут достигать 2 см. Аналогичные округлые стяжения, размером более 2 см в поперечнике зовутся *пизолитами*. В разрезе, такие шарики имеют преимущественно концентрически-зональное строение. Оолиты образуются, как правило, в водной среде, когда раствор вещества группируется вокруг песчинок или пузырьков воздуха. При росте оолитов и пизолитов песчинка или другое постороннее тело обволакивается слоями минерала, и получается округлое образование. К оолитам также следует относить минеральные агрегаты, имеющие оолитовое строение, независимо от условий их образования. Из оолитовых агрегатов состоят бокситы (смесь гидроокислов алюминия, железа и глинистых минералов), некоторые железные руды, отложения кальцита и арагонита из вод минерализованных источников.

6) *Сталактиты и сталагмиты*. Сталактит в переводе с греческого означает «натекший по капле». Представим, что около нескольких сотен лет назад на потолке какой-нибудь пещеры удержалась капля дождя. После испарения воды крошечное кольцо извести закристаллизовалось на потолке. Вторая капля осела на это кольцо, затем, третья, четвертая, пятая и все они оставили известь на том же месте. С течением времени кольца извести сформировали небольшой бугорок – мини сосульку, которая со временем вырастет в *сталактит* (рис. 27). Другая капля воды упала на пол пещеры и снова осталась известь. Также по прошествии многих лет тысячи капель упадут на это место, в результате чего образуется «свеча» или *сталагмит*.



Рис. 27. Сталактитовые пещерные образования

Сталагмиты обычно толще сталактитов, это объясняется тем фактом, что вода при падении разбрызгивается. И сталактиты, и сталагмиты растут с разной скоростью, но в целом достаточно медленно – сотни и тысячи лет. Если пещера не очень высокая, то сталагмиты и сталактиты со временем срастаются.

7) *Почковидные агрегаты и «колломорфные» массы.* Многие авторы не считают нужным разделять «натечные» (сталактиты и сталагмиты) и «колломорфные» массы, относя их к одному и тому же типу агрегатов. Однако здесь все не так просто. Главный принцип разделения заключается в механизмах их формирования.

Справка: В первой половине прошлого столетия возникло представление, что агаты образуются послойным отложением халцедона из раствора, поступающего в полость извне. В 1915 г. немецкий химик Рафаэль Эдуард Лизеганг выступил с совершенно иной точкой зрения: происхождение агатов он связывал с ритмической диффузией. По мнению Лизеганга, полость сначала заполнялась коллоидным сгустком – гелем кремнезема. Гель состоит из микроскопических, не более 10^{-5} см, частичек кремнезема, слабо связанных между собой и погруженных в водную среду. Затем из стенок полости начинали просачиваться и диффундировать в гель другие вещества, вызывавшие образование в нем "колец Лизеганга", вследствие чего гель окрашивался и разделялся на концентрические слои. На заключительном этапе гель кристаллизовался в халцедон, наследовавший от него концентрически-слоистое строение. Но в 1934 г. известный советский минералог П. П. Пилипенко, опираясь на обширный природный материал, выступил с критикой коллоидно-диффузионной гипотезы. Он указал, в частности, что ритмическая диффузия вызывает образование размытых полос, тогда как в агатах слои разграничены резко. Упорядоченное строение агатов говорит об определенной последовательности кристаллизации. Поскольку центры сферолитов расположены на поверхности смежного слоя, необходимо заключить, что этот слой кристаллизовался раньше. Отсюда следует, что кристаллизация шла слой за слоем по направлению от стенок полости к центру. Гель же кристаллизовался бы одновременно во всем объеме. При этом от него отделилась бы вода, вследствие чего объем должен был сократиться, и в полости неизбежно остались бы пустоты. Между тем, вполне обычны агаты и без пустот. С другой стороны, неясно, куда могла бы деваться масса геля при образовании тонкостенной жеоды, в которой тонкий слой халцедона на стенках занимает лишь малую часть всего объема? Таким образом, коллоидно-диффузионная гипотеза внутренне противоречива и расходится с наблюдаемыми фактами. Казалось, после работ П. П. Пилипенко должна была окончательно восторжествовать идея образования агатов по типу секреций – путем последовательного, от периферии к центру, отложения халцедона из обновлявшегося раствора.

В 1970 г. минералог В. И. Степанов на примере подмосковных халцедонов показал несостоятельность гипотезы гелевого происхождения "колломорфных" агрегатов. Высокая вязкость геля

препятствовала бы оседанию кристаллических зародышей на подложку. Вследствие этого кристаллизация не ограничивалась бы одним "фронтom", а неизбежно распространилась бы на всю массу геля, так как в нем имеется сколько угодно затравок в виде коллоидных частиц. Поэтому при раскристаллизации геля не могла бы образоваться упорядоченная сферолитовая корка, а получился бы зернистый агрегат с более или менее равномерно распределенными в пространстве индивидами. Так всегда происходит кристаллизация вязких жидкостей, например "засахаривание" сиропов и меда: получается однородная масса, а не отдельные слои или осадок.

В дискуссии о "колломорфных" агрегатах обсуждался еще один интересный для нас вопрос – о так называемых "натечных формах". Натечными называют агрегаты, возникающие при течении минералообразующей жидкости по подложке, на которой минерал выделяется по мере течения. Примерно так представлялось и осаждение геля кремнезема, результатом которого явилось образование полый жеоды "колломорфного" халцедона. И хотя гипотеза коллоидного происхождения агатовых и халцедоновых жеод оказалась ошибочной, выражение "натечные формы" по привычке все еще употребляется применительно к халцедоновым коркам, образовавшимся в жеодах. Подразумевается, что они возникли при стекании раствора по стенкам жеоды. Еще Р. Лизеганг дал подобным образованиям название "псевдосталактиты". Очевидно, он имел в виду, что "сосульки" внешне похожи на сталактиты пещер. В минералогической литературе псевдосталактиты – излюбленный пример "натечных форм". Однако универсальный принцип Кюри ставит все на свои места и убедительно доказывает ошибочность укоренившегося мнения. Допустим, что раствор действительно стекал с выступов свода полости. Тогда свежий раствор поступал бы к основанию «псевдосталактита», и по мере выделения вещества при стекании вниз концентрация должна была уменьшаться. В результате «псевдосталактит» был бы со стороны основания толще. Возможен другой вариант: выделение минерала шло преимущественно на нижнем конце «псевдосталактита», где задерживались капли раствора. В любом случае «псевдосталактит» имел бы текстуру с симметрией конуса, соответствующей симметрии массопереноса стекающим раствором. Кроме того, рост «псевдосталактита» в длину происходил бы путем отложения слоев преимущественно на нижнем конце поперек его продольной оси. Однако этого не наблюдается. На самом деле диаметр таких «псевдосталактитов» по всей длине не меняется, слои везде имеют примерно одинаковую толщину и

расположены концентрически вокруг оси (рис. 28). Иными словами, текстура «псевдосталактита» имеет симметрию цилиндра. Каждый слой является продолжением соответствующего слоя халцедоновой стенки жеоды – значит, на «псевдосталактитах» и стенках слои нарастали одновременно. Далее невозможно представить, как и почему могли "натечные" «псевдосталактиты» разветвляться и изгибаться, иногда на 180°.

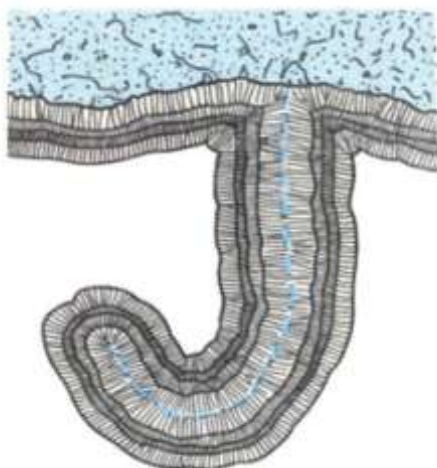


Рис. 28. Кристаллическое строение «псевдосталактита»

По мнению Рамдора сначала полость могла заполниться раствором кремнезема, вероятнее всего, в виде силикатов щелочных металлов. Затем через поры в стенках стали просачиваться растворы солей тяжелых металлов – железа, марганца. Вероятно, это было связано с какими-то изменениями в геохимической обстановке. В устьях пор растворы медленно приходили в соприкосновение с заключенной в полости жидкостью вследствие чего стенки покрывались мембранной пленкой. Осмотическое давление отслаивало мембрану от стенок, прорывало ее, и появлялись мембранные трубки с изгибами и ветвями. А поскольку они были несколько тяжелее раствора, сила тяжести вносила свои поправки: трубки, выросшие со свода, свисали вниз, а те, что появились на дне, ложились и сливались с выстилающей полость мембраной. Сохранились лишь немногие из них. Через какое-то время мембрана отвердела и превратилась в тончайшую подложку. Затем настала очередь халцедона: его сферолиты слой за слоем обрастали стенки и нити [6].

8) Минералы могут выделяться и в виде *корочек, налетов, выцветов*. Такая форма характерна для поверхностных условий образования минералов. *Налеты и примазки* – тонкие пленки различных вторичных минералов, покрывающие поверхность

индивидов или пород. Таковы, например, пленки лимонита на кристаллах горного хрусталя, либо примазки малахита на самородной меди или халькозине.

9) *Выцветы* – периодически появляющиеся в сухую погоду и исчезающие в дожди рыхлые корочки, пленки, часто пушистые или моховидные. Эти образования сложены чаще всего легкорастворимыми водными хлоридами, сульфатами разных металлов или другими воднорастворимыми солями.

10) *Землистые массы* – рыхлые, мягкие, мучнистые агрегаты аморфного или скрытокристаллического строения. Чаще всего образуются при химическом выветривании горных пород или в зоне окисления руд (напр. руд марганца).

11) *Псевдоморфозами* называют минералы, которые, образуясь, имеют не свойственные им формы. Классическим примером является псевдоморфоза лимонита по пириту. Рождение такой формы, происходит так: пирит (FeS_2) попав в зону окисления, разрушается и переходит в гидроокисел железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), лимонит, который и заполняет оставшуюся от выщелачивания форму пирита.

12) *Параморфоза* – та же псевдоморфоза, только минерал, который замещает исходный, имеет идентичный с исходным минералом химический состав.

2.2. Химический состав минералов

Химическая формула минерала выражает его *химический состав* в виде последовательности символов химических элементов, снабженных подстрочными стехиометрическими индексами, указывающими относительные количества атомов различных сортов, входящих в его состав.

Порядок написания формул минералов:

- сначала записываются *катионы* (положительно-заряженные частицы) в порядке возрастания их валентности и количественного содержания. Для обозначения *изоморфных замещений* используют круглые скобки, в которых замещающие друг друга катионы пишут через запятые в порядке указанном выше.

- затем записываются *анионы* (*отрицательно-заряженные частицы*) (простые анионы, анионные группы, комплексные анионы, радикалы).

- самими последними записывают *добавочные анионы* O^{2-} , $(OH)^{1-}$, F^{1-} , которые пишут после радикалов в порядке понижения валентности.

Пример: $Ca_5[PO_4]_3(F, Cl, OH)$ – *апатит*.

Среди минералов нет химически чистых веществ. В их структуру входят различные химические примеси. В одних минералах количество таких примесей незначительно, мы называем их *минералами постоянного состава*. К подобным минералам относится *кварц* SiO_2 (в нем содержание примесей не превышает 0,01%), *галит* $NaCl$ (его чистота обычно не менее 99,9%). Однако, большинство минералов содержат примеси. Так, в разных образцах *сфалерита* (ZnS) количество примеси железа (Fe) колеблется от 0 до 20 ат.%. Такие минералы называют минералами переменного состава, и главная причина их существования — явление изоморфизма. Термин "изоморфизм" введен в литературу в 1819 г. Э. Митчерлихом.

Изоморфизмом называется явление замены в кристаллической решетке минерала одних химических элементов другими с образованием гомогенного (однородного) смешанного кристалла переменного состава. Другими словами, *изоморфизм* предполагает *изменение химического состава минерала при сохранении его кристаллической структуры*. Необходимым условием таких замещений является близость химических свойств и размеров, замещающих друг друга атомов.

Существует несколько видов изоморфизма:

1. Изовалентный – замещающие друг друга атомы имеют одинаковую валентность. В качестве примера таких замещений можно привести замещение Mg^{2+} на Fe^{2+} в оливине $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$, когда существуют все промежуточные составы минерала от фаялита $Mg_2[SiO_4]$, в котором 100% Mg-минала до форстерита $Fe_2[SiO_4]$, в котором 100% Fe-минала. В этом отношении форстерит и фаялит выступают в виде конечных членов бесконечного ряда. Такой изоморфизм следует считать *неограниченным*. При *ограниченном* изоморфизме замещение одного элемента другим осуществляется в пределах допустимого процента, на который один тип атомов может замещаться другим [2].

2. Гетеровалентный изоморфизм более сложный. Одним из важнейших условий его появления является требование сохранения электронейтральности структуры. Это требование может быть выполнено в результате парного замещения, когда, в одном соединении один из катионов (например, Ca^{2+}) замещается на ион с меньшей валентностью (такой как Na^{1+}) и, в то же время, другой ион (например, Al^{3+}) замещается на ион с большей валентностью (такой как Si^{4+}). Суммарный заряд при этом сохраняется, что можно выразить в виде равенства: $Ca^{2+} + Al^{3+} = Na^{+} + Si^{4+}$

Такой тип замещений известен в ряду плагиоклазов (от альбита $Na[AlSi_3O_8]$ до анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$).

Образующиеся в результате изоморфизма химические соединения переменного состава принято называть *твердыми растворами*. В зависимости от механизма образования выделяют твердые растворы *замещения, внедрения и вычитания* [3].

2.3. Вода в минералах

Различается *конституционная, кристаллизационная, цеолитная* и *адсорбционная* вода в минералах.

Вода *конституционная* находится в кристаллической решетке минерала в виде ионов OH^{1-} , реже H^{1+} ; она переходит в молекулярное состояние лишь при разрушении минерала. Удаление воды из кристаллической решетки происходит при нагревании в интервале температур от 300°C до 1300°C и сопровождается разрушением структуры минерала, изменением его химических и физических свойств.

Вода *кристаллизационная* находится в решетке в виде нейтральных молекул H_2O , занимающих определенные места. Прочность связи этой воды в структуре минерала незначительна (пример: гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Чаще всего эта вода удаляется при температуре 300°C - 400°C , редко при 600°C , иногда при комнатной температуре.

Цеолитная вода может выделяться в широком интервале температур без разрушения минерала и вновь поглощаться при изменении условий. Удаляется из минерала в интервале 80°C - 400°C (характерна для цеолитов).

Молекулы воды *адсорбционной* адсорбированы поверхностью кристаллических частиц и легко удаляются при нагревании.

К этому типу воды в минералах относят *межплоскостную* воду, адсорбированную на поверхности отдельных слоев в минерале, *воду твердых коллоидов* (затвердевших гелей, например, опала ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)) и *гигроскопическую* воду, которая удерживается в тонких трещинках, порах и порошковатых массах силами поверхностного натяжения, иными словами механически примешанную к минералу, которая при нагревании t 105 — 110° полностью удаляется (примерами являются глины). Удаление любой воды сопровождается поглощением тепла. Соответствующий эндотермический эффект, получаемый на кривых нагревания, служит диагностическим признаком для распознавания природы исследуемого минерала.

2.4. Физические свойства минералов

Физические свойства минералов можно объединить в три представительные группы свойств: *оптические, механические и прочие.*

К *оптическим* свойствам следует отнести *прозрачность, окраску минералов, цвет черты, блеск.*

Прозрачность — свойство вещества пропускать свет. В зависимости от степени прозрачности все минералы делят на следующие группы: *прозрачные* — горный хрусталь (кварц), топаз и др.; *полупрозрачные* — сфалерит, киноварь и др.; *непрозрачные* — пирит, магнетит, графит и др. Многие минералы, кажущиеся непрозрачными в крупных кристаллах, просвечивают в тонких сколах или краях зерен.

Цвет минералов (окраска) — важнейший диагностический признак, проявляющийся как способность минералов отражать и преломлять свет, создавая определенное ощущение цвета. При описании окраски минералов с целью более детального уточнения оттенка часто используют общеизвестные эталоны, взятые из мира живой и неживой природы. Например, *вишнево-красный, травяно-зеленый, фиштакково-зеленый, грязно-зеленый* и т.д. При описании рудных минералов часто ссылаются на окраску металлов и сплавов. Например, *оловянно-белый, серебристо-белый, стально-серый, свинцово-серый, латунно-желтый, соломенно-желтый, бронзово-желтый* и т.д. [4].

Условно можно выделить 3 главных типа окраски минералов.

1) *Идиохроматическая (собственная) окраска* наиболее устойчивая и обусловленная входением в состав минералов элементов-хромофоров (*Fe, Cr, Mn, Ni, Co, Ti, V* и др.), придающих цвет минералу. Например, присутствие *Cr* обуславливает травяно-зеленую окраску уваровита ($\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$) и придает такой же цвет разновидности берилла – изумруды ($\text{Be}_3(\text{Al}, \text{Cr})_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$), присутствие *Mn* обуславливает розовую окраску у родонита ($\text{Mn}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$).

2) *Аллохроматическая (чуждая) окраска* может быть вызвана присутствием тончайших рассеянных *механических* примесей других окрашенных минералов в минерале хозяине, нарушением однородности строения кристаллической решетки, возникновением в ней различных дефектов. Так, например, тонкие пылевидные, порошковатые механические примеси или включения вишнево-красного *гематита* и ржаво-бурого *гетита* придают кварцу бурый и красноватый оттенок.

3) *Псевдохроматическая окраска* обусловлена оптическими эффектами, такими как *иризация* и *побежалость*.

• *Иризация* – цветной отлив на гранях или плоскостях спайности некоторых минералов по большей части группы плагиоклазов (например, лабрадор), обусловленный их полисинтетическим строением, вызывающим интерференцию лучей света.

• *Побежалость* – цветная пленка на окислившейся поверхности минерала (*халькопирит (радужная побежалость)*, *борнит (чернильная побежалость)*).

Цвет черты — цвет минерала в порошке. Черту минерала можно получить при проведении испытуемым образцом по матовой неглазурованной поверхности фарфоровой пластинки (бисквита) или осколку такой же поверхности фарфоровой химической посуды. Этот признак зачастую более постоянный по сравнению с окраской. Иногда цвет черты совпадает с цветом самого минерала, но так случается не всегда. К примеру, стально-серый гематит дает вишнево-красную черту, соломенно-желтый пирит — черную и т. д. Уметь правильно взять черту и затем распознать ее цвет оказывается целым искусством. Зачастую студенты интерпретируют один и тот же цвет совсем по разному, в этом отношении необходимо чаще проверять черту и запоминать характерный ее оттенок для каждого минерала. Определенная сложность этого признака заключается еще и в том, что световосприятие у всех людей индивидуальное, поэтому только практическая самостоятельная работа может помочь студенту научиться безошибочно диагностировать минерал при помощи этого признака.

Блеск зависит от показателя преломления минерала, другими словами от величины, характеризующей разницу в скорости света при переходе его из воздушной в кристаллическую среду. Известно, что минералы с показателем преломления 1,3—1,9 характеризуются *стеклянным* блеском (кварц, флюорит, кальцит, корунд, гранат и др.), с показателем 1,9—2,6 — *алмазным* блеском (циркон, сфалерит, алмаз, рутил и др.). *Полуметаллический* блеск соответствует минералам с показателем преломления 2,6—3,0 (куприт, киноварь, гематит) и *металлический* — выше 3 (пирит, антимонит, молибденит, галенит, арсенопирит и др.).

Блеск минерала может зависеть от характера поверхности. К примеру, у минералов с параллельно-волокнистым строением отмечается нежный *шелковистый отлив* (асбест, селенит), минералы с весьма совершенной спайностью — «слоистые» и пластинчатые обладают *перламутровым отливом* на плоскостях спайности

(слюды).

К *механическим* свойствам относят *спайность, отдельность, излом, твердость, хрупкость, ковкость, упругость*.

Спайность — свойство минералов раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям, с образованием ровных, гладких блестящих поверхностей. Как уже отмечалось ранее, кристаллы кальцита, например, независимо от их морфологии раскалываются по спайности на ромбоэдры, а кубические кристаллы флюорита — на октаэдры. Степень совершенства спайности классифицируется в соответствии со следующей шкалой:

Спайность весьма совершенная — кристалл легко расщепляется на тонкие листочки (слюда, тальк, хлорит, молибденит и др.)

Спайность совершенная — при механическом воздействии на минерал он раскалывается с образованием правильных четких выколов по кристаллографическим направлениям структуры; получить излом по другим направлениям трудно (галенит, кальцит, флюорит).

Спайность средняя — ровных, блестящих поверхностей мало, излом можно получить по всем направлениям (пироксены).

Спайность несовершенная или отсутствует. В изломе минерал не обнаруживает ровных блестящих поверхностей, напротив он имеет неправильные ограничения, за исключением граней кристаллов.

Зачастую разно-ориентированные направления спайности в одном и том же минерале различаются по степени совершенства. Например, у гипса есть три направления спайности: по одному — спайность весьма совершенная, по другому — средняя и по третьему — несовершенная.

Отдельность в отличие от спайности, проявляется в виде более грубых трещин, которые косвенно связаны с кристаллической структурой минерала, часто они не являются ровными и плоскими; в основном связаны с закономерными включениями по определенным позициям каких-либо других минералов, не редко ориентированы поперек удлинения кристаллов (корунд, пироксены).

Излом и его характер играет значимую роль, особенно для минералов с несовершенной спайностью. Он может быть *раковистым* (кварц), *фарфоровидным* (опал), *мелкорачковистым* (халькопирит, пирит, борнит), *занозистым* (амфиболы).

Твердость определяет степень сопротивления минерала внешнему механическому воздействию. Для определения твердости применяют простое царапание одного минерала другим. Для определения относительной твердости принята шкала Мооса, представленная 10 эталонными образцами, из которых каждый последующий царапает все предыдущие. В качестве маркеров выступают следующие минералы: тальк — 1, гипс — 2, кальцит — 3, флюорит — 4, апатит — 5, ортоклаз — 6, кварц — 7, топаз — 8, корунд — 9, алмаз — 10.

Не всегда под рукой оказываются эталоны, существует еще и бытовая шкала определения твердости. К примеру, медная игла имеет твердость 3—3,5, стальная (5,5—6), нож (5,5—6), стекло (~5); мягкие минералы можно пробовать царапать ногтем (2,5).

Хрупкость, ковкость, упругость. Под *хрупкостью* в минералогической практике подразумевается свойство минерала крошиться при проведении черты ножом или иглой. Противоположное свойство — гладкий блестящий след от иглы (ножа) — свидетельствует о свойстве минерала деформироваться пластически. *Ковкие* минералы расплющиваются под ударом молотка в тонкую пластинку, *упругие* способны восстанавливать форму после снятия нагрузки (слюды, асбест) [4].

Прочие свойства включают *плотность, магнитность, радиоактивность, вкус, запах, гигроскопичность и т.д.*

Удельный вес или *плотность* минерала (ρ) определяет его массу в единице объема и измеряется в г/см³. Удельный вес, как правило, пропорционален химическому составу минералов. При знании химических формул минералов удельный вес минерала, можно вполне предугадать. К примеру, *галенит (PbS), кобальтин (CoAsS), вольфрамит (Fe,Mn)[WO₄]* следует относить к тяжелым минералам, что объясняется тем фактом, что в их состав входят тяжелые элементы (они выделены жирным шрифтом). В пределах изучаемого курса удельный вес минералов мы будем определять путем примерного взвешивания минерала в руке. Это свойство корректно применять, если образец полностью или большей частью сложен одним минералом, в противном случае, верно диагностировать его удельный вес не предоставляется возможным. Все минералы принято делить по удельному весу на три группы:

- легкие* — с уд. весом меньше 3 (*кварц, ПШ, галит, гипс*, и др.);
- средние* — с уд. весом в пределах от 3—5 (*сфалерит, халькопирит, корунд, пирит* и др.);
- тяжелые* — с уд. весом больше 5 (*киноварь, галенит, золото*).

Магнитность. Некоторые Fe-содержащие минералы с некомпенсированным зарядом Fe характеризуются проявлением магнитных свойств, то есть будут реагировать на магнит или магнитную стрелку. Количество минералов, обладающих магнитными свойствами, ограничено в курсе нашей программы это *пирротин* и *магнетит*, поэтому указанный признак имеет важное диагностическое при определении этих минералов.

Радиоактивность. Способностью к самопроизвольному альфа, бета- и гамма излучению характеризуются все минералы, содержащие в своем составе радиоактивные элементы — уран или торий. В породе радиоактивные минералы часто бывают окружены красными или бурыми каемками, и от зерен таких минералов, включенных в кварц, полевой шпат и др., расходятся радиальные трещинки [4].

Другие свойства. Некоторые минералы растворяются в воде (*галит*) или соляной кислоте HCl (*сфалерит*, *карбонаты*). Есть такие, которые при ударе издадут запах (так, *арсенопирит* испускают запах чеснока). Отдельные минералы запоминаются на ощупь (например, *тальк* жирный на ощупь). Галит, к примеру, помимо своей способности растворяться в воде еще и обладает соленым вкусом.

2.5. Процессы минералообразования

*Чтоб снять в Земной коре напряг,
Где твердь её волнуется
В ней магматический очаг
Местами образуется.
Текучесть магмы ей дает
Возможность к продвижению
К земной поверхности,
Чтоб там - случиться извержению
Застывши же на глубине
(отнюдь не по своей вине)
Рождает магма дивные,
Массивы интрузивные,
Которых газами и жаром
Для нас, людей, великим даром
Родятся, крепнут и растут
Скопления различных руд...*

Автор неизвестен

В качестве вступления к этой главе уместно вспомнить слова великого советского ученого и академика Владимира Ивановича Вернадского (1863-1945): *«Минерал следует изучать на всех стадиях его существования, а не только тогда, когда он приобретает устойчивую структуру, становится "камнем". Надо постигать роль минерала в общей жизни Земли и его зависимость от внешней среды. Чем точнее такое знание, тем легче искать минералы, месторождения полезных ископаемых...»*

Минералы на различных этапах своего зарождения, образования и преобразования находятся в тесной ассоциации друг с другом, причем эти «союзы» не случайны, а обусловлены объединяющими их процессами формирования или *генезисом*. Здесь уместно ввести понятие *парагенезиса*. *Парагенезис* – совместное нахождение (сонахождение) генетически связанных между собой минералов.

Справка: В 1798г. известным российским минералогом Василием Михайловичем Севергиным (1765-1826) впервые было введено понятие о "смежности минералов", или их совместном нахождении. Этому же ученому принадлежит и введение в минералогию понятия «горная порода» как природной совокупности минералов более или менее постоянного состава. Сам термин "парагенезис" в том названии, в каком он закрепился и по сей день был сформулирован позднее в 1849г. немецким минералогом Ф.А. Брейтгауптом (1791-1873).

Итак, природная ассоциация минералов называется *горной породой* и представляет собой самостоятельное тело в Земной коре. Горные породы в отличие от минералов, чаще всего неоднородны, то

есть состоят из нескольких минералов. Однако, этот ансамбль минералов, как уже подчеркивалось ранее, не случаен, а отвечает определенным физико-химическим условиям их совместного образования.

Минералы в природе образуются различными способами, и процессы их образования (*генезис*), преобразования и распада происходят в соответствии с физико-химическими условиями в земной коре и на ее поверхности. *Генезис минералов* определяется геологическими процессами, формирующими земную кору. По источнику энергии природные процессы минералообразования делятся на эндогенные и экзогенные.

К эндогенным (внутренним) геологическим процессам относятся процессы, происходящие внутри Земли за счет энергии, выделяемой в процессе преобразования вещества в глубинных зонах Земли. Эндогенные процессы сводятся к движению и перераспределению вещества, слагающего Землю, к переходу его из одного состояния в другое при магматизме, тектонических движениях и метаморфизме. Они проявляются внедрением в земную кору глубинного силикатного расплава сложного состава, образованием больших разломов земной коры, протяженностью в тысячи километров и достигающих глубин в несколько сотен километров, формированием грандиозных складчатых систем (Альпы, Кавказ, Гималаи и др.), колебательными движениями земной коры, извержениями вулканов, землетрясениями, физико-химическими преобразованиями [9]. Эндогенные процессы проявляются в изменении строения земной коры, образовании в ее составе и на ее поверхности различных изверженных пород и сопровождаются созданием новых форм рельефа земной поверхности с вовлечением в геологические процессы новых химических элементов глубинного происхождения в соединениях (минералах), которые оказываются неустойчивыми в поверхностных условиях. При смене температур, высоком давлении, активизации биохимических процессов, минералы, возникшие в эндогенных процессах, будут изменять свой состав и свойства.

К экзогенным процессам относятся процессы, развивающиеся в результате взаимодействия горных пород и минералов земной коры с атмосферой, гидросферой и биосферой. Существенное значение в развитии экзогенных процессов имеет техногенная деятельность человека. Большую роль в экзогенных процессах играет сила тяжести (гравитация), электромагнитное поле Земли, потоки солнечной энергии и вещества из космоса, деятельность организмов и человека. При этом происходит поверхностное разрушение и

преобразование минералов, созданных эндогенными процессами в верхних горизонтах земной коры и на ее поверхности как без участия высоких температур и больших давлений, так и с участием – при падении метеоритов, астероидов. Ранее созданные минералы подвергаются химической, механической, биохимической и антропогенной переработке, что приводит к образованию новых минералов, в соответствии с возникающими физико-химическими условиями в отдельных толщах земной коры на ее поверхности.

Таким образом, эндогенные процессы обуславливают начало «жизни» химических элементов и образуемых ими минералов в земной коре. Второй этап жизни минералов связан с экзогенными процессами. *Метаморфические процессы* минералообразования происходят тогда, когда ранее образовавшиеся магматические и осадочные породы подвергаются воздействию относительно высоких температур и давлений, преобразовывающих породы и слагающие их минералы.

Эндогенные процессы. К эндогенным процессам минералообразования, протекающим в недрах Земли, среди всех прочих относятся *магматический, пегматитовый, скарновый, гидротермальный.*

Магматический процесс

Магматические горные породы можно разделить на две большие группы: 1) *интрузивные* (от лат. *intrusio* – внедрение, вторжение) (закристаллизовавшиеся в недрах Земли); 2) *эффузивные* (от лат. *effusio* – излияние) (излившиеся на поверхность Земли).

Визуально эти породы отличаются по текстурно-структурным признакам. Интрузивные породы, зачастую хорошо раскристаллизованы, а эффузивные стекловатые, так как не успевают раскристаллизоваться за счет резкого понижения температуры и дегазации магмы при излиянии на Земную поверхность. Как правило, макроскопическое изучение минералов доступно лишь в интрузивных магматических породах, которые отличаются массивными и плотными структурами.

Разнообразие магматических пород определяется процессами *дифференциации* магмы. Процессы дифференциации представляют собой совокупность разнообразных физико-химических явлений, приводящих к разделению магматического расплава на различные составляющие. Выделяют *магматическую* и *кристаллизационную* дифференциации.

К *магматической дифференциации* в свою очередь относят *ликвацию* – разделение силикатного расплава на две

несмешивающихся жидкости: тяжелую (обогащенную оксидами и сульфидами железа) и легкую (обогащенную летучими и солями). При охлаждении обоих расплавов они дают различные по составу породы. Под термином «ликвация» некоторые исследователи понимают эволюцию состава магмы за счет ее взаимодействия с флюидами [12].

Природный флюид – это прежде всего надкритическая гидротермальная фаза, сложенная смесью различных газов, главным образом H_2O и CO_2 с примесями CO , N_2 , H_2 , CH_4 и других углеводородов. Эта фаза способна переносить и отлагать химические элементы, растворяться в магматических расплавах, на порядки увеличивать скорости протекания многих геологических процессов.

На данный момент изучены лишь три главных механизма транспортировки флюидов в глубинах Земли и одним из них является растворение в магматических расплавах. Выделяют свободную фильтрацию флюидов по трещинам, каналам и порам в горных породах и высокотемпературное растворение с последующей кристаллизацией минералов на фронте движения ненасыщенного компонентами породы флюида.

1. *Перенос магмами* – наиболее эффективный механизм транспорта флюидов. Он определяется длительностью магматической деятельности и флюидонасыщенностью магмы. Так или иначе, растворимость флюидов в расплавах снижает на десятки доли их плотность, а вязкость – на порядки, способствуя их перемещению к поверхности Земли. По мере падения давления флюиды освобождаются из расплавов и производят гидротермальное преобразование окружающих твердых пород, как в мантии Земли, так и ее коре.

2. *Свободная фильтрация* флюида через горную породу определяется не только его свойствами, но и пористостью самой породы, температурой и давлением. В гравитационном поле Земли флюид, обладающий очень низкой плотностью и вязкостью, всегда стремится в сторону меньшего давления. Взаимодействуя с породой, он способствует протеканию реакций между фазами. Нередко его компоненты сами входят в состав вновь образованных минералов, или же сам флюид захватывается в виде включений в ходе их роста. Поры и трещины в горных породах обеспечивают не просто миграцию флюида. Поскольку на фронте движения флюид не находится в равновесии с породой, создаются благоприятные условия для их диффузионного или же инфильтрационного взаимодействия. Оно выражается в полном минеральном и химическом преобразовании пород – *метасоматозе*.

3. *Перекристаллизация.* При медленном просачивании флюида через породу в поле небольшого градиента температуры и/или давления в каком-то конечном объеме породы флюид способен растворять породу на фронте движения и осаждать за фронтом те же минералы. В каждом локальном объеме градиент столь мал, что флюид успевает насыщаться компонентами породы и находится с ней в равновесном состоянии. Энергия системы флюид-порода, в том числе и энергия поверхности кристаллов, достигает минимума. В результате происходит перекристаллизация с укрупнением кристаллов, размеры которых иногда достигают десятков сантиметров. Так возникают гигантозернистые породы [13].

И это только малая часть влияния флюида на состав магмы. Поэтому, говоря о мантии Земли, нельзя представлять ее как некое гомогенное вещество. Ее состав столь же неоднороден, сколь неоднороден химизм земной коры. Скорее всего, в мантии также существуют некие зоны проницаемости восстановленных флюидов, равно как и зоны их высокой степени окисления.

Флюиды в значительной мере влияют на протекание процессов, происходящих в магме, обуславливая температуру начала кристаллизации, скорость реакций и другие параметры. Одним из процессов с участием флюидов может являться и разделение первоначально однородного расплава на несмешивающиеся части с резкими границами между образовавшимися фазами, возникающее из-за неодинакового химического сродства летучих компонентов к главным порообразующим элементам. В результате такого взаимодействия флюидов с компонентами магмы, происходит её разделение на несмешивающиеся части с различным химическим составом, например, основным и ультраосновным (в самом общем виде протекание этого процесса можно представить, как процесс разделения воды и масла из их смеси). Соответственно, из разделившихся магм будут кристаллизоваться различные по составу породы.

Кристаллизационная дифференциация происходит благодаря процессам кристаллизации минералов и обусловлена перераспределением различных компонентов в магме. Так, минералы, образовавшиеся в первую фазу кристаллизации, плавают в расплаве. Если их плотность больше плотности расплава, они тонут, опускаются на дно магматического резервуара. Подобная дифференциация происходит в том случае, если вязкость магмы не особо велика. Обычно первыми выпадают тяжелые железомagneзиальные минералы, например, *оливин*. Кристаллы оливина постепенно погружаются к основанию магматической

камеры. Однако, не стоит думать, что всегда образовавшиеся в первую фазу кристаллизации минералы скапливаются в нижней части магматической камеры, они могут долгое время находится во взвешенном состоянии и реагировать с расплавом. Так, например, оливин, реагируя с расплавом во взвешенном состоянии, переходит в пироксен. В том случае, если образовавшиеся кристаллы легче расплава они всплывают и накапливаются в верхних частях магматической камеры. Все это приводит к перераспределению различных компонентов магмы, изменяя ее состав.

Справка: Порядок кристаллизации главных породообразующих минералов из магмы был установлен американским петрографом Норманом Леви Боуэном (1887-1956) в виде двух реакционных рядов.

Схема Н. Боуэна (рис. 29) показывает главное направление в формировании пород по мере раскристаллизации магматического расплава. Как видно из рисунка 29 порядок образования из магмы главных породообразующих минералов описывается двумя рядами: *фемическим* (от слов «ферум» – железо и магний) и *салическим* (от слов «силициум» – кремний и алюминий), обогащенных соответственно этими компонентами. При понижении температуры магмы, в каждом из рядов, вышестоящий минерал, реагируя с расплавом, дает нижестоящий минерал (рис. 29), при этом «смежные» минералы фемического и салического рядов кристаллизуются одновременно или почти одновременно, изымая из расплава различные элементы [12].

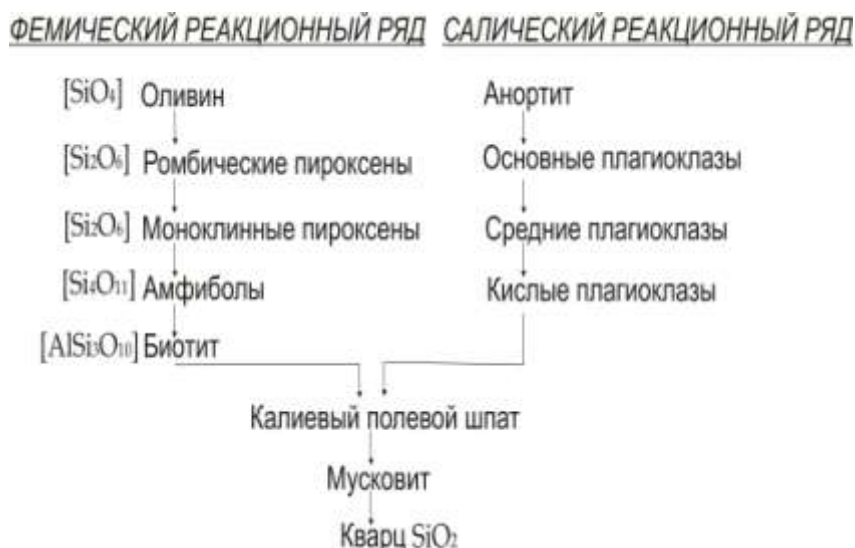


Рис. 29. Схематическая последовательность кристаллизации минералов из магмы в виде двух реакционных рядов Н. Боуэна

Наиболее тугоплавкие минералы, кристаллизующиеся первыми, имеют достаточно бедный набор элементов и состоят из кремнезема, магния и железа. По мере замещения этих минералов более низкотемпературными минералами в их составе отмечается большее разнообразие: добавляется алюминий, кальций и натрий, а затем – калий и летучие компоненты (ОН, F). Как видно из приведенного выше примера, со снижением температуры происходит следующая смена подклассов силикатов: островные $[\text{SiO}_4]$ → цепочечные $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ → ленточные $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$ → слоистые $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$. Этот процесс обусловлен сочетанием двух факторов, способствующих полимеризации кремнекислородных тетраэдров – снижением температуры и повышением содержания кремнезема в остаточном расплаве. Минералы сапфирного ряда представлены полевыми шпатами, относящимися к подклассу каркасных силикатов. Структурные особенности каркасных силикатов объясняются присутствием в их составе крупных катионов кальция, натрия или калия, по размерам значительно превосходящим величину ребер кремнекислородных тетраэдров и раздвигающих их, образуя трехмерный каркас. В направлении эволюции минералов реакционного ряда Боуэна увеличивается степень замещения кремния алюминием: если в островных силикатах замещение кремнекислородных тетраэдров $[\text{SiO}_4]$ на алюмокислородные $[\text{AlO}_4]$ невозможно, а в цепочечных встречается не часто и не имеет существенного значения, то в ленточных радикалах Al^{3+} может замещать до одной четверти Si^{4+} , а в слоистых уже до половины и более. Замена четырехвалентного иона кремния на трехвалентный ион алюминия приводит к изменению баланса валентностей: отрицательный заряд радикала возрастает на единицу на каждый атом алюминия. Приобретенный таким путем отрицательный заряд в силикатах компенсируется присоединением катионов сильных оснований – K^+ , Na^+ и Ca^{2+} что, наряду с другими причинами, объясняет их значительную роль в составе минералов последних этапов кристаллизации (слюд, кислых плагиоклазов и калиевых полевых шпатов). Основная часть кремнезема, содержащегося в магматическом расплаве, расходуется на образование силикатных минералов, а его избыток на завершающем этапе магматического процесса образует устойчивое соединение SiO_2 – кварц. Рассмотренный реакционный ряд Боуэна представляет обобщенную модель развития процессов образования минералов, слагающих магматические горные породы. В природе встречаются породы на 90% и более сложенные оливином или состоящие из ассоциаций основные плагиоклазы + пироксены, средние плагиоклазы + роговая обманка + биотит, то есть далеко не

во всех случаях конечным продуктом кристаллизации магмы будут являться нижние члены реакционного ряда. Это связано с несколькими причинами и, прежде всего, с исходным составом магмы.

Магматические расплавы поступают из верхних зон мантии или образуются в результате расплавления пород литосферы при погружении их на глубину с оптимальным соотношением температуры и давления. Как известно, химический состав верхней мантии и литосферы различны, что обуславливает и различие состава магм. Магмы, возникающие за счет плавления мантийных пород, как и сами эти породы, обогащены основными оксидами – FeO, MgO, CaO, поэтому такие магмы называют, в зависимости от состава, ультраосновными и основными. При их кристаллизации образуются соответственно ультраосновные и основные магматические породы. Если плавлению подвергаются наиболее верхние участки мантии, то для полного плавления пород температура оказывается недостаточной, и происходит частичное плавление мантийных пород с образованием магм среднего состава, содержащих повышенное количество кремнезема. Магмы, возникающие при расплавлении пород земной коры, обедненной основными оксидами, но резко обогащенной кремнеземом, то есть типичным кислотным оксидом, называют кислыми; при их кристаллизации образуются кислые породы. Таким образом, выделяют следующие семейства первичных магм по процентному содержанию в них кремнекислоты (SiO_2): ультраосновные (<45% SiO_2), основные (45-52,5% SiO_2), средние (52,5-65% SiO_2) и кислые (>65% SiO_2). Таким образом, кристаллизация магмы сопровождается накоплением в расплаве кремнезема, щелочей и воды [12].

Однако, несмотря на существование всего четырех семейств первичных магм, образующиеся из них породы весьма разнообразны и насчитывают сотни разновидностей. Многообразие магматических пород объясняется не только кристаллизационной дифференциацией и ликвацией, но и процессами *ассимиляции*. *Ассимиляция* представляет собой захват и переплавление пород, в которые внедряется магма, и которые приводят к изменению ее состава. Особенно сильные изменения наблюдаются в приконтактных частях крупных магматических тел, где процессы ассимиляции идут наиболее интенсивно. Синонимом понятия *ассимиляции* может в определенном смысле являться *контаминация* (загрязнение).

Справка: Первоначально термин «контаминация» был введен в 1923г. английским учёным Г. Ридом, который описал ее как процесс загрязнения магмы, посредством смешения последней с осадочными и метаморфическими

породами. Наиболее ярко контаминация проявляется при взаимодействии магмы с породами контрастного по отношению к ней состава (например, при контакте гранитной магмы с известняками или ультраосновными породами). Контаминация происходит на различных глубинах земной коры.

Таким образом, контаминацию можно рассматривать как частный случай ассимиляции, при этом переработка постороннего вещества осуществляется не до конца. В отличие от процесса ассимиляции, включения постороннего материала при контаминации сохраняют реликты структуры первичных пород; иногда сохраняются также границы включений, позволяющие судить о их первичной форме.

Минеральный состав магматических пород весьма разнообразен. Наиболее распространенными минералами являются полевые шпаты, кварц, амфиболы, пироксены, слюды в меньшей степени – оливин, нефелин, магнетит, апатит и другие минералы.

При изучении более 700 образцов магматических пород было установлено, что процентное содержание породообразующих минералов имеют следующие соотношения: полевые шпаты – 60%, амфиболы и пироксены – 17%, кварц – 12%, прочие силикаты – 6%, слюды – 4%, остальные минералы – 1%.

Пегматитовый процесс

С обогащенной щелочами и насыщенной газами магмой связан пегматитовый тип минералообразования. Пегматиты представляют собой крупно- и гигантозернистые жильные тела, близкие по составу тем магматическим интрузиям, с которыми они пространственно связаны, характеризуясь обилием редкометалльных и редкоземельных минералов. Тесная пространственная связь пегматитов с интрузивными породами доказывает их генетическое родство. Удаленность пегматитов от родоначальных интрузий, как правило, не превышает двух километров. Большая часть пегматитов связана с интрузивами кислого состава (гранитные пегматиты), в меньшей степени встречаются щелочные пегматиты и габбро-пегматиты. Состав пегматитов отражает состав материнской интрузии, представляя собой остаточный расплав-раствор, богатый соединениями летучих компонентов – минерализаторов (соединениями фтора, хлора, бора). Этот остаточный расплав вследствие разности давлений выжимается вверх в вышележащие породы и заполняет в них пустоты. Гранитные пегматиты состоят из крупных кристаллов кварца, полевого шпата и слюды. При совместной кристаллизации кварца и полевого шпата возникают образования, которые носят названия «письменного гранита» или

«еврейского камня». Более детальное описание процесса одновременной кристаллизации кварца и полевого шпата описано в главе (*формы и рост кристаллов*). Температурный режим образования пегматитов, согласно представлениям А.Е. Ферсмана, лежит в пределах от 700-350°. В результате взаимодействия остаточного пегматитового расплава с вмещающими породами возможны случаи, когда одни компоненты выносятся из расплава, а другие поглощаются им. Так возникают пегматиты «линии сдвига» в отличие от пегматитов «чистой линии», когда ассимиляция вещества из вмещающих пород не происходит.

Среди гранитных пегматитов по глубине и температуре образования выделяют: 1) *керамические* (состоящие, главным образом, из микроклина и кварца); 2) *слюдоносные* (мусковитовые); 3) *редкометалльные* (концентрирующие литий, бериллий, цезий, ниобий, тантал); 4) *хрусталеносные* (топаз, берилл, горный хрусталь) (табл. 2).

Таблица 2

Минеральные ассоциации гранитных пегматитов

<i>Типы гранитных пегматитов</i>	<i>Главные минералы</i>	<i>Второстепенные минералы</i>
<i>Керамические и мусковитовые</i>	микроклин, кислые плагиоклазы, кварц, мусковит, биотит	гранаты алюминиевого ряда (альмандин-спессартин), берилл, циркон, апатит
<i>Редкометалльные</i>	альбит пластинчатый (клевеландит), сподумен, микроклин (иногда амазонит), лепидолит	мусковит, полихромный турмалин, берилл
<i>Хрусталеносные</i>	горный хрусталь, кварц	мусковит, биотит, дымчатый кварц, морион, альбит, берилл
<i>«Линии скрещения»</i>	Полевые шпаты, биотит	роговая обманка, берилл (изумруд), тальк, флогопит, актинолит, хлорит флюорит, мусковит

Контактово-метасоматический процесс

Наиболее ярко явления контактового метасоматоза проявляются при внедрении гранитной интрузии в толщу карбонатных пород. В результате этого взаимодействия образуется комплекс новых минералов, характерных исключительно для зоны контакта этих пород. Обязательным условием образования скарнов являются жидкие и газообразные растворы, которые собственно и вызывают метасоматическое замещение (привнос и вынос вещества).

Скарны – это *метасоматические* породы, сложенные известково-железистыми и магнезиальными силикатами, образовавшиеся в результате реакционного взаимодействия карбонатных и алюмосиликатных пород при участии постмагматических растворов.

Справка: Впервые термин метасоматоз введен в 1828г. немецким минералогом и геологом Карлом Фридрихом Науманном (1797—1873) в качестве разновидности псевдоморфизма (замещение одного минерала другим с сохранением формы первого).

Метасоматоз (*μετα* - по, после; *сома* - тело), т.е. буквально "по телу" или псевдоморфное замещение. При метасоматозе порода остается в твердом состоянии и не изменяет своего первоначального объема. Способ перемещения вещества при метасоматозе различный: *диффузионный* (*перенос осуществляется в водных растворах*) и *инфильтрационный* (*фильтрация и просачивание сквозь горные породы*).

Различают *магнезиальные* скарны, развитые по доломитам и *известковые* – по известнякам. Их минеральные ассоциации отличаются (табл. 3).

Таблица 3

Минеральные ассоциации скарнов

<i>Типы скарнов</i>	<i>Главные минералы</i>	<i>Второстепенные минералы</i>
<i>Известковые</i>	кальцит, <u>гранаты</u> <u>кальциевого ряда</u> (<u>андрадит-гроссуляр</u>), <u>диопсид-геденбергит</u> , эпидот	магнетит, тремолит, молибденит, кобальтин, флюорит, галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, золото, плагиоклазы
<i>Магнезиальные</i>	<u>диопсид</u> , <u>форстерит</u> , <u>флогопит</u> , кальцит	шпинель, магнетит, сфен, актинолит, плагиоклазы, апатит

Помимо *контактового* метасоматоза, примером которого являются скарны, существует еще несколько типов метасоматоза: *автометасоматоз*, *околосильный*, *региональный*.

Автометасоматоз проявляется в верхних частях магматических тел. Примером может являться *альбитизация* гранитных массивов. *Околосильный* метасоматоз формирует симметричную метасоматическую зональность с каждой стороны жилы, по которой фильтруются растворы. *Региональный* метасоматоз отличается масштабностью процесса, охватывая огромные площади при разных геологических обстановках. Часто проявление такого метасоматоза связано с внедрением крупных магматических интрузий, а его природа имеет щелочную специфику.

Гидротермальный процесс

Цикл эндогенных процессов минералообразования завершает гидротермальный процесс. *Гидротермы* – горячие водные растворы, отделяющиеся от магм и образующиеся в результате сжижения газов. Гидротермальные растворы выносят из магматического очага целый ряд соединений металлов. Кроме того, гидротермы могут заимствовать различные вещества из боковых пород, по которым они движутся. Так как гидротермы движутся по пути наименьшего сопротивления, то есть по трещинам, зонам контактов, тектоническим нарушениям, форма их продуктов кристаллизации преимущественно жильная. Главным жильным минералом является кварц. Гидротермальные месторождения разделяются по температурному режиму на высокотемпературные (450-300°C), среднетемпературные (300-200°C) и низкотемпературные (ниже 200°C). Гидротермальный генезис имеют большинство руд цветных (Cu, Pb, Zn) и редких металлов, золото.

Наиболее благоприятные условия для проявления гидротермальных процессов создаются на малых и средних глубинах (до 3-5 км от поверхности). Главная масса гидротермальных образований, аналогично пегматитам связана с интрузивами *кислых* пород. Область циркуляции раствора, начинаясь почти от верхних частей магматических очагов, достигает иногда дневной поверхности. Формирование гидротермальных растворов продолжается, по всей видимости, весьма длительное время – в течение всего периода жизни магматического очага.

Гидротермальные месторождения являются одним из основных источников руд редких (W, Mo, Sn, Bi, Sb, Hg), цветных (Cu, Pb, Zn), благородных (Au, Ag) и радиоактивных (U, Ra, Th) металлов (табл. 4).

Минеральные ассоциации гидротермальных месторождений

<i>Тип гидротермальных жил</i>	<i>Жильные минералы</i>	<i>Рудные минералы</i>
Высокотемпературные	кварц, берилл, топаз, флюорит	вольфрамит, арсенопирит, пирит, молибденит, пирротин
Среднетемпературные	кварц, сидерит, барит, флюорит, тонкочешуйчатый мусковит (серицит)	золото, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит
Низкотемпературные	кальцит, кварц, барит, халцедон, флюорит	киноварь, антимонит, реальгар, аурипигмент

Экзогенные процессы

Среди экзогенных процессов минералообразования, протекающих у поверхности или на поверхности Земли, основными являются *выветривание, осадочный и биогенный* процессы.

Выветривание (гипергенез) — сумма процессов механогенного разрушения и химического разложения пород и минералов под воздействием факторов и условий внешней среды. При *физических процессах выветривания* горные породы превращаются в обломки различного размера, новые минералы не образуются. Однако при этих процессах происходит концентрация и накопление *россыпей золота, алмаза, циркона*, минералов вольфрама, *гранатов, магнетита*, то есть минералов наиболее устойчивых к процессам разрушения и обладающих повышенным удельным весом. *Химическое выветривание* ведет к разложению минералов и пород под воздействием углекислого газа, воды, кислорода, гумусовой кислоты. При химическом выветривании могут происходить следующие реакции: *гидратация, окисление, гидролиз, растворение, карбонатизация, восстановление*.

Гидратация выражается в образовании новых минералов за счет адсорбции молекул воды. Например, переход *ангидрита* в *гипс* под воздействием подземных вод.

Окисление, как правило, приводит к переходу закисных соединений в окисные. Например, переход *магнетита* в *гематит* с образованием псевдоморфозы (мартит).

Гидролиз вызывает разложение вещества под влиянием гидролитической диссоциации воды, сопровождающееся образованием новых минералов на месте первоначальных. Например, гидролиз *полевых шпатов* с образованием *каолинита*.

В районах с засушливым климатом происходит осаждение различных солей с образованием месторождений *гипса*, *каменной соли*. Эти химические процессы вызывают образование и других месторождений, иногда грандиозных масштабов: железорудных, марганцовых, фосфоритовых, урановых. Важную роль в экзогенном образовании минералов играют *биогенные процессы*. При разложении органических веществ непосредственно в телах растений и животных образуются минералы, которые входят в состав клеточных выделений, скелета, панциря, раковин и др. Так могут образоваться *кальцит*, *опал* и другие минералы. Вторая группа биогенных минералов возникает вне тел организмов из продуктов их жизнедеятельности.

Осадконакопление, как правило, широко проявляется в реках, озерах, морях, океанах и заключается в накоплении материала разрушенных горных пород. Осадки могут иметь различный характер отложения: механический (осаждение частиц), за счет процессов коагуляции коллоидных растворов, за счет кристаллизации из насыщенных истинных растворов, при участии биоты, в том числе различных бактерий. Выделяют осадки *механические*, *коллоидные*, *химические* и *биохимические*.

Диагенез проявляется сразу же после отложения осадков в виде их преобразования: обезвоживания гидроокислов, раскристаллизации коллоидных осадков, замещении органических остатков карбонатами. Затем происходит дальнейшее окремнение и образование осадочных горных пород.

Метаморфический процесс

Минералы, сформированные в процессе эндогенных и экзогенных процессов минералообразования, могут подвергаться дальнейшим существенным изменениям, если они попадают в область высоких температур и давлений. Главными факторами метаморфизма являются температура и давление. Метаморфические процессы выражаются, в основном, в обезвоживании и

перекристаллизации пород. Разделяют два типа метаморфизма: региональный и контактовый.

Региональный метаморфизм происходит на больших глубинах и захватывает огромные площади. Верхним пределом метаморфизма является температура, при которой еще не происходит плавление, то есть 800-850°C на значительных глубинах и 1000-1100°C ближе к поверхности. Давление может достигать нескольких десятков тысяч атмосфер. Особо велика роль одностороннего бокового давления – стресса. Именно он вызывает появление характерной сланцеватости (полосчатости) многих метаморфических образований. Процесс регионального метаморфизма можно разделить на ступени, отвечающие определенным парагенетическим ассоциациям минералов, устойчивым в определенных пределах температур и давлений. Такие ступени носят название фаций регионального метаморфизма. Метаморфическая фация отвечает группе пород, минеральные парагенезисы которых отображают сходные P-T условия метаморфизма (табл. 5).

Минеральный состав метаморфических пород разнообразен, но зависит в первую очередь от состава исходных пород. Они могут состоять из немногих минералов (кварцит, мрамор) или из нескольких сложных силикатов. В качестве главных породообразующих минералов выступают кварц, полевые шпаты, слюды, пироксены, амфиболы.

Таблица 5

Минеральные ассоциации фаций регионального метаморфизма

<i>Фации метаморфизма</i>	<i>Преобладающие минералы</i>
<i>Фация зеленых сланцев</i>	хлорит, актинолит, кварц, альбит, мусковит, серицит, кальцит, тремолит, тальк, серпентин, магнетит, гематит
<i>Эпидот-амфиболитовая</i>	роговая обманка, эпидот, биотит, мусковит, кварц, кислые плагиоклазы, гранат, магнетит
<i>Амфиболитовая</i>	роговая обманка, средние плагиоклазы, дистен, магнетит, биотит, кварц
<i>Гранулитовая</i>	ромбические и моноклинные пироксены (диопсид, гиперстен), гранат (альмандин), основные плагиоклазы, ортоклаз, кварц, форстерит

Если в ранний магматический период все химические элементы (как петрогенные, так и металлогенные) более или менее равномерно были распространены в общей массе, то в период дифференциации и кристаллизации магмы, особенно в глубинных условиях, мы имеем уже другую картину. Металлогенные элементы (Pt, Cu, Fe, Au, Ag, Zn, Pb, Bi и другую картину) обнаруживают сильно выраженную тенденцию к концентрации и при участии летучих компонентов магмы к пространственному обособлению от петрогенных элементов с образованием рудных месторождений (магматических, контактово-метасоматических, гидротермальных). Петрогенные элементы, наоборот, при образовании изверженных горных пород остаются в состоянии более или менее равномерного распределения, лишь несколько обогащаясь при процессе дифференциации магмы. И только элементы с малыми и очень крупными размерами ионных радиусов (по сравнению с обычными петрогенными элементами) способны в существенных количествах скапливаться в пегматитовых образованиях [1].

При экзогенных процессах наблюдаются противоположные явления. Эти процессы, совершаясь за счет энергии солнца в условиях сильно окислительной обстановки, действуют отрицательным образом, на все то, что было создано при эндогенных процессах минералообразования, и в конечной стадии приводят к образованию огромных толщ осадочных горных пород. При этом металлогенные элементы в главной массе претерпевают рассеяние в осадочных породах. Зато петрогенные элементы (Na, K, Mg, Ca, Al, а также C, Cl, B, S, P и др.) при экзогенных проявляются заметно выраженную склонность к накоплениям с образованием многих неметаллических полезных ископаемых (известняки, гипсы, отложения соленосных озер, бокситы, фосфориты, каменные угли, нефти и др.)

При процессах регионального метаморфизма, в сущности, не происходит сколько-нибудь значительных концентраций химических элементов. В основном имеет место лишь преобразование минеральных продуктов, возникших при эндогенных процессах [1].

В целом, каждый минерал является памятником физического и химического процесса, произошедшего на Земле, нередко в отдаленное от нас время. Знания генезиса минералов, их устойчивость в определенных физико-химических условиях помогают прогнозировать месторождения важнейших полезных ископаемых.

2.6. Практические рекомендации при диагностике минералов

Для правильного определения минералов необходимо придерживаться *принципа исключения*, не стоит сразу называть минерал на «глаз». Первоначально по внешним признакам необходимо выделить группу минералов с похожими свойствами (цветом, блеском, агрегатами и т.д.). Затем следует проверить главные физические свойства исследуемого минерала: твердость, черту, характер спайности. Помимо этого особое внимание стоит уделить парагенезису (совместному нахождению) минералов. В конечном итоге из группы со схожими свойствами методом исключения должен остаться один минерал.

Определение физических свойств минералов осуществляется следующим образом:

1) Твердость определяют с помощью шкалы Мооса, представленной 6 эталонами, начиная с кальцита и заканчивая кварцем. Определить мягкий минерал или твердый можно с помощью стекла (5). Необходимо провести с усилием по стеклу выступающей частью диагностируемого минерала, при этом, если на стекле останется царапина, значит твердость минерала выше 5, если на стекле следов не останется, следовательно, твердость определяемого минерала меньше 5. Для уточнения твердости исследуемого минерала необходимо воспользоваться имеющимися эталонами по тому же принципу.

2) Плотность или удельный вес легко диагностировать по ощущению тяжести в руке путем приблизительного взвешивания.

3) Спайность определяем визуально или с помощью лупы по характеру правильных, четких, повторяющихся плоскостей на поверхности минералов, не путая при этом с гранями кристаллов.

4) Необходимо обращать внимание на облик кристаллов и морфологию агрегатов, помнив о том, что минералы, кристаллизующиеся в кубической сингонии, наиболее часто образуют изометричные (близкие к шарообразным) формы; кристаллы средней категории – удлиненные и призматические, низшей категории – уплощенные.

2.7. Классификация минералов

В основе современной минералогической классификации лежит химический состав минералов и структурный признак. Установлено, что минералы, обладающие одинаковыми анионами (отрицательно заряженными частицами) или анионными группами (радикалами) обнаруживают близкие свойства. При этом генезис минералов с однотипными радикальными группами во многих случаях также однотипен. Роль различных минералов в составе земной коры неодинакова. Наиболее часто встречаются минералы, в состав которых входят самые распространенные химические элементы — кислород, кремний и алюминий. Поэтому весовое содержание в земной коре кислородосодержащих минералов достигает 98%, из них около 75% приходится на силикаты и алюмосиликаты.

Минералы принято объединять в *классы*, которые в свою очередь делятся на *подклассы* по структурному и химическому признаку, далее подклассы подразделяются на *семейства* и *группы*, которые разделяются на ряды и, наконец, *минеральные виды*, которые непосредственно и изучаются в данном курсе минералогии.

Минеральный вид объединяет совокупность природных химических соединений с определенной, однотипной кристаллической структурой и атомарным составом, варьирующим в пределах определенных границ по причине изоморфного замещения главных элементов их кристаллохимическими аналогами.

Минеральный вид, в каком-то смысле, это образное понятие, отражающее продукт интеграции данных по химическим составам реальных *минеральных индивидов* с одинаковой конституцией. *Минеральные индивиды* это природные твердые однородные минеральные тела физически ограниченные в пространстве от иных тел поверхностями раздела зерен или плоскостями граней. *Минеральные индивиды* представляют собой монокристаллы, отдельные зерна, сферулы, являясь составными частями *минеральных агрегатов*. *Минеральные индивиды* слагают минеральные ассоциации.

В пределах одного *минерального вида* может быть выделено несколько *разновидностей* по химическому, морфологическому, структурным признакам. К настоящему времени около 4000 минералов признаны самостоятельными *минеральными видами*. К этому списку по мере открытия добавляются новые минералы и исключаются давно известные, но дискредитированные по мере совершенствования методов минералогических исследований.

В данном методическом пособии использована следующая классификация:

Тип I. Самородные элементы

Тип II. Сульфиды и их аналоги

Тип III. Галоидные соединения

Тип IV. Окислы и гидроокислы

Класс 1. Окислы

Класс 2. Гидроокислы

Тип V. Соли кислородных кислот

Класс 1. Сульфаты

Класс 2. Вольфраматы

Класс 3. Фосфаты

Класс 4. Карбонаты

Класс 5. Силикаты

2.7.1. Тип I. Самородные элементы

Самородные элементы состоят из более или менее устойчивых индивидуальных отдельных химических элементов со стабильными электронными оболочками. Такого рода соединения встречаются не часто, их насчитывается чуть больше 40. Процентное весовое значение самородных элементов от веса Земной коры составляет 0,1%. Однако в последнее время с появлением новых точных методов диагностики вещества нахождение самородных металлов в различных породах устанавливаются все чаще. Форма выделений самородных элементов разнообразна. Это могут быть нитевидные кристаллы, дендритовидные, пластинчатые, идиоморфные и т.д. Самородные элементы делятся на две группы: *самородные металлы* и *самородные неметаллы*. К самородным металлам относятся *золото, серебро, медь*. К самородным неметаллам: *графит, алмаз, сера*. Для самородных металлов характерен металлический тип связи, который обуславливает непрозрачность, сильный металлический блеск, хорошие тепло- и электропроводность. Для них свойственна координационная структура с плотнейшей кубической упаковкой. Таким образом, группа *самородных металлов* обладают рядом общих признаков: ковкостью, пластичностью, металлическим блеском, низкой твердостью, высокими удельными весами. *Золото, серебро* и *медь* отличаются по цвету. *Золото* имеет ярко-желтый, ядовито-желтый, *серебро* – стально-серый, оловянно-белый, *медь* – красный цвета. От эталонного оттенка самородных металлов появились собственные названия цветов – золотисто-желтый, серебристо-белый, медно-

красный. Для самородных металлов, несмотря на то, что все они кристаллизуются в кубической сингонии, весьма часты образования в виде дендритов, пластин, чешуек, листочков и неправильных форм. Рудное эндогенное *золото* чаще всего находится в виде мелких вкрапленников, пленок, листочков в кварцевой массе. Видимое *золото* свидетельствует о промышленных концентрациях металла в породе. Визуально *золото* можно спутать с пиритом («золото дураков»), однако, важно помнить о различии в твердости, цвете черты (у самородных металлов цвет черты тождественен с цветом самого минерала), размерностью выделений. *Серебро* часто окисляется и покрывается черными сульфидами серебра, встречается не часто и в учебной коллекции отсутствует. Его можно посмотреть в минералогическом музее ТПУ или в электронных источниках. Самородная *медь* также может окисляться, покрываясь черным налетом, однако этот налет легко может быть механически удален с помощью подручного бисквита или стекла, что позволяет увидеть истинный цвет минерала (медно-красный). *Медь* может образовывать сплошные массы, тогда ее удельный вес (8,5 гр./см³) можно ощутить взвешиванием в руке. Этот минерал прихотлив в выборе спутников и часто ассоциирует с аналогичными медьсодержащими минералами: *халькозином*, *купритом*, *малахитом*, *азуритом* и т.д. Данный факт объясняется генезисом этих минералов в зоне окисления или вторичного сульфидного обогащения *меди*. Иногда *медью* ошибочно называют *никелин*, за его светло-медно-красный цвет и высокий удельный вес, однако цвет черты никелина – черный, что сложно спутать с яркой блестящей красной чертой *меди*. Самородные неметаллы характеризуются ковалентным типом связи. Степень ковалентности увеличивается в ряду от *серы* к *алмазу*. *Сера* обладает островной структурой, *графит* – слоистой, *алмаз* – координационной. Самородная *сера* легко диагностируется по светло-желтой окраске, мягкости (тв. 1,5-2), хрупкости, светло-желтой черте, запаху спичек, горючести. По цветовому признаку *серу* можно спутать с аналогичным желтым *аурипигментом*, однако, последний более яркий, обладает весьма совершенной спайностью и призматическими уплощенными кристаллами в отличие от кристаллов, близких к изометричным *серы*. *Графит*, обладая слоистой структурой, имеет низкую твердость, пачкает и марают руки, жирен на ощупь, серо-черного цвета с аналогичным цветом черты. Для *графита* характерны сплошные массы, которые прекрасно отражают его низкий удельный вес. От *молибденита* отличается сохранением серо-черного цвета черты при ее растирании на бумаге.

Описательная минералогия
ТИП САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Название минерала	Медь
Химический состав	Cu (Fe,Ag,Au)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	скелетные кристаллы образуются редко
Морфология агрегатов	пластинчатые дендриты, сплошные пластины
Цвет	медно-красный с побежалостью
Цвет черты	медно-красная, розовая, металлически-блестящая
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	2,5-3, весьма ковко, излом крючковатый
Удельный вес (г/см ³)	8,5-8,9
Диагн. признаки	медно-красная металлически-блестящая черта, низкая твердость, высокая плотность, часто окисляется
Минералы-спутники	куприт, малахит, азурит, кальцит, халькозин
Генезис	зоны окисления медных месторождений, гидротермальные месторождения
Применение	электротехника, машиностроение, в качестве лигатурной добавки в ювелирном производстве



Рис. 30. Дендриты самородной меди

САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Название минерала	Серебро
Химический состав	Ag (Cu,Au,Sb)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	встречаются в виде «вязанных» перистых дендритов. Характерны моховидные, волосовидные и проволочные формы. Наблюдается в виде неправильной формы зерен, самородков
Цвет	серебристо-белый, с поверхности часто покрыт черным налетом (за счет окисления)
Цвет черты	серебристо-белая, металлически-блестящая
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	2,5, весьма ковко, излом крючковатый
Удельный вес (г/см ³)	10,5
Диагн. признаки	черный налет, низкая твердость, серебристый цвет черты
Парагенезис	сульфиды и арсениды серебра
Генезис	зоны окисления месторождений сернистых и мышьяково-сурьмянистых руд
Применение	электротехника, электроника, в качестве покрытий, ювелирное дело, катализатор в реакциях окисления



Рис. 31. Самородное серебро

САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Название минерала	Золото
Химический состав	Au (Cu,Ag,Pd,Sb)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	кристаллы редки, преимущественно в виде октаэдров, реже ромбододекаэдров, и изредка в виде гексаэдров
Морфология агрегатов	в виде неправильной формы зерен, включенных в кварцевую или рудную массу, проволочных и дендритовых форм, чешуек, самородков
Цвет	золотисто-желтый, ядовито-желтый
Цвет черты	золотисто-желтая, металлически-блестящая
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	2,5-3, обладает ковкостью и тягучестью, легко расплющивается в тонкие листочки
Удельный вес (г/см ³)	19,3-19,7
Диагн. признаки	пирит, халькопирит (отл. твердостью)
Парагенезис	кварц, сульфиды (пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит), лимонит
Генезис	гидротермальные месторождения, генетически связанные с интрузивными кислыми изверженными породами; зоны окисления сульфидных месторождений.
Применение	стратегический и валютный металл, электроника, украшения, предметы роскоши, физические и химические приборы, зубоврачебное дело

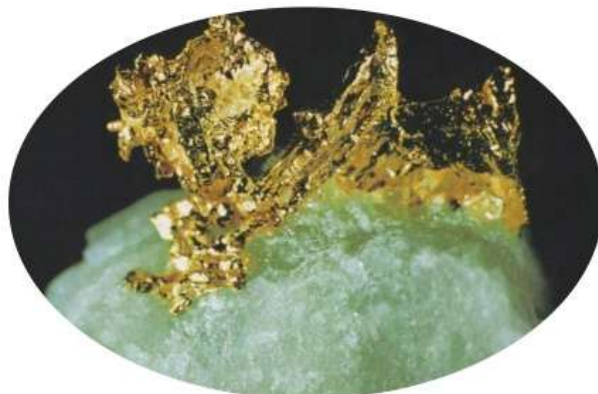


Рис. 32 Самородное золото на кварце

САМОРОДНЫЕ НЕМЕТАЛЛЫ

Название минерала	Графит
Химический состав	С
Разновидности	
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	правильно образованные кристаллы редки, они имеют вид шестиугольных пластинок или табличек
Морфология агрегатов	тонкочешуйчатые, реже волокнистые и радиально-лучистые, отдельные вкрапления
Цвет	железо-черный до стально-серого
Цвет черты	серо-черная, блестящая
Блеск	полуметаллический, у скрытокристаллических агрегатов – матовый
Спайность	совершенная по 0001
Твердость	1, в тонких листочках гибок. Жирен на ощупь, пачкает бумагу и пальцы
Удельный вес (г/см ³)	2
Диагн. признаки	рисует на бумаге, при растирании сохраняет серо-черный цвет, в отличие от молибденита, который зеленеет
Парагенетические ассоциации	часто мономинерален, иногда с кварцем, с кальцитом
Генезис	метаморфический, магматический. Образуется в восстановительных процессах в условиях высоких температур
Применение	изготовление графитовых тиглей, литейное производство, изготовление карандашей, электродов, красочная промышленность



Рис. 33. Пластиноччатые кристаллы графита

САМОРОДНЫЕ НЕМЕТАЛЛЫ

Название минерала	Алмаз
Химический состав	С
Разновидности	<i>борт</i> – неправильной формы сростки и шаровидные лучистые агрегаты; <i>карбонадо</i> – тонкозернистые, пористые агрегаты, окрашенные аморфным графитом и посторонними примесями в буровато-черный цвет
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	октаэдрический
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов
Цвет	бесцветный, голубой, синий, желтый, розовый
Цвет черты	нет
Блеск	алмазный
Спайность	совершенная по октаэдру
Твердость	10
Удельный вес (г/см ³)	3,5
Диагн. признаки	высокая твердость, люминесцирует в у/ф
Парагенезис	оливин, хромшпинелид, пироп, серпентин
Генезис	ультраосновные магматические породы повышенной щелочности (кимберлиты, лампроиты, перидотиты)
Применение	техника, ювелирная и абразивная промышленность



Рис. 34. Кристалл алмаза

САМОРОДНЫЕ НЕМЕТАЛЛЫ

Название минерала	Сера
Химический состав	S (глинистое или органическое вещество, Se)
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	усечено-бипирамидальный, пирамидальный
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов
Цвет	соломенно-желтый, медово-желтый, бурый, черный (от углеродистых примесей)
Цвет черты	бледно-желтая
Блеск	алмазный, в изломе жирный
Спайность	несовершенная
Твердость	1-2, хрупка
Удельный вес (г/см ³)	2
Диагн. признаки	походит на аурипигмент, горит, имеет запах
Минералы-спутники	кальцит, гипс
Генезис	вулканические возгоны и эксгаляции, зоны окисления (при разложении пирита), при разложении гипсоносных осадочных толщ, осадочным (биохимическим) путем, происхождение связано с жизнедеятельностью анаэробных бактерий, перерабатывающих сульфаты
Применение	производство серной кислоты, сельское хозяйство, промышленность, изготовление спичек, фейерверков, красок



Рис. 35. Самородная сера (желтого цвета)

2.7.2. Тип II. Сульфиды и их аналоги

Сульфиды представляют собой соединения *серы с металлами* и являются солями сероводородной кислоты H_2S . Наиболее распространены сульфиды халькофильных элементов, за счет чего большая часть из них обладает повышенным удельным весом, но при этом низкой и средней твердостью. Электронные связи между химическими элементами, входящими в кристаллические решетки сульфидов, имеют ионный или смешанный типы, что и обуславливает резкое различие их оптических свойств. Многие сульфиды обладают широкой анизотропией физических свойств, в том числе твердости. В общей массе Земной коры на долю сульфидов приходится 0,15%, при этом количество минеральных видов больше 200. Образуются сульфиды, главным образом, гидротермальным путем, а также при экзогенных процессах в условиях восстановительной среды. Сульфиды магматического происхождения встречаются редко и природа их иногда сомнительна. Сульфиды являются рудами важных металлов: кобальта, никеля, меди, ртути, цинка, свинца, сурьмы, железа. К аналогам сульфидов можно отнести также близкие к ним по свойствам арсениды.

Среди сульфидов и их аналогов в курс рабочей программы входят три группы минералов: «*блески*», «*колчеданы*» и «*обманки*».

К группе «*блесков*» относятся сульфиды, обладающие свинцово-серым цветом и темно-серой чертой, металлическим блеском и низкой твердостью (< 3).

К группе «*колчеданов*» следует относить сульфиды и их аналоги, обладающие металлическим блеском, относительно высокой твердостью (>4), темноокрашенной чертой. Разделяют желтые, красные и белые колчеданы.

Группа «*обманок*» объединяет сульфиды, имеющие разнообразную яркую окраску и черту, алмазный блеск и твердость, варьирующую в пределах от 1,5-4.

Несмотря на ряд общих черт в пределах каждой группы можно выделить и различные признаки.

К группе «*блесков*» следует относить четыре сульфида: *галенит*, *антимонит*, *молибденит* и *халькозин*. Для того, чтобы научиться различать их между собой нужно знать ряд характерных признаков для каждого минерала.

Во-первых, это различный облик кристаллов. *Галенит* характеризуется изометричным габитусом кристаллов (*рис. 36*), в то время как *антимониту* свойственен удлинённый (вытянутый) облик

(рис. 37), форма кристаллов *молибденита* уплощенная (розетковидная) (рис. 38), либо он образует пленки и примазки, *халькозин* чаще всего формирует сплошные массы. Наиболее отчетливо спайность проявляется у *галенита* (совершенная по кубу), что находит отражение в ступенчатом изломе и появлении характерной «паркетчатости» (рис. 42).

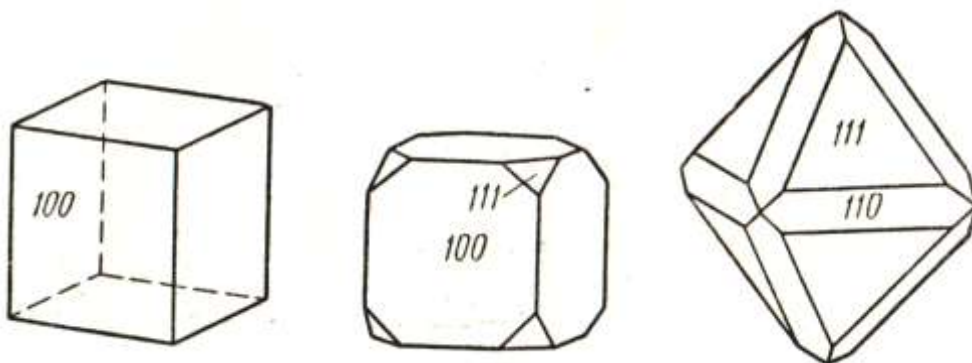


Рис. 36. Изометричная форма кристаллов галенита

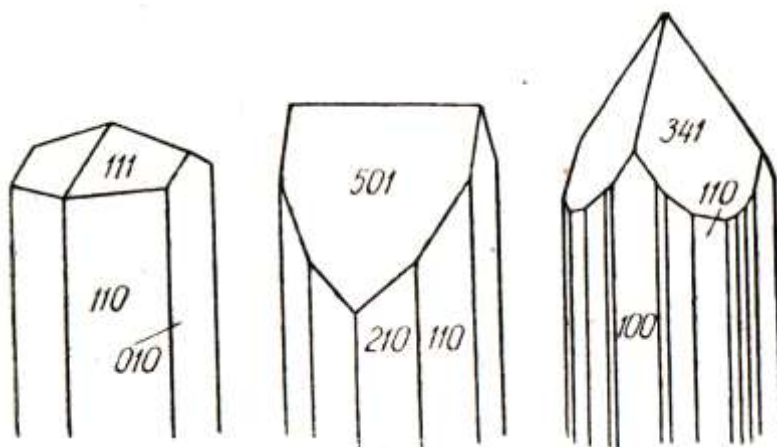


Рис. 37. Вытянутая (призматическая форма) кристаллов антимонита

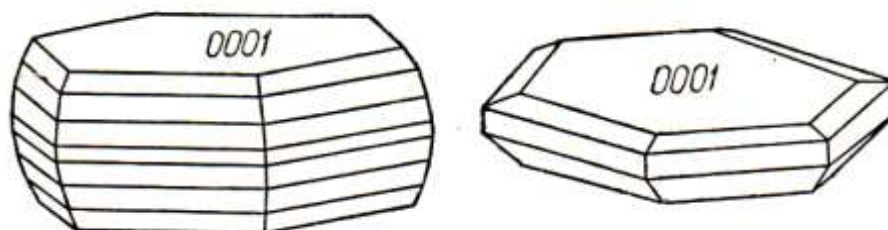


Рис. 38. Уплющенная форма кристаллов молибденита

Во-вторых, важную роль в диагностике минералов играет их парагенезис. *Галенит* образуется среднетемпературным гидротермальным путем и чаще всего ассоциирует со *сфалеритом*, *пиритом*, *арсенопиритом* и другими минералами этого температурного диапазона.

Антимонит это типично низкотемпературный гидротермальный минерал, поэтому его спутниками являются такие минералы как *киноварь*, *флюорит*, *кальцит* и другие.

Молибденит, напротив, является высокотемпературным гидротермальным минералом, поэтому в ассоциации с ним часто находятся *калиевый полевой шпат*, *кварц*, *халькопирит*, либо минералы скарнового генезиса. Этот минерал из всей группы блесков является наиболее мягким (твердость 1), что отражается в том, что он жирен на ощупь, пачкает и марают руки, при растирании на бумаге приобретает зеленоватый оттенок, в отличие от графита (твердость 1), который при аналогичном растирании на бумаге сохраняет серый цвет.

Халькозин имеет специфичный парагенезис с медьсодержащими минералами, такими как *борнит*, *малахит*, *самородная медь* и другие.

В-третьих, цвет минералов группы «блесков», хотя и принято считать серым, однако все они имеют свои оттенки. *Антимонит* и *галенит* наиболее близки по цвету между собой, их цвет можно условно назвать свинцово-серым. Однако, у *антимонита* иногда отмечается синеватая побегалость, не свойственная *галениту*. *Молибденит* имеет слегка голубоватый оттенок, в то время как *халькозин* часто окисляясь пленкой черного цвета, приобретает более темный оттенок до черного. Лишь, удалив пленку окисления с его поверхности можно увидеть собственный серый цвет минерала.

В-четвертых, значимым отличием между сульфидами группы «блесков» является отличный удельный вес каждого из них. Наиболее увесистым является *галенит*, плотность которого 7,5 гр./см³, в отличие от антимонита 4,6 гр./см³. Удельный вес *молибденита* проверить взвешиванием в руке достаточно проблематично, учитывая, тот факт, что он образует примазки и налеты, а не слагает нацело образцы. *Халькозин* также определить по удельному весу непросто, по аналогичной причине и частой ассоциации с другими медьсодержащими минералами.

Более детальная характеристика каждого из сульфидов этой группы приведены в сводной таблице минералов.

Группа «*колчеданов*» делится на *желтые*, *белые* и *красные* по цветовому признаку.

К *желтым колчеданам* относятся три минерала: *пирит*, *халькопирит* и *пирротин*.

Цвет *пирита* соломенно-желтый, *халькопирита* – латунно-желтый и *пирротина* – бронзово-желтый или кремово-желтый.

Твердостью выше 5 из представленной триады минералов обладает только *пирит* (6,5), что позволяет ему, в отличие от *халькопирита* и *пирротина*, оставлять царапину на стекле. Цвет черты желтых колчеданов также различен. Черта *халькопирита* характеризуется зеленоватым оттенком, тогда как у *пирита* и *пирротина* она серовато-черная. *Пирротин* проявляет магнитные свойства.

Форма кристаллов у желтых колчеданов также различна. Но главное, в этом пункте даже не различие в форме кристаллов, а их частота встречаемости. *Пирит*, обладая высокой степенью идиоморфизма (способность образовывать хорошо ограненные кристаллы), весьма часто образует кристаллы кубического габитуса (рис. 39). У *халькопирита* и *пирротина* напротив степень идиоморфизма низкая, поэтому эти минералы кристаллов практически не образуют. Большая редкость увидеть хорошо оформленные кристаллы *халькопирита* или *пирротина* с идеальными гранями. *Пирротин* и *халькопирит* преимущественно встречаются в виде сплошных масс.

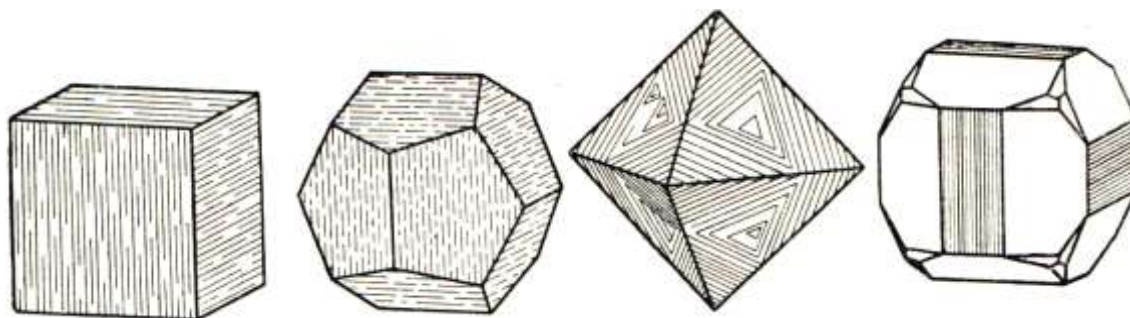


Рис. 39. Форма кристаллов пирита

К группе белых колчеданов следует отнести три минерала: *арсенопирит*, *кобальтин* и *смальтин*.

Арсенопирит характеризуется стально-серым цветом, *смальтин* – оловянно-белым, *кобальтин* – стально-серым с розовым оттенком. Различная форма кристаллов, диктуемая сингонией, способствует правильной диагностике белых колчеданов. *Арсенопирит*, кристаллизуясь в моноклинной сингонии, образует призматические, удлиненные кристаллы с характерной вертикальной штриховкой (рис. 40), в отличие от кубических *смальтина* и *кобальтина*. При этом и между последними, можно найти отличия в преобладающих формах кристаллов. *Кобальтин*, как правило, образует мелкие кристаллы гексаэдрического облика, а у *смальтина* преобладающими формами являются октаэдры, что проявляется в

виде частых треугольных граней с характерной пересекающейся штриховкой под углом 60° . Для *арсенопирита* свойственны двойники срастания и прорастания (рис. 40).

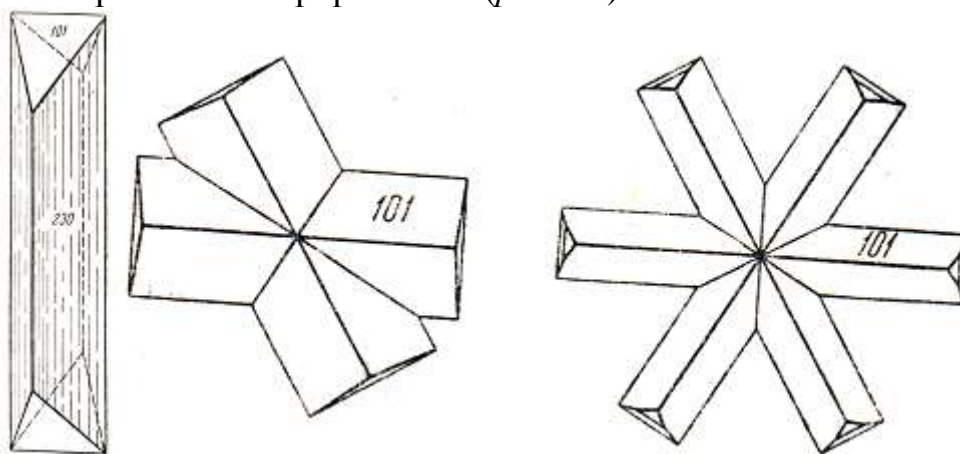


Рис.40. Вытянутые призматические кристаллы арсенопирита, двойники и тройники прорастания

Парагенезис у белых колчеданов весьма индивидуален. *Арсенопирит* наиболее распространенный (высоко и среднетемпературный), находится в ассоциации с *пиритом*, *сфалеритом*, *галенитом* и другими сульфидами, в то время как *смаьтин*, более изысканный и редкий, предпочитает совместное нахождение с *никелином*. *Кобальтин* может быть мономинеральным, а также встречаться с *пирротин*ом, *молибденитом* и другими минералами высокотемпературного гидротермального и скарнового генезиса.

Группа «белых колчеданов», в отличие от схожих с ними по серому цвету минералов группы «блесков» характеризуются более высокой твердостью (выше 5). «Белые колчеданы» не пачкают руки, не жирные на ощупь, не царапаются стеклом.

К группе красных колчеданов следует относить два минерала: *никелин* и *борнит*. *Никелин*, как уже отмечалось ранее, часто ассоциирует со *смаьтином*, что можно объяснить близостью и химическим родством главных рудных компонентов Ni и Co этих минералов. Своим светло-медно-красным цветом и металлическим блеском *никелин* напоминает самородную *медь*, но отличается от нее темным не блестящим цветом черты.

Борнит легко диагностируется по своей чернильной побежалости и совместному парагенезису с медьсодержащими минералами, чаще всего с окисленным *халькозином*.

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «блески»

Название минерала	Халькозин (медный блеск)
Химический состав	Cu₂S (Ag)
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	кристаллы редки, часто встречаются в виде таблиц и коротких призм
Морфология агрегатов	сплошные тонкозернистые массы, вкрапленники, псевдоморфозы
Цвет	свинцово-серый
Цвет черты	темно-серая
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	2-2,5
Удельный вес (г/см ³)	5,5
Диагн. признаки	походит на другие «блески», от которых отличается характерным парагенезисом с медными минералами, часто покрывается черной пленкой окисления
Парагенезис	самородная медь, борнит, куприт, малахит, азурит, кальцит
Генезис	гидротермальный, экзогенный (зона вторичного сульфидного обогащения медных руд)
Применение	руда на медь



Рис. 41. Халькозин (землисто-серого цвета)

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «блески»

Название минерала	Галенит (свинцовый блеск)
Химический состав	PbS (Ag)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	кубы, октаэдры, реже их комбинации
Морфология агрегатов	друзы кристаллов, зернистые агрегаты
Цвет	свинцово-серый
Цвет черты	темно-серая
Блеск	металлический
Спайность	совершенная по кубу
Твердость	2,5-3
Удельный вес (г/см ³)	7,5
Диагн. признаки	походит на антимонит, молибденит, от которых отличается ступенчатым изломом, спайностью по кубу, высоким удельным весом, парагенезисом
Парагенезис	сфалерит, пирит, халькопирит, кальцит, флюорит
Генезис	гидротермальные среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения
Применение	руда свинца, попутно извлекается серебро



Рис. 42. Кристаллы галенита с характерной спайностью под углом 90°

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «блески»

Название минерала	Антимонит (сурьмяный блеск)
Химический состав	Sb₂S₃ (As,Bi,Ag)
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	длиннопризматический, столбчатый, игольчатый
Морфология агрегатов	друзы, радиально-лучистые, призматически-зернистые агрегаты
Цвет	свинцово-серый с синеватой побежалостью
Цвет черты	темно-серая
Блеск	металлический
Спайность	совершенная по второму пинакоиду
Твердость	2-2,5
Удельный вес (г/см ³)	4,6
Диагн. признаки	походит на галенит, от которого отличается удлиненной формой кристаллов и меньшим удельным весом
Минеральные ассоциации	валентинит, сервантит (зона окисления); киноварь, кальцит, флюорит (гидротерм.)
Генезис	гидротермальные низкотемпературные месторождения
Применение	руда сурьмы



Рис. 43. Удлиненные призматические кристаллы антимонита

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ

Группа «блески»

Название минерала	Молибденит (молибденовый блеск)
Химический состав	MoS₂ (Re)
Разновидности	
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	пластинчатый
Морфология агрегатов	чешуйчатые, розетковидные
Цвет	свинцово-серый, голубовато-серый
Цвет черты	темно-серая, голубовато-серая
Блеск	металлический
Спайность	совершенная по пинакоиду
Твердость	1
Удельный вес (г/см ³)	5
Диагн. признаки	походит на графит, в отличие от которого не образует мономинеральных скоплений, а встречается в виде розетковидных вкрапленников и тонких пленок. Жирен на ощупь, при растирании на бумаге черта приобретает зеленоватый оттенок
Парагенезис	кварц, КПШ, халькопирит
Генезис	гидротермальные высокотемпературные месторождения
Применение	руда молибдена, попутно извлекается рений



Рис. 44. Розетковидные кристаллы молибденита на кварце

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «желтые колчеданы»

Название минерала	Пирит (железный колчедан)
Химический состав	FeS₂ (Co, Cu, Au)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	часто встречается в виде хорошо образованных кристаллов куба и пентагондодекаэдра
Морфология агрегатов	Вкрапленники кристаллов и округлых зерен, а также сплошные массы и конкреции
Цвет	соломенно-желтый
Цвет черты	темно-серая до буровато-черной
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	6-6,5
Удельный вес (г/см ³)	5
Диагн. признаки	походит на золото, халькопирит, пирротин, марказит, от которых отличается по твердости и обликом кристаллов
Парагенезис	разнообразный
Генезис	магматический, гидротермальный, контактово-метасоматический, осадочный
Применение	производство серной кислоты



Рис. 45. Кубические кристаллы пирита со штриховкой на гранях

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «желтые колчеданы»

Название минерала	Пирротин (магнитный колчедан)
Химический состав	Fe_{1-x}S (Ni)
Разновидности	
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	сплошные массы, вкрапленники зерен неправильной формы
Цвет	бронзово-желтый, кремовый
Цвет черты	серовато-черная, буровато-черная
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	4
Удельный вес (г/см ³)	4,6
Диагн. признаки	слабомагнитные свойства
Парагенезис	халькопирит, пентландит (магматический генезис). Сфалерит, галенит, пирит, арсенопирит (гидротермальный, контактово-метасоматический)
Генезис	магматический, гидротермальный, контактово-метасоматический, реже осадочный
Применение	производство железного купороса



Рис. 46. Сплошные массы пирротина

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «желтые колчеданы»

Название минерала	Халькопирит (медный колчедан)
Химический состав	CuFeS₂ (Ni)
Разновидности	
Сингония	тетрагональная
Облик кристаллов	кристаллы редки, тетраэдрический
Морфология агрегатов	сплошные массы, вкрапленники зерен неправильной формы
Цвет	латунно-желтый, часто с радужной побежалостью
Цвет черты	зеленовато-черная
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	4
Удельный вес (г/см ³)	4
Диагн. признаки	латунно-желтый цвет с зеленоватым оттенком, пестрая побежалость
Парагенезис	пирротин, пентландит (магматический генезис). Сфалерит, галенит, пирит, арсенопирит, пирротин, халькозин (гидротермальный, контактово-метасоматический)
Генезис	магматический, гидротермальный, контактово-метасоматический, осадочный
Применение	руда меди

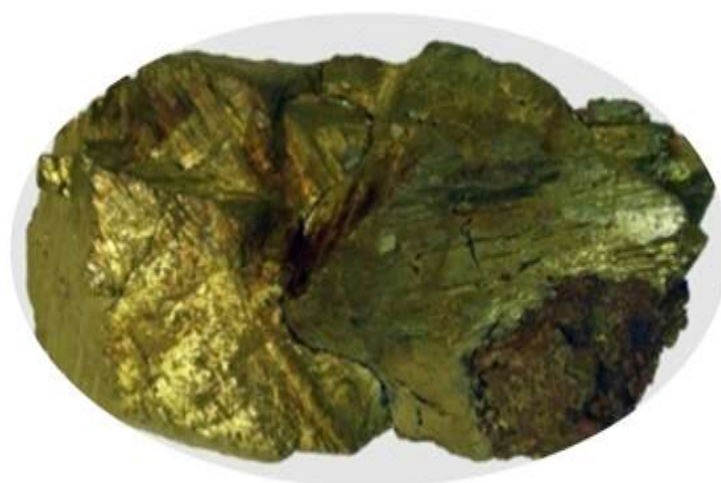


Рис. 47. Сплошные массы халькопирита

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «белые колчеданы»

Название минерала	Арсенопирит (мышьяковый колчедан)
Химический состав	FeAsS (Co,Ni)
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	кристаллы хорошо выраженные призматического облика от короткостолбчатых до шестоватых и игольчатых. Характерна грубая продольная штриховка граней
Морфология агрегатов	в сплошных массах образует зернистые и шестоватые агрегаты
Цвет	стально-серый
Цвет черты	серовато-черная, иногда с бурым оттенком
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	5,5, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	5,9-6,2
Диагн. признаки	походит на кобальтин, смальтин от которых отличается стально-серым цветом и вытянутой формой кристаллов
Парагенезис	пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, золото
Генезис	гидротермальный
Применение	руда мышьяка



Рис. 48. Призматические кристаллы арсенопирита

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «белые колчеданы»

Название минерала	Кобальтин (кобальтовый блеск)
Химический состав	CoAsS (Fe,Ni)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	кубический, октаэдрический, пентагондодекаэдрический
Морфология агрегатов	в сплошных массах образует зернистые агрегаты, а также встречается в виде вкрапленников отдельных кристаллов
Цвет	оловянно-белый или желтовато-белый с розовой побежалостью
Цвет черты	серовато-черная
Блеск	металлический
Спайность	совершенная по кубу
Твердость	5,0-6, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	6,4-6,8
Диагн. признаки	походит на арсенопирит и смальтин, от которых отличается розовой побежалостью и кубической формой кристаллов, от пирита отличается более белым оттенком
Парагенезис	молибденит, пирротин, халькопирит
Генезис	гидротермальный, скарновый, в зоне окисления замещается розовым эритрином
Применение	кобальтовая руда



Рис. 49. Кубические кристаллы кобальтина с розовой побежалостью

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «белые колчеданы»

Название минерала	Смальтин (шмальтин)
Химический состав	CoAs₂₋₃ (Fe, Ni)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	кубы, октаэдры и их комбинации
Морфология агрегатов	встречается в сплошных массах, а также в виде вкрапленников отдельных кристаллов треугольной формы
Цвет	оловянно-белый
Цвет черты	серовато-черная
Блеск	металлический
Спайность	несовершенная
Твердость	5,5-6, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	6,5
Диагн. признаки	походит на арсенопирит, кобальтин от которых отличается октаэдрическим обликом кристаллов, штриховкой, пересекающейся под углом 60°
Парагенезис	никелин
Генезис	гидротермальный
Применение	кобальтовая руда



Рис. 50. Кристаллы смальтина

Группа «обманки» в отличие от остальных сульфидов характеризуется весьма специфическими особенностями: алмазным блеском, яркими цветами, и небольшим удельным весом (исключение *киноварь*). К этой группе относят: *сфалерит*, *реальгар*, *аурипигмент*, *киноварь*.

Сфалерит (цинковая обманка) наиболее сложен в диагностике и на него следует обращать особое внимание. Этот минерал может иметь различную цветовую гамму от бесцветного, слабо-желтого (маложелезистой разновидности) – *клейофана*, до темноокрашенного, бурого цвета – *марматита*. При этом цвет черты *сфалерита* также будет изменчив пропорционально содержанию железа в минерале от светло до темно-бурого. *Сфалерит* при растирании взаимодействует с соляной кислотой (HCl) с выделением сероводорода. Чаще всего его спутником выступает *галенит*. Цинковая обманка, кристаллизуясь в кубической сингонии образует кристаллы тетраэдрического облика, либо сплошные массы. По своей цветовой палитре и алмазному блеску *сфалерит* легко спутать с *вольфрамитом*, который в отличие от первого имеет уплощенные, вытянутые кристаллы (моноклинная сингония), большой удельный вес (7,5), характерный парагенезис с «ржавым» кварцем и не реагирует с HCl.

Реальгару свойственен ярко-оранжевый цвет и аналогичный цвет черты, что отличает его от *киновари*, цвет черты которой красного цвета. *Реальгар* имеет совершенную спайность, также как и *аурипигмент*, с которым он часто ассоциирует совместно в низкотемпературных гидротермальных ассоциациях. *Реальгар*, как и все минералы группы «обманок» характеризуется алмазным блеском. Он хрупок, за счет слабой вандерваальсовой силы химической связи электронейтральных частей в структуре (подобно самородной сере), часто образует рыхлые, сыпучие массы.

Аурипигмент легко узнается по ярко-желтому цвету, алмазному блеску, совершенной спайности, которая отличает его от самородной серы, не имеющей спайности.

Киноварь имеет наиболее значимый удельный вес (8,5) из всех минералов группы «обманок». При том условии, что *киноварь* слагает сплошные массы, ее высокий удельный вес хорошо ощущается взвешиванием минерала в руке. Если *киноварь* образует кристаллы, то на их гранях наблюдается алмазный блеск, иногда до металлического. Для *киновари* характерны двойники прорастания (рис. 56).

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «красные колчеданы»

Название минерала	Никелин (красный никелевый колчедан)
Химический состав	NiAs
Разновидности	
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	образует сплошные массы, иногда в виде почковидных, дендритовых и других формах
Цвет	бледный медно-красный с желтоватым оттенком
Цвет черты	буровато-черная
Блеск	металлический, на окислившейся поверхности матовый
Спайность	несовершенная
Твердость	5
Удельный вес (г/см ³)	7,5
Диагн. признаки	походит на самородную медь, от которой отличается более высокой твердостью и темноокрашенной чертой. В зоне окисления замещается зеленым аннабергитом
Парагенезис	смальтин, кобальтин
Генезис	гидротермальный
Применение	руда на никель



Рис. 51. Сплошные массы никелина

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «красные колчеданы»

Название минерала	Борнит (пестрая медная руда)
Химический состав	Cu₅FeS₄
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	образует сплошные массы, вкрапленники зерен
Цвет	медно-красный с чернильной (синей) побежалостью
Цвет черты	серовато-черная
Блеск	металлический до полуметаллического
Спайность	несовершенная
Твердость	3-3,5
Удельный вес (г/см ³)	5
Диагн. признаки	походит на самородную медь и никелин, от которых отличается наличием яркой синей побежалости
Минеральные ассоциации	халькозин, ковеллин (зона сульф. обогащ.) халькопирит (гидротермальный)
Генезис	гидротермальный, экзогенный (в зонах вторичного сульфидного обогащения)
Применение	руда на медь

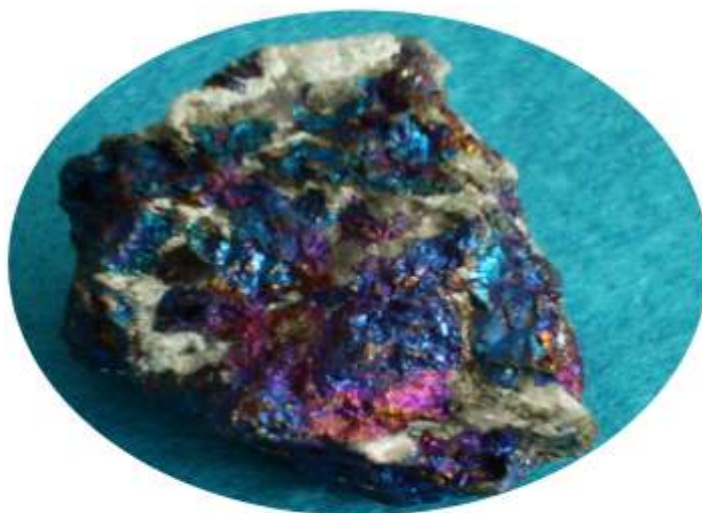


Рис. 52. Сплошные массы борнита с чернильной побежалостью

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ

Группа «обманки»

Название минерала	Сфалерит (цинковая обманка)
Химический состав	ZnS (Fe, Cd, In, Ga)
Разновидности	<i>Марматит</i> – железистый темнокрашенный сфалерит <i>Клейофан</i> – маложелезистый светлоокрашенный сфалерит
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	куб, тетраэдр, ромбододекаэдр
Морфология агрегатов	друзы, зернистые, натечные
Цвет	бурый, светло-желтый, зеленый, красный
Цвет черты	от светло до темно-бурой
Блеск	алмазный
Спайность	несовершенная
Твердость	4
Удельный вес (г/см ³)	4
Диагн. признаки	походит на вольфрамит, от которого отличается изометричной формой кристаллов и меньшим удельным весом. Разлагается в HCl с выделением сероводорода (H ₂ S)
Парагенезис	галенит, пирит, арсенопирит, халькопирит
Генезис	гидротермальные среднетемпературные Pb-Zn месторождения
Применение	руда на цинк (Cd, In, Ga)



Рис. 53. Тетраэдрическая форма кристаллов сфалерита

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ

Группа «обманки»

Название минерала	Реальгар (сернистый мышьяк)
Химический состав	AsS
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический с тонкой вертикальной штриховкой
Морфология агрегатов	сплошные зернистые массы, корки, налеты, рыхлые агрегаты
Цвет	оранжево-красный
Цвет черты	оранжево-желтый
Блеск	алмазный, в изломе жирный
Спайность	средняя
Твердость	1,5-2
Удельный вес (г/см ³)	3,5
Диагн. признаки	походит на киноварь, от которой отличается оранжево-красной чертой
Парагенезис	аурипигмент
Генезис	гидротермальные низкотемпературные месторождения
Применение	мышьяковое сырье



Рис. 54. Призматическая форма кристаллов реальгара

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ
Группа «обманки»

Название минерала	Аурипигмент
Химический состав	As₂S₃
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический с преобладанием пинакоидов
Морфология агрегатов	шестоватые, гребенчатые, почковидные, листоватые, чешуйчатые, шарообразные с радиально-лучистым строением
Цвет	лимонно-желтый, иногда с буроватым оттенком
Цвет черты	лимонно-желтая
Блеск	от алмазного до полуметаллического
Спайность	совершенная по второму пинакоиду
Твердость	1,5-2
Удельный вес (г/см ³)	3,5
Диагн. признаки	походит на серу, от которой отличается обликом кристаллов, отсутствием запаха, парагенезисом
Парагенезис	реальгар
Генезис	гидротермальные низкотемпературные месторождения
Применение	мышьяковое сырье



Рис. 55. Призматическая форма кристаллов аурипигмента

СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ

Группа «обманки»

Название минерала	Киноварь
Химический состав	HgS
Разновидности	
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	толстотаблитчатый, ромбоэдрический
Морфология агрегатов	зернистые сплошные массы, вкрапленники неправильной формы, порошковатые примазки и налеты
Цвет	красный, иногда со свинцовой побежалостью
Цвет черты	красная
Блеск	от алмазного до сильного полуметаллического
Спайность	совершенная
Твердость	2,0-2,5
Удельный вес (г/см ³)	8,5
Диагн. признаки	походит на реальгар, от которого отличается красным цветом черты
Парагенезис	халцедон, кальцит, антимонит, флюорит, барит
Генезис	гидротермальные низкотемпературные месторождения
Применение	руда ртути

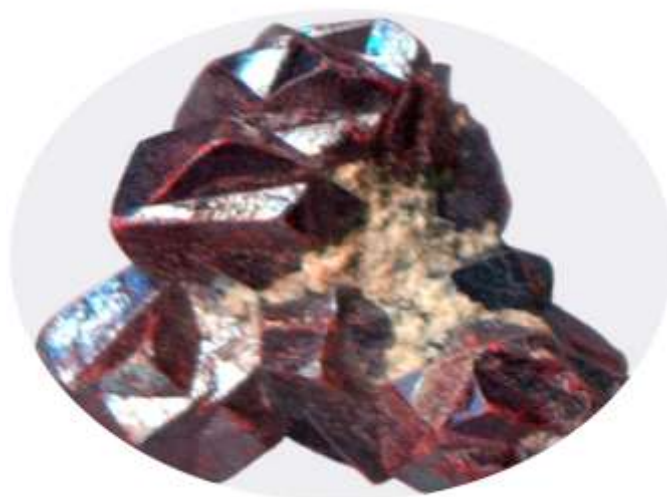


Рис. 56. Сrostки прорастания кристаллов киновари

2.7.3. Тип III. Галоидные соединения

Галоиды образуют группу минералов, в состав которых входят летучие компоненты или галогены (Cl, F), имеющие отрицательную степень окисления. В нашем курсе минералогии нужно будет познакомиться с фторидами (*флюорит*) и хлоридами (*галит*). С химической точки зрения это соли плавиковой (HF – фтористый водород) и соляной (HCl – хлористый водород) кислот. Это соединения с ионным типом связи, кристаллизующиеся в кубической сингонии.

Изучаемые галогениды характеризуются, твердостью ниже 5, прозрачностью, стекляннным блеском, небольшим удельным весом и светлой окраской, если минералы приобретают цветную окраску, то она, как правило, носит аллохроматический характер.

Флюорит входит в шкалу Мооса, соответствуя твердости 4, поэтому при его диагностике легко использовать сравнительный анализ с эталонным флюоритом из учебной шкалы. Кристаллизуясь в кубической сингонии, *флюорит* обладает совершенной спайностью по октаэдру, это свойство проявляется в наличие выколов под углом 60° , весьма характерных для этого минерала. Цвет флюорита часто неоднороден и меняется от фиолетового, розового до зеленого. Нередко наблюдается зональность окраски. Окраска флюорита связана с дырочными центрами или дефектами структуры. Иногда *флюорит* за счет зеленовато-голубой окраски и схожим оптическим свойствам путают с *апатитом*, однако, стоит помнить, что *апатит* не имеет спайности, на единицу тверже флюорита и характеризуется вытянутыми кристаллами.

Галит (каменная соль) легко диагностируется по ряду признаков: прозрачный, светлоокрашенный (чаще белый), легкий, мягкий (1,5-2), соленый на вкус, растворяется в воде, за счет чего имеет оплывные формы в исследуемых образцах. Обладая совершенной спайностью по кубу, можно видеть у минерала ступенчатый излом и выколки под углом 90° . В отличие от аналогичного мягкого и прозрачного *гипса* имеет иную форму кристаллов и другой характер спайности, в отличие от *кальцита* не реагирует с HCl.

ГАЛОИДЫ

Название минерала	Флюорит (плавиковый шпат)
Химический состав	CaF₂ (U,Ce,La...)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	куб, октаэдры и их комбинации
Морфология агрегатов	зернистые, друзы, вкрапленники, землистые массы
Цвет	разнообразный от бесцветного до фиолетового, зеленого, желтого
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный
Спайность	совершенная по октаэдру
Твердость	4,0, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	3,2
Диagn. признаки	характерны выколки под углом 60°, за счет совершенной спайности по октаэдру
Парагенезис	кварц, антимонит, киноварь, галенит, барит (гидротермальный), берилл, турмалин, вольфрамит (грейзены)
Генезис	гидротермальный, грейзены, пегматитовый, осадочный
Применение	металлургия (плавиковая кислота), оптика



Рис. 57. Октаэдрический габитус кристаллов флюорита

ГАЛОИДЫ

Название минерала	Галит (каменная соль)
Химический состав	NaCl
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	куб, октаэдры и их комбинации
Морфология агрегатов	рыхлые, плотные кристаллически-зернистые, друзы, кристаллов
Цвет	белый, серый, желтый, красный, бурый
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный
Спайность	совершенная по кубу
Твердость	2,5, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	2,1-2,2
Диагн. признаки	мягкий, легкий, соленый на вкус, растворяется в воде
Парагенезис	сильвин, карналлит
Генезис	осадочный
Применение	пищевая промышленность



Рис. 58. Кубические кристаллы галита

2.7.4. Тип IV. Окислы и гидроокислы

Окислы (оксиды) это соединения элементов с кислородом. Являются распространенным классом минералов (около 350 минеральных видов). Типы химических связей в окислах различны, что обуславливает их широкие различия в физических свойствах. Наиболее распространены в земной коре оксиды Si (12,6%), Fe (3,9%), Al, Ti, Mn, Cr. Главными по распространенности среди них являются *кварц*, *гематит* и *магнетит* (оксиды Fe), *пирролюзит* и др. Кристаллические решетки оксидов простые (разнообразие структур с ионной или сильно полярной ковалентной связью). Представлены твердыми, плотными, тугоплавкими хорошо раскристаллизованными минералами (аксессуары в изверженных породах) устойчивыми к выветриванию. Основная масса оксидов сосредоточена в верхних частях земной коры: на границе её с атмосферой, содержащей свободный кислород. Глубина проникновения свободного кислорода в земную кору контролируется уровнем грунтовых вод. Соединения Mg, Al, Si бесцветны или имеют аллохроматическую окраску. Соединения Fe, Mn, Cr интенсивно окрашены в темные цвета. Особенно распространены черные окраски. Нередко минералы темноокрашенные с темноокрашенным цветом черты. Многие минералы непрозрачны или просвечивают в тонких сколах, проявляя бурые или красные оттенки. Блески оксидов обычно полуметаллические.

Оксиды принято делить на *простые* и *сложные*. Простые оксиды состоят из одного химического элемента и кислорода. Сложные оксиды состоят из нескольких химических элементов в соединении с кислородом.

К простым окислам относятся: *куприт*, *корунд*, *гематит*, *пирролюзит*, *рутил*, *кварц*. К сложным окислам следует отнести: *магнетит*, *хромшпинелид*.

Куприт (медный оксид) характеризуется кирпично-красным цветом, если образует землистые массы и более темным до черного в кристаллах, однако цвет черты остается неизменно кирпично-красного цвета, что приводит в ряде случаев к тому, что его можно спутать с *гематитом*, который имеет схожую вишнево-красную черту. Однако, характерный парагенезис *куприта* с медьсодержащими минералами лишает всякой возможности неверной диагностики. В ассоциации с *купритом* находятся *самородная медь*, *халькозин*, *малахит* и т.д.

Корунд наиболее твердый из всего представленного класса окислов. Этот признак позволяет практически безошибочно отличать его от всех других минералов. След черты, который он оставляет на стекле напоминает грубую борозду, а не легкую царапину, характерную, к примеру для того же *кварца*. Цвет минерала разнообразный, но преимущественно в учебных коллекциях – это классический серо-синий. Для *корунда* в кристаллах типичен бочонковидный объемный габитус, иногда уплощенный. *Корунд* также может образовывать сплошные массы. Мелкокристаллическая разновидность этого минерала называется *наждак*. В учебных коллекциях кафедры встречается *наждак* вишнево-бурого цвета, который также следует диагностировать преимущественно по высокой твердости. *Корунд* встречается в парагенезисе с *полевыми шпатами* и *слюдами*, с *кварцем* не встречается.

Гематит (кровавик) имеет множественное число разновидностей, в основном по морфологии выделений. *Гематит* обладает полуметаллическим сильным блеском и темным до черного цветом. Часто образует пластинчатые и уплощенные формы кристаллов. Характеризуется вишнево-красным цветом черты, средней твердостью (5,5) и плотностью (5,0), отсутствием магнитных свойств и спайности.

Здесь уместно рассказать о часто встречающихся псевдоморфозах замещения гематита *магнетитом* и наоборот. Как надеюсь, помнит читатель из главы о морфологии агрегатов, что псевдоморфоза – это образование одного минерала по другому, с сохранением формы первого. Необходимо различать *мартит* – псевдоморфоза магнетита по гематиту, и *мушкетовит* – псевдоморфоза *гематита* по *магнетиту*. В чем же их главные отличия? Конечно же, в форме кристаллов. Сохранение формы кристаллов первого минерала, по которому образуется последующий минерал – это важнейшая часть залога успеха правильной диагностики этих на первый взгляд непростых псевдоморфоз. То есть, если форма кристаллов будет пластинчатой, характерной для тригонального гематита, но при этом будет темноокрашенная черта и магнитные свойства – значит, мы имеем дело с *мушкетовитом*, при октаэдрическом облике кристаллов или сплошных массах с вишневым цветом черты, перед нами – *мушкетовит*. Таким образом, за счет *магнетита* как *мартит*, так и *мушкетовит*, будут обладать магнитными свойствами, в отличие от *гематита*. При этом отличительным признаком *мушкетовита* являются характерные пластинчатые кристаллы *гематита*, в то время как для *мартита*,

напротив, широко распространены либо сплошные массы, либо кристаллы октаэдрического габитуса, характерные для *магнетита*.

Пиролозит (марганцевый оксид) иссиня-черного цвета с жирной, сажистой чертой черного цвета. В отличие от *магнетита* и названных псевдоморфоз этот минерал не обладает магнитными свойствами, при взаимодействии с HCl выделяет запах Cl. *Пиролозит* кристаллизуется в тетрагональной сингонии и часто можно при помощи лупы или даже макроскопически наблюдать вытянутые игольчатые кристаллы этого минерала. Образуя сажистые, землистые массы его твердость может понижаться до 2, в этом случае он пачкает и марают руки, аналогично графиту.

Рутил характеризуется высокой степенью идиоморфизма, что надеюсь, сразу наводит читателя на мысль, что этот минерал должен встречаться в виде хорошо образованных кристаллов или их сростков, и это действительно так. *Рутил* имеет разнообразную окраску, но преимущественно в учебной коллекции кафедры это буро-черные кристаллы с сильным алмазным до полуметаллического блеска, образующие двойниковые сростки. Не смотря на то, что минерал бывает темноокрашенным, цвет черты *рутила* бледно-желтый, или оранжево-желтый. Твердость минерала высокая, на стекле он оставляет хорошую царапину. Часто находится в парагенезисе с лимонитизированным *кварцем* и слюдой (*мусковитом*).

Г. Г. Леммлейн, блестящий исследователь и знаток, посвятивший много сил изучению кварца, назвал его "элегантным" минералом, отдавая дань, видимо, не только внешности, но и удивительному сочетанию свойств. *Кварц* в большинстве случаев является прозрачным минералом, диагностируется по высокой эталонной твердости (7), отсутствию спайности, раковистому излому, относительно не высокому удельному весу, стеклянному блеску. Если этот уникальный минерал образует кристаллы, то по их удлинённому габитусу и комбинациям тригональной сингонии его легко узнать. Иногда на гранях отмечается горизонтальная штриховка. Будучи наиболее распространенным минералом, *кварц* встречается в виде различных форм и проявлений. В нашем курсе мы затронем лишь некоторые модификации кварца: 1) кварц кристаллический (тригональный $\downarrow t$); 2) кварц скрытокристаллический (*халцедон*); 3) аморфный кварц (*опал*); 4) кремнесодержащая порода (*яшма*).

В пределах кристаллического кварца существует большое количество разновидностей по цвету: 1) *аметист* – фиолетовый кварц; 2) *цитрин* – желтый кварц; 3) *раухтопаз* – дымчатый (серый)

кварц; 4) *морион* – черный кварц; 5) *горный хрусталь* – прозрачный кварц. Не меньше разновидностей и в семействе халцедонов: 1) *агаты* – полосчатые разновидности; *моховые агаты* – халцедоны с вкраплениями древовидных марганцевых минералов, как правило, *псиломелана*; 2) *ониксы* – агаты с чередованием различных по цвету параллельных или концентрически-зональных полос 3) *хризопраз* – зеленовато-голубая разновидность халцедона; 4) *сердолик*, *сардоникс* – оранжевая разновидность. *Опалы* также могут быть представлены благородными разновидностями – опалы с ярким оптическим эффектом «опалесценции» и не благородными – матовые, напоминающие пластик. *Яшмы* – это наиболее разнообразные и по цвету и по минеральному составу кремнесодержащие агрегаты (породы). По цветовому признаку их отличать достаточно непросто за счет пестроты и полигамности окраски. Если сделать попытку разобраться во всем этом кварцевом разнообразии, то кристаллический кварц легко определяется по уже перечисленным признакам, название разновидности по цветовой принадлежности – это уже второстепенная задача. *Халцедон* в отличие от *опала* имеет более высокую твердость и плотность, от кварца кристаллического отличается морфологией агрегатов и отсутствием правильных идиоморфных граней.

Исходя из химического состава *опала* очевидно, что вода, входящая в его состав искажает кристаллическую решетку минерала и как следствие снижает его прочностные характеристики. *Опал* легко узнается по фарфоровидному излому и небольшому удельному весу.

Главное отличие *простых* окислов от *сложных* заключается в том, что последние состоят из двух простых. К ним относятся: *магнетит* и *хромшпинелид*.

Магнетит (магнитный железняк) обладает сильными магнитными свойствами, черным цветом и аналогичным цветом черты. Кристаллизуясь в кубической сингонии, наиболее частой формой проявления является – октаэдр.

Хромшпинелид (рябчиковая руда) обладает повышенной твердостью (6,5-7,5), зеленовато-бурым цветом черты, округлой формой зерен («нодулярные» стяжения). Этот тугоплавкий минерал образуется исключительно магматическим путем, часто встречается в парагенезисе с зеленоватым *серпентином*, как правило, полностью заместивший ранний *оливин*.

ОКИСЛЫ
(простые оксиды)

Название минерала	Куприт (красная медная руда)
Химический состав	Cu₂O
Разновидности	<i>Кирпичная медная руда</i> – землистые агрегаты куприта с примесью лимонита
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	октаэдры и ромбододекаэдры или их комбинации
Морфология агрегатов	друзы, параллельно-волокнистые, рыхлые, землистые, плотные
Цвет	темно-бурый, буровато-красный
Цвет черты	буровато-красная (кирпично-красная), при растирании бисквитов желтеет
Блеск	алмазный, у землистых разновидностей - матовый
Спайность	несовершенная
Твердость	3,5-4 (в агрегатах снижается до 2)
Удельный вес (г/см ³)	6,0
Диагн. признаки	походит на киноварь, реальгар, гетит, гематит от которых отлич. парагенезисом
Минералы-спутники	самородная медь, тенорит, малахит, азурит
Генезис	экзогенный
Применение	руда на медь



Рис. 59. Куприт кирпично-красного цвета с оторочкой малахита

ОКИСЛЫ
(простые оксиды)

Название минерала	Корунд
Химический состав	Al₂O₃ (Fe, Ti, Cr)
Разновидности	<i>Наждак</i> – мелкозернистый агрегат корунда, <i>сапфир</i> – синий прозрачный корунд, <i>рубин</i> – карминно-красный прозрачный корунд
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	бочонковидный, таблитчатый, призматический, столбчатый
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, зернистые массы
Цвет	синевато-, розовато-, желтовато-серый
Цвет черты	не имеет
Блеск	стеклянный
Спайность	несовершенная, отдельность поперек удлинения кристаллов
Твердость	9
Удельный вес (г/см ³)	4,0
Диагн. признаки	кварц (отл. цветом, формой кристаллов), дистен (отл. твердостью), берилл (отл. твердостью, формой поперечного сечения), штриховка на гранях пересекающаяся под углом 60°
Минеральные ассоциации	полевые шпаты (пегматиты) альмандин, роговая обманка, биотит, хлориты (метам.)
Генезис	пегматитовый (десилицированные бескварцевые пегматиты), регионально-метаморфический
Применение	абразивный материал, точные физические приборы, ювелирное дело



Рис. 60. Бочонковидная и таблитчатая форма кристаллов корунда

ОКИСЛЫ
(простые оксиды)

Название минерала	Гематит (железный блеск)
Химический состав	Fe₂O₃
Разновидности	<i>красная стеклянная голова</i> – коломорфные формы кристаллов, <i>мартит</i> – псевдоморофоза гематита по магнетиту
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	пластинчатый, таблитчатый
Морфология агрегатов	чешуйчатые, натечные, землистые
Цвет	стально-серый, железо-черный, красно-бурый
Цвет черты	вишнево-красная
Блеск	металлический, полуметаллический, в землистых агрегатах – матовый
Спайность	отсутствует, полураковстый, раковистый излом
Твердость	5,5-6 (в землистых агрегатах падает до 1)
Удельный вес (г/см ³)	5,0
Диагн. признаки	куприт (отл. формой кристаллов и парагенезисом), вольфрамит (отл. твердостью, формой кристаллов, чертой), гетит (отл. чертой)
Парагенезис	различный
Генезис	разнообразный
Применение	руда на железо



Рис. 61. Пластинчатая и коломорфная форма кристаллов гематита

ОКИСЛЫ
(простые оксиды)

Название минерала	Пиролюзит
Химический состав	MnO₂
Разновидности	
Сингония	тетрагональная
Облик кристаллов	призматический, игольчатый
Морфология агрегатов	зернистые, скрытокристаллические, радиально-лучистые, конкреции, сажистые, землистые
Цвет	черный, иногда с синеватым оттенком
Цвет черты	бархатно-черная
Блеск	полуметаллический, матовый (в плотных агрегатах)
Спайность	совершенная по призме
Твердость	5,0-6,0 (в землистых агрегатах понижается до 1)
Удельный вес (г/см ³)	5,0
Диагн. признаки	магнетит (отл. отсутствием магнитных свойств), псиломелан (отл. более жирной чертой), манганит (отл. цветом черты)
Парагенезис	гидрооксиды марганца и железа
Генезис	экзогенный (осадочный, а также при окислении других марганцевых минералов)
Применение	руда на марганец, в электротехнике, стекольной промышленности



Рис. 62. Форма кристаллов и агрегатов пиролюзита

ОКИСЛЫ
(простые оксиды)

Название минерала	Рутил
Химический состав	TiO₂ (Fe,Nb,Ta)
Разновидности	<i>Сагениит</i> – тонковолокнистая разновидность рутила, пререкающаяся под углом 60°
Сингония	тетрагональная
Облик кристаллов	призматический, часто коленчатые двойники, на гранях призмы штриховка вдоль удлинения
Морфология агрегатов	игольчатые, радиально-лучистые, призматические
Цвет	темно-бурый, оранжевый, оранжево-красный
Цвет черты	бледно-желтая, светло-буровато-желтая
Блеск	алмазный, в агрегатах полуметаллический, в изломе - жирный
Спайность	совершенная по призме
Твердость	6,0
Удельный вес (г/см ³)	4,0
Диагн. признаки	циркон (отл. формой кристаллов, парагенезисом, чертой), турмалин (отл. формой поперечного сечения)
Парагенезис	кварц, слюды
Генезис	эндогенный разнообразный
Применение	руда на титан



Рис. 63. Призматическая форма кристаллов рутила и коленчатые двойники

ОКИСЛЫ
(простые оксиды)

Название минерала	Кварц
Химический состав	SiO₂
Разновидности	<i>халцедон</i> – скрытокристаллическая разновидность кварца, <i>опал</i> – аморфная разновидность кварца, <i>яшма</i> – кремнесодержащая порода
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	призматический, столбчатый, на гранях призмы горизонтальная штриховка
Морфология агрегатов	друзы, сплошные зернистые массы, вкрапленники зерен, плотные скрытокристаллические
Цвет	молочный, дымчатый, красновато-бурый, оранжевый, черный
Цвет черты	не имеет
Блеск	стеклянный, в изломе – жирный, матовый у халцедона
Спайность	несовершенная
Твердость	7,0
Удельный вес (г/см ³)	2,65
Диагн. признаки	
Парагенезис	разнообразный
Генезис	разнообразный
Применение	стекольная промышленность, оптика, строительство, ювелирное дело



Рис. 64. Форма кристаллов кварца; срез халцедона (оникс)

ОКИСЛЫ
(сложные оксиды)

Название минерала	Магнетит
Химический состав	FeFe₂O₄ (Ti, Mg, Cr, V)
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	октаэдрический
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, зерен, друзы, сплошные зернистые массы
Цвет	черный
Цвет черты	черный
Блеск	полуметаллический
Спайность	несовершенная
Твердость	5-6
Удельный вес (г/см ³)	5,0
Диагн. признаки	мартит (отл. формой кристаллов и цветом черты), хромшпинелид (твердостью, цветом черты)
Парагенезис	разнообразный
Генезис	эндогенный (магматический, пегматитовый, гидротермальный, контактово-метасоматический, метаморфический), регионально-
Применение	руда железа



Рис. 65. Октаэдрический облик кристаллов магнетита

ОКИСЛЫ
(сложные оксиды)

Название минерала	Хромшпинелид (рябчиковая руда)
Химический состав	(Mg,Fe)(Cr, Al, Fe)₂O₄
Разновидности	
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	октаэдрический
Морфология агрегатов	округлые зерна (нодули), сплошные зернистые массы
Цвет	черный, буровато-черный
Цвет черты	бурый
Блеск	полуметаллический, в агрегатах - жирный
Спайность	несовершенная
Твердость	5,5-7,5
Удельный вес (г/см ³)	4,0-4,8
Диагн. признаки	
Парагенезис	серпентин, магнетит, оливин, пироксены
Генезис	ультраосновные магматические породы
Применение	руда на хром



Рис. 66. Нодулярная и октаэдрическая форма кристаллов хромшпинелида

Гидрооксиды отличаются от оксидов тем, что они содержат воду, либо конституционную в виде гидроксильной группы OH^- , либо молекулярную в виде молекул H_2O . Как известно, при вхождении воды в состав минерала его прочностные характеристики уменьшаются. Так, гидрооксиды в отличие от оксидов характеризуются невысокой твердостью от 1-5 (в зависимости от формы выделений). Происхождение гидрооксидов в большинстве случаев экзогенное, часто они являются продуктами окисления различных ранее образованных минералов в зоне окисления. Морфология агрегатов этих минералов разнообразная, но в большинстве случаев это сыпучие, рыхлые, тонкозернистые, ксеноморфные массы, иногда дендриты (псиломелан) и радиально-лучистые агрегаты (гетит). В этом классе необходимо будет изучить следующие минералы: *гетит*, *гидрогетит (лимонит)*, *манганит*, *псиломелан*.

Гетит (железистый гидрооксид), иногда встречается в виде разновидности, характеризующейся ровной, блестящей, гладкой поверхностью с радиально-лучистым внутренним строением – «бурая стеклянная голова». Минерал обладает темно-бурым цветом и ржаво-бурым цветом черты, не обладает магнитными свойствами, часто находится в парагенезисе с *гидрогетитом (лимонитом)*. Последний, как аморфное вещество, характеризуется более низкой твердостью, сыпучими агрегатами и охристо-желтым цветом черты. Для него не характерно радиально-лучистое строение и вообще какие-либо кристаллы.

К марганцевым гидрооксидам относятся *манганит* и *псиломелан*, часто они ассоциируют совместно, этой паре также не редко сопутствует *пиролюзит*. В отличие от гидрооксидов железа марганцевые минералы характеризуются более темным цветом и цветом черты. Как надеюсь, помнит читатель, *пиролюзит* обладает сажисто-черным цветом черты, *псиломелан* в свою очередь серо-черным и *манганит* – темно-бурым. Минеральная ассоциация марганцевых минералов обычно представлена сплошными сажисто-черными сыпучими массами, пачкающими руки, но в отличие от графита имеющими более высокий удельный вес.

ГИДРООКИСЛЫ

Название минерала	Гетит
Химический состав	FeO(OH)
Разновидности	<i>бурая стеклянная голова</i> – агрегаты с гладкой блестящей поверхностью и радиально-лучистым строением в изломе
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	таблитчатый, игольчатый, столбчатый
Морфология агрегатов	скорлуповатые, почковидные или сталактитоподобные формы с радиально-лучистым строением, конкреции, секреции, оолиты
Цвет	темно-бурый
Цвет черты	ржаво-бурая
Блеск	алмазный на полуметаллического на гранях кристаллов, матовый в агрегатах
Спайность	совершенная по пинакойду (010)
Твердость	4,5-5,5
Удельный вес (г/см ³)	4-4,5
Диагн. признаки	лимонит (отл. твердостью, агрегатами), гематит (отл. цветом черты), куприт (отл. цветом черты, парагенезисом).
Парагенезис	лимонит
Генезис	зона окисления сульфидных месторождений (железные шляпы), осадочный, гидротермальный (редко).
Применение	сырье для выплавки чугуна, стали, важная руда на железо



Рис. 67. Поперечное сечение гетита с радиально-лучистым строением, бурая стеклянная голова

ГИДРООКИСЛЫ

Название минерала	Гидрогетит (<i>лимонит</i>)
Химический состав	FeO(OH)*nH₂O
Разновидности	
Сингония	аморфный
Облик кристаллов	таблитчатый, игольчатый, столбчатый
Морфология агрегатов	землистые, порошковатые, пористые, шлаковидные, псевдоморфозы по пириту
Цвет	желто-бурый
Цвет черты	ржаво-бурая
Блеск	матовый
Спайность	отсутствует
Твердость	1-5
Удельный вес (г/см ³)	3-4
Диагн. признаки	гетит (отл. твердостью, агрегатами, отсутствием радиально-лучистого строения)
Парагенезис	гетит
Генезис	зона окисления сульфидных месторождений (железные шляпы), осадочный, псевдоморфозы по пириту
Применение	руда на железо



Рис. 68. Аморфное строение гидрогетита

ГИДРООКИСЛЫ

Название минерала	Манганит
Химический состав	$MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический
Морфология агрегатов	плотные массы, натечные массы, оолиты, землистые, рыхлые
Цвет	темно-бурый, черный
Цвет черты	бурая
Блеск	полуметаллический (в кристаллах), матовый в агрегатах
Спайность	совершенная по пинакойду (010)
Твердость	3-4 (в землистых и рыхлых агрегатах падает до 1)
Удельный вес (г/см ³)	4,0
Диагн. признаки	гетит (отл. строением), пиролюзит, псиломелан (отл. цветом черты).
Парагенезис	пиролюзит, псиломелан
Генезис	экзогенный, осадочный
Применение	руда на марганец



Рис. 69. Форма агрегатов манганита

ГИДРООКИСЛЫ

Название минерала	Псиломелан
Химический состав	$m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Разновидности	
Сингония	ромбическая?
Облик кристаллов	кристаллы образует исключительно редко
Морфология агрегатов	плотные массы, натечные массы, оолиты, землистые, рыхлые
Цвет	черный
Цвет черты	черная, иногда с сероватым оттенком
Блеск	матовый
Спайность	совершенная по пинакойду (010)
Твердость	5-6 (в рыхлых агрегатах падает до 1)
Удельный вес (г/см ³)	4,8
Диагн. признаки	пиролюзит (отл. менее жирной чертой серо-черного цвета)
Парагенезис	пиролюзит, манганит
Генезис	экзогенный, осадочный
Применение	руда на марганец

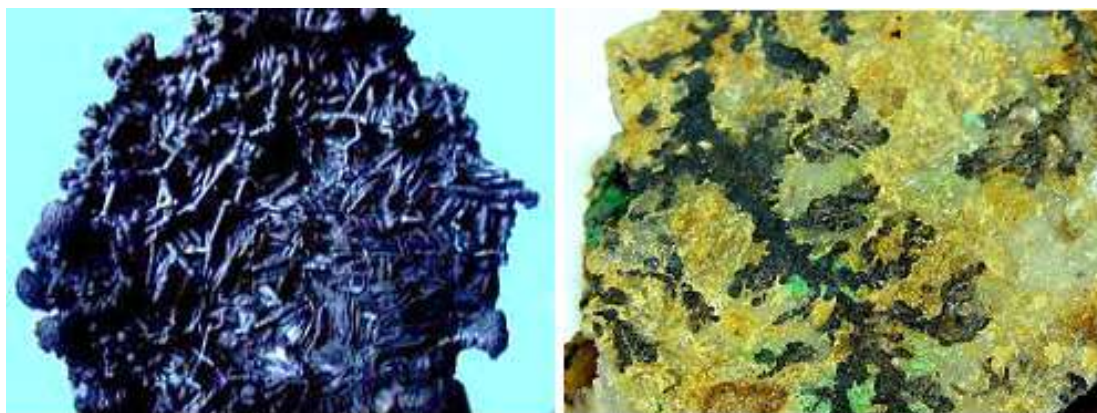


Рис. 70. Форма скелетных кристаллов псиломелана

2.7.5. Тип IV. Соли кислородных кислот

2.7.5.1. Класс 1. Сульфаты

Сульфаты представляют собой класс минералов, объединяющий соли серной кислоты. Большее распространение имеют труднорастворимые сульфаты сильных двухвалентных оснований Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} и т.д. Сульфаты могут концентрироваться в зоне гипергенеза, гидротермальных меторождениях (*барит*) и как продукты фумарольной деятельности вулканов.

Сульфаты в данном сжатом курсе минералогии представлены двумя наиболее распространенными минералами: *баритом* и *гипсом*.

Барит (тяжелый шпат) в переводе с греч. «*baros*» означает *тяжесть*, получил свое название благодаря удельному весу (4,5). При взвешивании в руке образцы с *баритом* отличаются заметной плотностью в отличие от других светлоокрашенных минералов с твердостью ниже 5, к примеру, карбонатов. К тому же, в отличие от карбонатов барит не реагирует с HCl. Для него характерна пластинчатая форма кристаллов, совершенная спайность, светлая окраска. В парагенезисе с *баритом* может находиться *гематит*, за счет механической примеси которого он окрашивается в розовый цвет, *халькозин*, *малахит* и др.

Гипс соответствует второй позиции в шкале твердости Мооса, легко царапается ногтем и диагностируется по весьма совершенной спайности, за счет которой на плоскостях кристаллов отмечается перламутровый отлив. Часто гипс образует двойники срастания по типу «ласточкин хвоста» (рис. 71). Если гипс образует мелкозернистые сыпучие массы, спайность проявляется слабо. Гипс легкий, мягкий, светлоокрашенный минерал. В отличие от галита не обладает соленым вкусом и спайностью по кубу, имеет уплощенную форму кристаллов. В отличие от «исландского шпата» (прозрачная разновидность кальцита) не реагирует с HCl, имеет более низкую твердость.

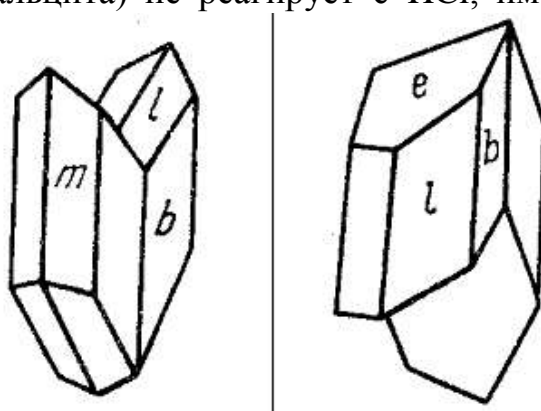


Рис. 71. Двойники срастания гипса

2.7.5.2. Класс 2. Вольфраматы

Вольфраматы (соли вольфрамовых кислот) представлены одним представителем класса – *вольфрамитом*. *Вольфрамит* за счет вольфрама обладает высоким удельным весом (7,5), а благодаря вхождению в его состав элементов-хромофоров железа и марганца является темноокрашенным минералом. При этом выделяется две его цветовые разновидности, относящиеся к конечным членам бесконечного ряда: *гюбнерит* (светлоокрашенная Mn-разновидность), *ферберит* (темноокрашенная Fe-разновидность). Вместе с изменением насыщенности цвета от светло-бурого до темно-бурого, меняется и цвет черты минерала от светло-желтой до бурой. *Вольфрамит* обладает сильным алмазным блеском и совершенной спайностью по второму пинакoidу – вдоль удлинения кристаллов. Визуально походит на *сфалерит*, от которого отличается уплощенной вытянутой формой кристаллов, повышенным удельным весом, отсутствием реакции с HCl, парагенезисом с «ржавым кварцем».

2.7.5.3. Класс 3. Фосфаты

В фосфатах (соли фосфорной кислоты) аналогично вольфраматам рассмотрим одного представителя класса – *апатит*. А. Г. Вернер назвал этот минерал "обманщиком" ("апатао" в пер. с греч. "обманываю"). *Апатит* соответствует твердости 5 в шкале Мооса, характеризуется отсутствием спайности, средним удельным весом, голубовато-зеленым цветом, прозрачностью. Иногда по цветовому признаку студенты склонны диагностировать *апатит* как *флюорит*. В этом случае стоит особое внимание обращать на наличие или отсутствие спайных выколов, отсутствующих у *апатита*, и отмечающихся повсеместно у *флюорита* под углом 60° (совершенная спайность по октаэдру). Флюорит можно всегда посмотреть в учебной шкале твердости, применяя сравнительный анализ. *Апатит* может быть представлен двумя морфологическими разновидностями: *кристаллическим* и *сахаровидным (мелкозернистым) апатитом*. Кристаллизуясь в гексагональной сингонии апатит кристаллический обладает призматическими вытянутыми кристаллами голубоватого цвета, часто встречается в ассоциации с *кальцитом*. Иногда *апатит* кристаллический по облику кристаллов, гексагональному поперечному сечению и цветовой гамме можно спутать с *бериллом*, от которого его легко отличить по более низкой твердости. Мелкозернистый сахаровидный апатит, как правило, ассоциирует с щелочными магматическими минералами: *эгирином*, *нефелином*, *сфеном*, *альбитом*.

СУЛЬФАТЫ
(группа барита)

Название минерала	Барит (<i>тяжелый шпат</i>)
Химический состав	Ba[SO₄]
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	таблитчатый, расщеплены, реже призматический, столбчатый
Морфология агрегатов	зернистые, сплошные, плотные, скрытокристаллические, землистые
Цвет	белый, серый с различными оттенками (за счет механических примесей других минералов)
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый
Спайность	совершенная
Твердость	3,0-3,5
Удельный вес (г/см ³)	4,3-4,5
Диагн. признаки	высокий удельный вес, пластинчатая форма кристаллов
Минералы спутники	гематит, сфалерит, пирит, халькопирит, сидерит, халькозин
Генезис	гидротермальный, осадочный, зона выветривания
Применение	химическая, резиновая, бумажная, лакокрасочная промышленность, изготовление фотобумаги, выплавка стекол, утяжелитель глинистых растворов



Рис. 72. Пластинчатые кристаллы барита

СУЛЬФАТЫ

Название минерала	Гипс
Химический состав	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Разновидности	<i>Селенит</i> – тонковолокнистые кристаллы гипса с шелковистым отливом
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, столбчатый, призматический
Морфология агрегатов	зернистые, сплошные массы
Цвет	белый, водяно-прозрачный, серый, с голубым, сероватым, красноватым, черным оттенком
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый
Спайность	весьма совершенная
Твердость	2,0
Удельный вес (г/см ³)	2,8-3,0
Диагн. признаки	от карбонатов отличается отсутствием реакции с HCl, от барита отличается меньшим удельным весом
Парагенезис	ангидрит, пирит, халькопирит
Генезис	гидротермальный, осадочный
Применение	производство красок, эмали, глазури

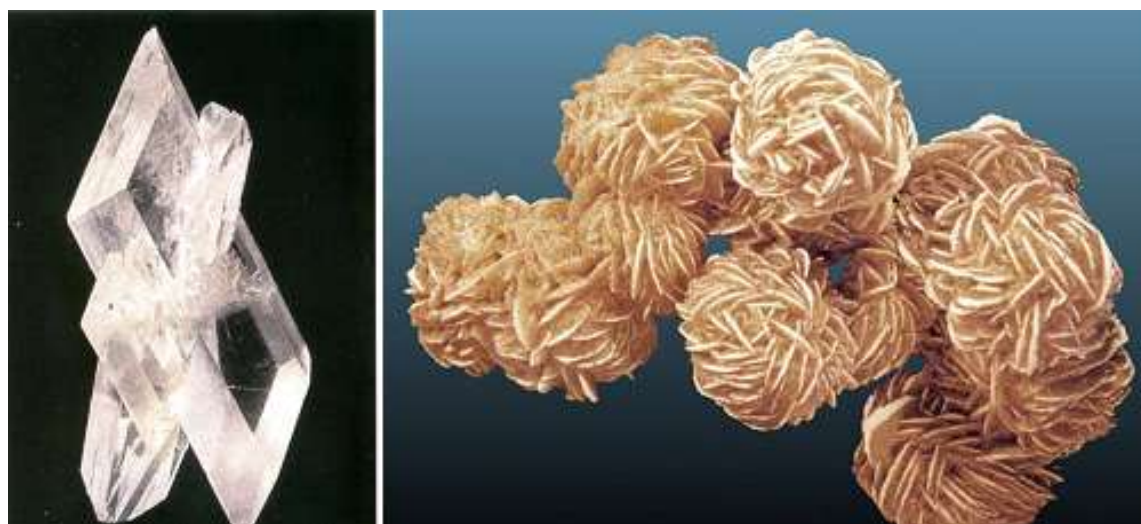


Рис. 73. Сrostки кристаллов гипса в виде «ласточкиного хвоста», «гипсовая роза».

ВОЛЬФРАМАТЫ

Название минерала	Вольфрамит
Химический состав	(Fe,Mn)[WO₄]
Разновидности	<i>Ферберит – Fe[WO₄] – темноокрашенный вольфрамит; Гюбнерит – Mn[WO₄] – светлоокрашенный вольфрамит</i>
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический, толстотаблитчатый, уплощенный
Морфология агрегатов	зернистые, сплошные массы
Цвет	от светло-бурого, оранжевого до темно-бурого, черного
Цвет черты	от светло-желтой до темно-бурой
Блеск	алмазный, зеркальный
Спайность	совершенная
Твердость	4,5-5,5
Удельный вес (г/см ³)	6,7-7,5
Диагн. признаки	буровато-черный цвет, высокий удельный вес, совершенная спайность в одном направлении, от сфалерита отличается вытянутой формой кристаллов, отсутствием реакции с HCl
Парагенезис	лимонитизированный кварц, шеелит
Генезис	гидротермальный высокотемпературный, грейзены
Применение	черная металлургия, в керамике для изготовления стекла и фарфора, вольфрам идет на изготовление нитей для электрических лампочек, антикатод в рентгеновских трубках



Рис. 74. Призматические кристаллы вольфрамита

ФОСФАТЫ

Название минерала	Апатит
Химический состав	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$
Разновидности	<i>Фосфориты – конкреционные формы скопления апатита, содержащие многочисленные включения песчинок посторонних минералов (кварца, кальцита)</i>
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	хорошо образованные кристаллы в виде шестигранных призм, иногда в виде короткостолбчатых или таблитчатых форм.
Морфология агрегатов	Зернистые, плотные, тонкокристаллические
Цвет	бесцветный, слабо-зеленый, синевато-зеленый, голубой
Цвет черты	белый
Блеск	жирноватый, на плоскостях спайности стеклянный
Спайность	несовершенная
Твердость	5,0
Удельный вес (г/см^3)	3,2
Диагн. признаки	узнается по голубовато-зеленому цвету, шестигранному призматическому облику, от берилла отличается более низкой твердостью
Минералы спутники	кальцит; нефелин, эгирин, сфен (магматич.)
Генезис	контактово-метасоматический, магматический, гидротермальный, пегматитовый, осадочный
Применение	источник удобрений, фосфорной кислоты, фосфора



Рис. 75. Призматические «обсосанные» кристаллы апатита, сахаровидный апатит

2.7.5.4. Класс 4. Карбонаты

Карбонаты – группа широко распространённых в природе минералов, являющихся солями угольной кислоты H_2CO_3 . Основной структуры карбонатов является плоский треугольник $[\text{CO}_3]^{2-}$, у которого углерод находится в тройной координации относительно атомов кислорода. Группы $[\text{CO}_3]^{2-}$ изолированы и соединяются через катионы или дополнительные анионы $(\text{OH})^-$, F^- , Cl^- . Иными словами, карбонаты представлены соединениями угольной кислоты с литофильными (Na, Ca, Mg, Sr, Ba, TR), а также с халькофильными (Zn, Cu, Pb, Bi) элементами. В состав карбонатов входят один или два главных катиона с добавочными анионами или без них. Плоские группы $[\text{CO}_3]^{2-}$ расположены либо в виде взаимопараллельных слоёв и цепочек, либо в ином симметричном порядке.

Большинство карбонатов кристаллизуется в тригональной, ромбической, реже в моноклинной сингониях. Карбонаты характеризуются твёрдостью от 3 до 5 по шкале Мооса, лёгкой растворимостью в соляной кислоте. Большинство из карбонатов бесцветны или слабоокрашены. Цвет яркоокрашенных карбонатных минералов зависит от присутствия ионов-хромофоров. Так, например, карбонаты меди – зелёные и синие, железа – бурые, марганца – розовые.

Условия образования карбонатов разнообразны: в осадочно-морских отложениях карбонаты кальция слагают огромные толщи известняков и доломитов (главным образом биогенного происхождения), в гидротермальных рудных месторождениях встречаются кальцит, сидерит, анкерит; в коре выветривания – магнезит, в метасоматических образованиях – магнезит, сидерит; в зоне окисления полиметаллических месторождений – малахит, азурит, смитсонит, церуссит. Магматогенным путём возникают карбонатиты, с которыми связаны месторождения апатита и редких земель. Многие карбонаты (например, малахит, сидерит, смитсонит, церуссит и др.) используются как руда на Cu, Zn, Pb, Bi, Ba, Sr, Fe, Mn, редкие земли и др. металлы, как сырьё для цементной и химической промышленности (доломит, магнезит) и как строительный материал (известняк, мрамор).

К группе кальцита относятся распространённые минералы: *кальцит, сидерит, магнезит, доломит, смитсонит*.

Все минералы группы кальцита кристаллизуются в дитригонально-скаленоэдрическом виде симметрии тригональной сингонии.

1) Среди минералов группы кальцита очень распространена способность к образованию изоморфных смесей. Это особенно касается Mg, Zn и Fe^{2+} , которые часто замещают друг друга. Непрерывный ряд изоморфных смесей образуют также карбонаты Fe^{2+} и Mn^{2+} .

2) Все минералы ряда кальцита бесцветны или сероватые и только изредка окрашены в различные светлые оттенки, главным образом за счёт примесей. Они имеют белую или бесцветную черту, стеклянный иногда перламутровый блеск.

3) Для этих минералов характерны совершенная спайность по ромбоэдру, невысокая твёрдость (от 3 до 5), хрупкость и сравнительно небольшая плотность (от 2,6 до 3,9).

4) Большинство из этих минералов образуется преимущественно в экзогенных условиях (в водных водоёмах и коре выветривания), значительно реже они встречаются как гидротермальные образования в сульфидных жилах.

В группу арагонита входит *арагонит* и *церуссит*.

К группе малахита относятся *малахит* и *азурит*.

Группа тригональных карбонатов (группа кальцита) объединяет следующие минералы: *кальцит*, *сидерит*, *магнезит*, *доломит*, *смитсонит*.

Кальцит обладает разнообразной цветовой палитрой, но в большинстве случаев это светлоокрашенная гамма. Часто яркая окраска *кальцита* вызвана механической примесью других окрашенных минералов и не является его собственным цветом. Облик кристаллов *кальцита* самый разнообразный (обладает исключительным, не имеющим равного в минеральном царстве, многообразия форм выделения) более 500 комбинаций простых форм. Наиболее часто встречаются скаленоэдрические кристаллы, реже таблитчатые, пластинчатые столбчатые, призматические, ромбоэдрические. Редко наблюдается жилковатый с шелковистым блеском асбестовидный кальцит (*атласный шпат*), волокна которого располагаются перпендикулярно стенкам трещин в породах. Широко известны натечные образования кальцита *сталактиты* и *сталагмиты*. Зернистые и сплошные агрегаты в больших плотных массах называют *мраморами*. Плотные скрытокристаллические разновидности кальцитовых пород, нередко слоистых и богатых фауной называют *известняками*. Рыхлые известняки, содержащие мельчайшие вкрапленники фораминифер, известны под названием *мела*. Встречаются также оолитовые известняки – *икряные камни*. *Известковым туфом* или *травертином* называют ноздреватые образования углекислого

кальция, возникающего в месте выхода как холодных, так и горячих насыщенных известью минеральных источников. *Кальцит* обладает совершенной спайностью по ромбоэдру и соответствует 3 в шкале твердости Мооса, его всегда можно посмотреть путем сравнительного анализа. *Кальцит* бурно реагирует на холоду с HCl с выделением углекислого газа. Аналогичной реакцией с HCl обладает *арAGONит*, являясь полиморфной модификацией кальцита. Однако, кристаллизуясь в ромбической сингонии для арагонита характерны вытянутые призматические кристаллы и двойники. Распространены также тройники псевдогексагонального облика (рис. 76), четверники и сложные полисинтетические двойники. При этом обычно образуются между гранями призм входящие углы в виде желобков (рис. 76). Не сдвойникованные кристаллы редки. Спайность по ромбоэдру отсутствует.

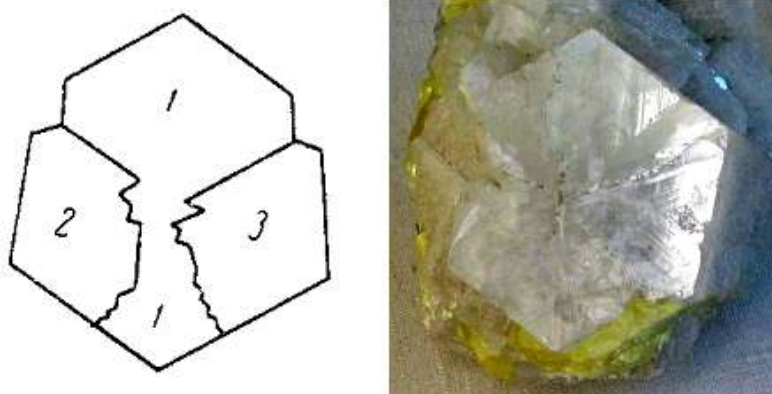


Рис. 76. Границы срастаний индивидов арагонита в поперечном срезе

Сидерит (железный шпат) проявляет все признаки карбонатов группы кальцита. Главной отличительной особенностью *сидерита* является его буро-желтая окраска за счет вхождения в состав минерала железа и незначительно больший удельный вес (3,9). С этим фактом связано еще одно название сидерита – *гороховый камень*. Реакция на холоду с HCl не идет, минерал реагирует только с горячей HCl, слабая реакция идет в порошке, после воздействия HCl остается незначительное зеленоватое пятнышко.

Магнезит представлен двумя разновидностями, визуально значительно отличающимися друг от друга: *кристаллической* и *аморфной*. *Кристаллический магнезит* обладает пестрой, серо-белой, «рябчиковой» окраской. *Аморфный магнезит*, как правило, образуется в коре выветривания магнезиальных минералов и представлен колломорфными сыпучими мелоподобными агрегатами белого цвета. Реакция с HCl такая же, как у сидерита, очень слабая в

порошке. *Доломит* в отличие от *кальцита* на холоду с HCl бурно не реагирует, реакция идет только в порошке. Для проведения правильной диагностики необходимо сначала капнуть HCl на образец, а затем перевести в порошок, пронаблюдая при этом появление реакции. За счет одновременного вхождения в состав минерала Ca и Mg происходит незначительная деформация кристаллической решетки минерала, что выражается в появлении седловидно-прогнутых кристаллов и искаженных форм (рис.).

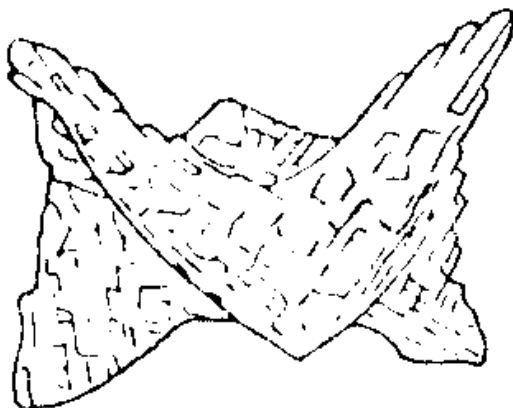


Рис. 77. Форма кристаллов доломита с седлообразно-прогнутыми гранями

Смитсонит (*цинковый шпат*) обладает наибольшей твердостью (5) и удельным весом (4,1-4,2) из всей группы тригональных карбонатов, весьма специфичными коркообразными, плотными скрытокристаллическими агрегатами и зеленовато-голубой окраской. Группа *арагонита* помимо самого *арагонита* включает еще один минерал *церуссит* (скрипун). *Церуссит* обладает повышенной хрупкостью и при раздавливании издает характерный скрип, за что и получил второе название – «скрипун». Образует мелкие прозрачные игольчатые, вытянутые кристаллики, находящиеся в парагенезисе с растворенным *галенитом* и *англезитом* ($PbSO_4$) в зоне окисления свинцово-цинковых месторождений. Иногда в литературе можно встретить еще одно название этого минерала – белая свинцовая руда. Группа *малахита* объединяет два моноклинных карбоната: *малахит* и *азурит*. За счет яркого элемента-хромофора (Cu), данная группа характеризуется яркими цветами. *Азурит* при вхождении в его состав трех молекул меди обладает более насыщенным индигово-синим цветом, *малахит* менее насыщенным – травяно-зеленым. Оба карбоната реагируют с HCl. Часто ассоциируют совместно в зоне окисления медных месторождений, образуя налеты, присыпки, примазки.

КАРБОНАТЫ
(группа кальцита)

Название минерала	Кальцит
Химический состав	Ca[CO₃]
Разновидности	<i>Исландский шпат</i> – прозрачные кристаллы кальцита
Сингония	Тригональная
Облик кристаллов	Ромбоэдрический, скаленоэдрический, таблитчатый, пластинчатый, столбчатый.
Морфология агрегатов	Крупнозернистые, натечные, рыхлые, ноздреватые, сталактиты, сталагмиты
Цвет	Бесцветный, белый, серый, желтоватый, красноватый, бурый, черный
Цвет черты	Белый
Блеск	Стеклянный
Спайность	Совершенная по ромбоэдру
Твердость	3,0, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	2,7
Диагн. признаки	Низкая твердость, совершенная спайность по ромбоэдру, бурная реакция с HCl
Парагенезис	разнообразный
Генезис	Контактово-метасоматический, гидротермальный, карбонатиты, осадочный
Применение	Исландский шпат – используется для изготовления различных оптических приборов; химическая, и строительная промышленность, поделочный камень



Рис. 78. Морфологический облик кристаллов кальцита

КАРБОНАТЫ
(группа кальцита)

Название минерала	Сидерит (<i>железный шпат</i>)
Химический состав	Fe[CO₃]
Разновидности	<i>Сферосидерит</i> – шаровидные конкреции со скрытокристаллическим или радиально-лучистым строением
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	ромбоэдрический
Морфология агрегатов	кристаллически-зернистые, шаровидные, землистые, оолитовые
Цвет	желтовато-белый, сероватый, иногда с бурым оттенком. При выветривании интенсивно буреет, покрываясь лимонитом
Цвет черты	белый
Блеск	стеклянный, алмазный блеск на гранях
Спайность	совершенная по ромбоэдру
Твердость	3,5-4,5, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	3,9
Диагн. признаки	с HCl на холоду реагирует очень медленно
Минералы спутники	магнетит, гематит и др. сульфиды железа (пирротин, халькопирит), пеннин
Генезис	гидротермальный
Применение	Источник железных руд



Рис. 79. Ромбоэдрические кристаллы сидерита и сферосидерит

КАРБОНАТЫ
(группа кальцита)

Название минерала	Магнезит (магнезиальный шпат)
Химический состав	Mg[CO₃]
Разновидности	<i>Кристаллический</i> – зернистые агрегаты магнезита “рябчиковой” или “бурундучной” окраски; <i>Аморфный</i> – белые, фарфоровидные, скрытокристаллические массы, нередко напоминающие по форме цветную капусту
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	ромбоэдрический
Морфология агрегатов	крупнозернистые, натечные
Цвет	пестрый: серо-белый (кристаллический), белый с желтоватым или сероватым оттенком
Цвет черты	белый
Блеск	стеклянный, в скрытокристаллических агрегатах - восковый
Спайность	совершенная по ромбоэдру
Твердость	4,0-4,5, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	2,9-3,1
Диагн. признаки	пестрая окраска, в HCl разлагается лишь при нагревании
Парагенезис	часто мономинерален, доломит и др.
Генезис	выветривание ультраосновных пород, гидротермальный
Применение	изготовление огнеупорных кирпичей, цемента, электроизоляторов



Рис. 80. Кристаллическая и аморфная разновидности магнезита

КАРБОНАТЫ
(группа кальцита)

Название минерала	Доломит
Химический состав	CaMg[CO₃]₂
Разновидности	
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	ромбоэдрический с седлообразно изогнутыми гранями
Морфология агрегатов	кристаллически-зернистые, часто пористые, реже почковидные, ячеистые, шаровидные
Цвет	серовато-белый, иногда с желтоватым, буроватым, зеленоватым оттенком
Цвет черты	белый
Блеск	стеклянный
Спайность	совершенная по ромбоэдру
Твердость	3,5-4,0, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	1,8-2,9
Диагн. признаки	в HCl разлагается в порошке, на холоду очень медленно
Минералы спутники	магнезит, кальцит, сульфиды, кварц и др. минералы
Генезис	выветривание ультраосновных пород, гидротермальный
Применение	в качестве строительного камня, для изготовления вяжущих веществ, термоизоляционного материала в смеси с асбестом, в качестве огнеупорного материала и флюса в металлургии, в химической и ряде других отраслей промышленности



Рис. 81. Кристаллы доломита

КАРБОНАТЫ
(группа кальцита)

Название минерала	Смитсонит (<i>цинковый шпат</i>)
Химический состав	Zn[CO₃]
Разновидности	
Сингония	Тригональная
Облик кристаллов	ромбоэдрический
Морфология агрегатов	обычно наблюдаются в землистых или плотных скрытокристаллических агрегатах, часто в сферолитовых формах в виде корок, а также скорлуповатых ячеистых и пористых масс
Цвет	белый с зеленоватым, буроватым, сероватым оттенком
Цвет черты	белый
Блеск	стеклянный сильный
Спайность	совершенная по ромбоэдру, заметна лишь в явнокристаллических агрегатах
Твердость	5,0, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	4,1-4,2
Диагн. признаки	в HCl на холоду растворяется медленно
Минералы спутники	опал, галенит, сфалерит, кальцит, доломит
Генезис	зона окисления свинцово-цинковых месторождений
Применение	источник цинка



Рис. 82. Натечная и кристаллическая форма кристаллов смитсонита

КАРБОНАТЫ
(группа арагонита)

Название минерала	Арагонит
Химический состав	Ca[CO₃]
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	призматический, псевдогексагональный, игольчатый
Морфология агрегатов	шестоватые, радиально-лучистые, звездчатые срастания индивидов, натечные
Цвет	белый, желтовато-белый, светло-зеленый, бесцветный
Цвет черты	белый
Блеск	стеклянный, сильный
Спайность	
Твердость	3,5-4,0, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	2,9-3,0
Диагн. признаки	с HCl бурно реагирует на холоду, но отличается от кальцита отсутствием спайности по ромбоэдру и обликом кристаллов с желобками на гранях призм
Минералы спутники	сера, гипс, гетит, лимонит
Генезис	низкотемпературный гидротермальный, экзогенный
Применение	



Рис. 83. Сталагмиты арагонита

КАРБОНАТЫ
(группа арагонита)

Название минерала	Церуссит (“скрипун”)
Химический состав	Pb [CO₃]
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	призматический, псевдогексагональный, игольчатый
Морфология агрегатов	шестоватые, радиально-лучистые, звездчатые сростания индивидов, натечные, двойники и тройники весьма часты
Цвет	белый, с сероватым, желтоватым или буроватым оттенком
Цвет черты	белый
Блеск	алмазный, иногда стеклянный
Спайность	совершенная по ромбоэдру, заметна лишь в явнокристаллических агрегатах
Твердость	3,0-3,5, весьма хрупок
Удельный вес (г/см ³)	6,5
Диагн. признаки	высокий удельный вес, алмазный блеск, повышенная хрупкость, парагенезис с галенитом, англезитом и лимонитом, при разрушении издает скрип
Минералы спутники	галенит, англезит, лимонит
Генезис	зоны окисления свинцово-цинковых сульфидных месторождений
Применение	важная свинцовая руда



Рис. 84. Призматические сростки кристаллов церуссита

КАРБОНАТЫ
(группа малахита)

Название минерала	Малахит (<i>“мальва” - растение</i>)
Химический состав	$\text{Cu}_2 [\text{CO}]_3[\text{OH}]_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический, псевдогексагональный, игольчатый
Морфология агрегатов	массы почковидной формы с радиально-лучистым волокнистым, концентрически-зональным строением, землистые массы
Цвет	зеленый
Цвет черты	бледно-зеленая
Блеск	стеклянный до алмазного, у волокнистых разновидностей шелковистый
Спайность	совершенная, средняя
Твердость	3,5-4,0, хрупок
Удельный вес (г/см^3)	3,9-4,0
Диагн. признаки	узнается по характерному зеленому цвету, колломорфным формам и радиально-лучистому строению, взаимодействию с HCl
Минералы спутники	кальцит, халькопирит, халькозин, куприт, самородная медь
Генезис	зоны окисления медных сульфидных месторождений
Применение	поделочный камень, руда меди, изготовление красок



Рис. 85. Почковидные с радиально-лучистым строением агрегаты малахита

КАРБОНАТЫ
(группа малахита)

Название минерала	Азурит (“ <i>azur</i> ” - лазурный), <i>медная лазурь</i>
Химический состав	$\text{Cu}_3 [\text{CO}_3]_2 [\text{OH}]_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	столбчатый, призматический, толстотаблитчатый, игольчатый
Морфология агрегатов	сплошные зернистые массы, иногда радиально-лучистые агрегаты и в землистом состоянии
Цвет	индигово-синий, темно-синий, голубой
Цвет черты	голубая
Блеск	стеклянный
Спайность	различная в различных направлениях (совершенная, несовершенная)
Твердость	3,5-4,0, хрупок
Удельный вес (г/см^3)	3,8
Диагн. признаки	узнается по характерному синему цвету, парагенезису с малахитом, реакции с HCl
Минералы спутники	малахит, кальцит, халькопирит, халькозин, куприт, самородная медь
Генезис	зоны окисления медных сульфидных месторождений
Применение	руда меди, изготовление синей краски



Рис. 86. Землистые агрегаты азурита с радиальнолучистым строением

2.7.5.5. Класс 5. Силикаты

Силикаты относятся к наиболее распространенному классу минералов. По химическому составу они представляют собой соли различных кремниевых кислот (H_4SiO_4 , $\text{H}_4\text{Si}_2\text{O}_6$...). На долю силикатов приходится 1/3 всех известных минералов, учитывая тот факт, что земная кора на глубину 16 км на 85% состоит из силикатов (по В.И. Вернадскому). В качестве катионов в составе силикатов принимают участие следующие химические элементы: К, Na, Са, Mg, Ti, Al, Mn, Fe, Li, Zr, TR, Li, Be (2 и 3^й периоды таблицы Менделеева). Силикаты отличаются сложностью и непостоянством химического состава, определяющего повышенную способность к образованию изоморфных смесей. Связи кремния с кислородом смешанные ионно-ковалентные, с разной степенью ионности в минералах разной структуры и с разными катионами. В основе структуры силикатов лежит кремнекислородный тетраэдр (ККТ) $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Кремнекислородные тетраэдры могут быть одиночными, соединяясь в общей структуре минерала через катион, могут и полимеризоваться, образуя различные анионные группировки. Характеры комплексных анионных радикалов, определяют все разнообразие минеральных соединений силикатов и алюмосиликатов. В основу систематики силикатов положена структура. Класс силикатов разделен на подклассы с учетом степени полимеризации кремнекислородных тетраэдров (ККТ) (рис. 87).

Таким образом, выделяют следующие подклассы:

1) Силикаты с изолированными тетраэдрами или с изолированными группами тетраэдров (островные силикаты) $[\text{SiO}_4]^{4-}$, $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$. Островные силикаты образуются даже в стесненных условиях роста в виде хороших кристаллов. Это объясняется их большой силой кристаллизации, что обусловлено относительной компактностью и простотой структур этих силикатов, многозарядностью анионных комплексов и значительной силой связей катионов, входящих в их состав. Однако, при этом за счет островной структуры силикаты с изолированными ККТ обладают повышенной хрупкостью (оливин), но высокой твердостью и средним удельным весом. Форма минералов близкая к изометричной. Как правило, минералы этой группы бесцветны, либо слабо окрашены, интенсивная окраска отмечается у разновидностей, содержащих элементы-хромофоры (Fe, Mn, Ti, Cr). Островные силикаты, которые необходимо изучить в рамках данного курса следующие: *оливин, циркон, топаз, дистен, ставролит, сфен, эпидот, гранаты.*

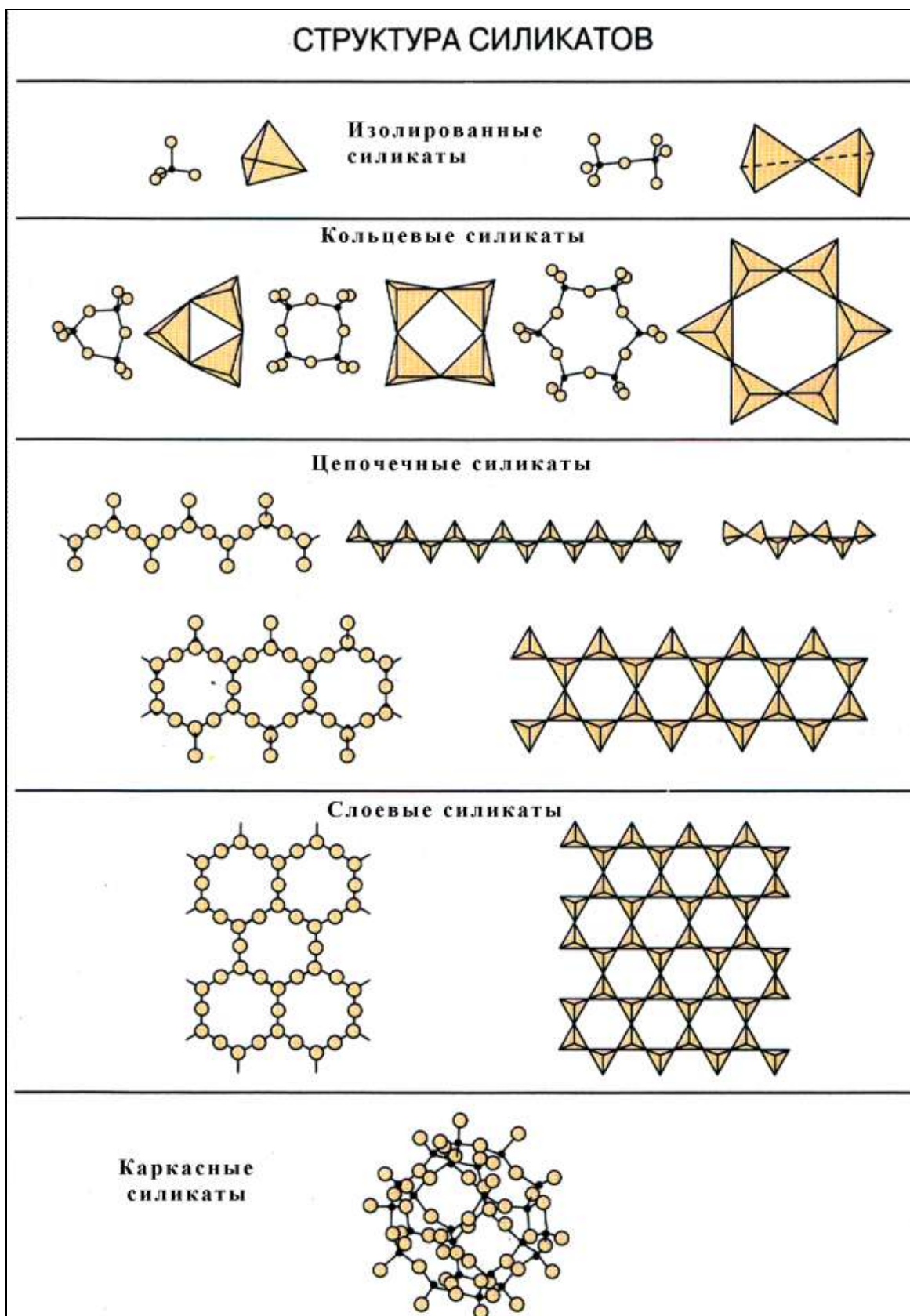


Рис. 87. Классификация силикатов по структурному признаку

Особенности образования изолированных силикатов различны.

2) Силикаты с плоскими кольцами тетраэдров (кольцевые силикаты). Кристаллические решетки содержат связанные в кольца кремнекислородные тетраэдры. Минералы этого подкласса характеризуются комплексными анионами $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ и $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$. К этому подклассу среди прочих относятся минералы групп берилла, турмалина $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ и пироксеноиды (воластонит, родонит) $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$.

3) Силикаты с бесконечными цепочками кремнекислородных тетраэдров (цепочечные силикаты) $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$ (пироксены). К этому подклассу относят ромбические пироксены (Rpy): энстатит, бронзит, гиперстен и моноклинные пироксены (Mpy): диопсид, геденбергит, эгирин, сподумен.

4) Силикаты с бесконечными лентами кремнекислородных тетраэдров (ленточные силикаты) $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$ (амфиболы). Среди прочих минералов к этому подклассу относятся: тремолит, актинолит, роговая обманка, арфведсонит, глаукофан.

Пироксены и амфиболы, имеют ряд общих черт:

- аналогичный облик кристаллов (вытянутые в одном направлении);

- совершенная спайность по удлинению (по призме);

- близкие удельные веса;

- одинаковая твердость;

- одинаковые главные катионы Mg^{2+} , Fe^{2+} , (Mn), Ca^{2+} , Na^{1+} , (K), Li^{1+} , Al^{3+} , (Cr), Ti^{4+}

Различия:

- в кристаллических структурах радикалы пироксенов представлены одинарными цепочками ККТ, радикалы амфиболов – двойными. Это свойство находит отражение в облике кристаллов двух сравниваемых групп: преобладание короткопризматических, таблитчатых кристаллов у пироксенов и сильно-вытянутых до волокнистых у амфиболов.

- Различие в углах призматической спайности

(87° у пироксенов и 124° у амфиболов), спайность у амфиболов более ярко-выражена. Поперечные срезы: квадрат (у пироксенов) и ромб (у амфиболов) соответственно.

- Наличие отдельности у пироксенов и шелковистого отлива у амфиболов.

- Обязательное наличие в амфиболах конституционной воды в виде гидроксильной группы $(\text{OH})^-$.

5) Силикаты со слоями (листами) кремнекислородных тетраэдров (слоевые или листовые силикаты).

Тип кристаллической структуры слоевых силикатов геометрически может быть выведен из структуры амфиболов подобно тому, как структура тремолита легко выводится из структуры диопсида путем трансформации цепочек $[\text{Si}_2\text{O}_6]$ в ленты $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$. Если процесс трансформации (конденсации) продолжить, появятся двухмерные слои $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$. К этому подклассу относятся минералы со слоистой структурой, представленной псевдогексагональными сетками: *мусковит, биотит, флогопит, лепидолит (группа слюд), пеннин (гр. хлоритов), тальк, серпентин, каолинит*. Остовом структуры слоистых силикатов являются сетки кремнекислородных тетраэдров. Они располагаются параллельно друг другу и чередуются с плоскими сетками другого состава, образуя пакеты слоёв. Все слоистые силикаты и алюмосиликаты имеют свои структурные разновидности за счет разного смещения (сдвига) и разворота пакетов друг относительно друга, что легко осуществляется в природе из-за малых сил связей между пакетами.

б) Силикаты с трехмерными каркасами тетраэдров (каркасные алюмосиликаты). Структура представляет собой объемный (трехмерный) каркас, в строении которого наряду с кремнекислородным тетраэдром $[\text{SiO}_4]^{4-}$ принимает участие алюмокислородный тетраэдр $[\text{AlO}_4]^{5-}$. Поэтому данный подкласс принято называть каркасными алюмосиликатами. Анионная группа $[(\text{Si},\text{Al})_n\text{O}_{2n}]$. Соединения этого подкласса – широко распространенные и важные порообразующие минералы. Химически это почти исключительно алюмосиликаты (тетраэдры AlO_4), при этом число ионов Si, замещенных ионами Al не превышает половины. Минералы этого подкласса объединены в несколько групп: *полевые шпаты* и *фельдшпатиды*. Полевые шпаты в свою очередь делятся на *плаггиоклазы (альбит, лабрадор)* и *КПШ (ортоклаз, микроклин)*; фельдшпатиды представлены *нефелином*.

1) Островные силикаты представлены следующими минералами: *оливин, циркон, сфен, дистен, топаз, ставролит, эпидот, гранаты*.

Особенности образования изолированных силикатов различны.

К минералам высоких Т и Р (магматические горные породы) относятся: *оливин* в качестве порообразующего минерала (ультраосновные магматические породы), *циркон, сфен, некоторые гранаты* как акцессории (редкие минералы, слагающие до 10% от общего объема пород) (основные, средние и кислые породы), *топаз* (гранитные пегматиты). К минералам, которые образуются преимущественно, метаморфическим путем относятся: *гранаты*

алюминиевого ряда, ставролит, дистен, эпидот (регионально-метаморфизованные породы). Контактново-метасоматическим путем образуются гранаты кальциевого ряда (*гроссуляр, андрадит*), эпидот (скарны); *топаз* (грейзены).

Рассмотрим каждый минерал отдельно, подчеркнув их диагностические признаки. Возможно, не случайно изучение островных силикатов начинается с *оливина*, наиболее раннего магматического минерала, который самым первым фракционируется из магмы. Отсюда вытекает ряд его отличительных и характерных особенностей парагенезиса. *Оливин* не встречается с *кварцем* и другими светлоокрашенными поздними минералами, такими как *калиевые полевые шпаты, слюды* и прочие. Напротив, он находится в ассоциации с темноокрашенными ранними магматическими *хромитпинелидами*, ромбическими и моноклинными *пироксенами, основными плагиоклазами*. Цвет *оливина* бутылочно-зеленый, он прозрачен, спайность отсутствует, часто внешним видом напоминает «битое стекло». Твердость *оливина* высокая (6,5-7,5), от других зеленых минералов (*диопсида, эпидота*) отличается округлой короткопризматической формой кристаллов, раковистым изломом, прозрачностью, отсутствием спайности, характерным парагенезисом. От зеленых гранатов (*гроссуляра, демантоида*) отличается отсутствием характерной для гранатов зональности и штриховки, специфичной раннемагматической ассоциацией.

Циркон, будучи минералом аксессуарным (слагает до 1% от объема пород) образует небольшие идиоморфные кристаллы с правильными очертаниями пирамидального габитуса (рис. 88).

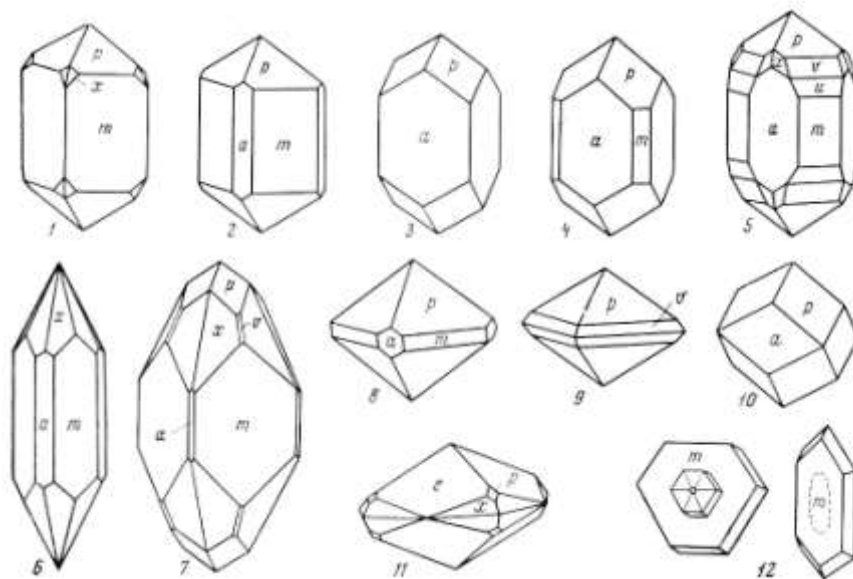


Рис. 88. Морфология кристаллов циркона

Цвет *циркона* разнообразный, но преимущественно в образцах, предоставляемых кафедрой, варьирует от медово-желтого до темно-бурого. Высокая твердость этого минерала (7,5) и квадратное сечение (тетрагональная сингония) позволяют отличать его от схожего медово-желтого *сфена* с меньшей твердостью (5,5) и ромбовидным сечением (моноклинная сингония). От бурых гранатов андрадитового ряда отличается формой кристаллов, отсутствием зональности, меньшей размерностью и иным парагенезисом. *Циркон* часто ассоциируют с *альбитом*, КПШ (калиевым полевым шпатом), *лепидомеланом* (слюда повышенной железистости) и т.д.

Сфен (титанит) является типичным акцессорным минералом щелочных пород. Однако, так как кларки элементов, которые входят в состав *сфена* выше, чем у того же *циркона*, соответственно *сфен* способен образовывать более крупные кристаллы нежели *циркон*. *Сфен* обладает сильным алмазным блеском, медово-желтым цветом и характерными конвертообразными кристаллами (рис. 89). Если *сфен* выступает в качестве акцессорного минерала щелочного генезиса, то спутниками его являются такие минералы как *нефелин*, *эгирин*, *апатит*, *альбит*, КПШ. Встречаясь также в скарновом процессе, *сфен* охотно ассоциирует с гранатами кальциевого ряда (*гроссуляром-андрадитом*), *эпидотом*, *кальцитом*, *диопсидом* и др.

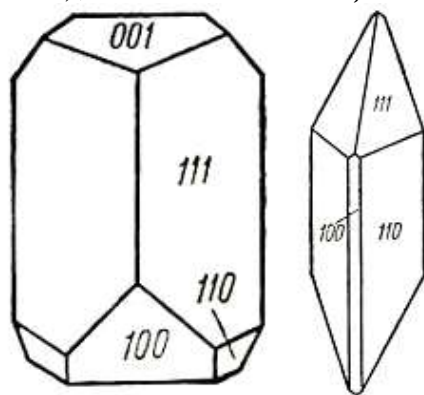


Рис. 89. Конвертообразная форма кристаллов *сфена*

Дистен получил свое название не случайно, так как имеет несколько направлений твердости или сопротивлений внешнему механическому воздействию. Дословно разобрав название минерала по буквам мы получаем, что “ди” – в переводе означает два, “стен” – сопротивление. То есть минерал, обладающий двойным сопротивлением. Однако, такая трактовка механических свойств минерала не совсем верна, поскольку *дистен* кристаллизуется в триклинной сингонии низшей категории и имеет три различных направления твердости. Форма кристаллов *дистена* уплощенная,

дошатая, что отражает комбинацию нескольких пинакоидов (рис. 90). По каждому пинакоиду *дистен* имеет различные относительные величины твердости по первому – 4,5, по второму 6,5, по третьему – 7,5.

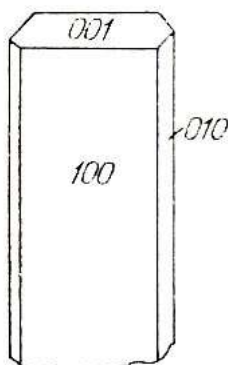


Рис. 90. Уплющенная (дошатая) форма кристаллов *дистена*

Цвет *дистена* голубовато-серый, синий, неоднородный: от глубокого интенсивного синего до светлого. Данный минерал имеет метаморфическое происхождение, встречается такое явление, что кристаллы смяты, деформированы, изогнуты. По цвету иногда напоминает *корунд*, от которого принципиально отличается по твердости и по форме кристаллов.

Топаз встречается в коллекции самостоятельных задач не часто, еще реже его можно встретить в учебной коллекции. Однако в природе он образует довольно крупные кристаллы, которые применяют и в ювелирном производстве и как коллекционное сырье. Цвет топаза разнообразный от бесцветного до винного, чайного, голубого. Окраска этого минерала аллохроматическая (связана с дырочными структурными дефектами), что обуславливает ее неустойчивость. Конечно, большинство топазов, использующихся для ювелирных целей, подвергаются облагораживанию, что делает его цвет более насыщенным и неизменным. *Топаз*, в отличие от похожего на него *кварца* обладает рядом отличий: более высоким удельным весом и твердостью, совершенной спайностью, продольной, а не поперечной (у *кварца*) штриховкой.

Название минерала *ставролит* возникло благодаря его способности образовывать крестообразные сростки (двойники прорастания). «*Ставрос*» в переводе с *греч.* означает крест. Цвет минерала за счет вхождения в состав примеси железа преимущественно темный: от темно-бурого до черного. Существует несколько форм проявлений этого минерала, зачастую на первый взгляд не похожих друг на друга. В образцах учебной коллекции ТПУ *ставролит* представлен в виде мелких черных удлиненных

кристаллов длиной от 5-10 мм, и достаточно крупными хорошо оформленными сростками бурого цвета достигающих 10 см в длину. В парагенезисе со *ставролитом* встречаются типично метаморфические минералы: *дистен*, *слюды*, гранаты алюминиевого ряда (чаще *альмандин*). Твердость *ставролита* высокая (7,5). От других минералов с аналогичной твердостью (гранатов, например) следует отличать по форме кристаллов.

Эпидот является весьма легко запоминаемым минералом по ряду своих характерных признаков: фисташково-зеленому цвету, призматической форме кристаллов (рис. 91), совершенной спайности в одном направлении по второму пинакоиду, парагенезису с кальциевыми минералами в скарновом процессе, и тесной ассоциацией с *кварцем* в гидротермальном процессе. От немного похожего на него по цвету и призматическому габитусу *диопсида*, отличается большей твердостью (6,5) и сильным стеклянным блеском. К тому же цвет *диопсида* грязно-зеленый, зеленовато-серый, и призмы более короткостолбчатые, спайность у диопсида проявлена хуже, зато может наблюдаться отдельность, не характерная для эпидота.

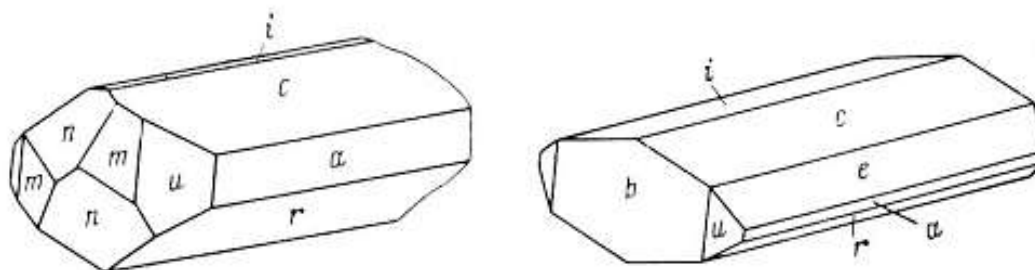


Рис. 91. Призматическая (вытянутая) форма кристаллов эпидота

В некоторых случаях *эпидот* можно спутать с гранатами кальциевого ряда (*гроссуляром*, *демантоидом*) за счет зеленого цвета, высокой твердости, белой черты. Задачи диагностики *эпидота* облегчаются при нахождении хотя бы одного зерна в виде хорошо образованного кристалла призматического облика, в отличие от изометричных гранатов. Но как быть, если эпидот слагает зернистые массы? В данном случае, стоит хорошо знать диагностические признаки не только эпидота, но и гранатов, для которых характерна специфичная ростовая зональность, штриховка, более высокая твердость (7,5) нежели у эпидота, изометричный габитус кристаллов.

Гранаты представляют собой довольно обширную группу минералов, которая имеет ряд общих и отличных признаков. К общим признакам следует относить изометричный облик кристаллов

с преобладанием форм ромбододекаэдра и тетрагонтриоктаэдра (иногда их комбинаций), штриховку и ростовую зональность на гранях (рис. 92), высокую твердость (6,5-7,5), отсутствие спайности и черты.

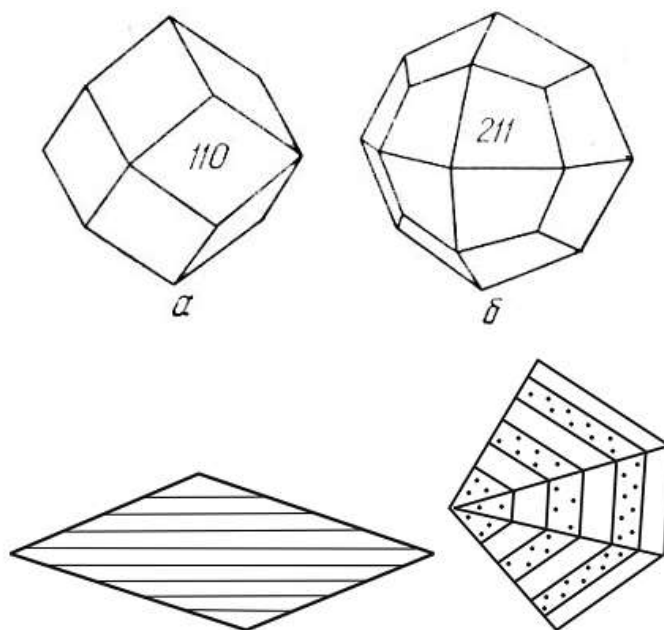


Рис. 92. Преобладающие формы кристаллов граната: а) ромбододекаэдр; б) тетрагонтриоктаэдр; штриховка и зоны роста на гранях кристаллов

Общую формулу гранатов следует записать, как $A^{2+}_3B^{3+}_2[SiO_4]^{4-}_3$, при этом они делятся на два изоморфных ряда: *алюминиевый* (пиральспитовый) и *кальциевый* (угрондитовый). Состав гранатов *алюминиевого* ряда можно выразить одной общей формулой $(Fe, Mn, Mg)_2Al_3[SiO_4]_3$, аналогично *кальциевому*, состав которого $Ca_3(Al, Fe, Cr)_2[SiO_4]_3$. Как успел заметить читатель, названные ряды соответствуют неизменному компоненту в формулах. А второе название рядов отвечает первым буквам минералов в пределах каждого ряда. Так к гранатам *алюминиевого* ряда (*пиральспитам*) относятся: *пироп* (Mg), *альмандин* (Fe), *спессартин* (Mn); к гранатам *кальциевого* ряда (*угрондитам*): *уваровит* (Cr), *гроссуляр* (Al), *андрадит* (Fe). Одним из наиболее простых отличительных признаков каждого отдельного минерала группы гранатов, является его цвет, однако для установления верной принадлежности к тому или иному минералу нужно знать точное содержание компонентов, что не предоставляется возможным в пределах нашего курса. Для этого проводятся специальные анализы

вещественного состава, что не входит в задачи данного практического курса, поэтому давать название этим минералам мы будем по косвенным признакам (парагенетической ассоциации, агрегатам, окраске). Общие признаки гранатов, с помощью которых эти минералы диагностируются от других, были перечислены выше, а вот как различать их между собой?

Для каждого изоморфного ряда существует ряд отличных особенностей. К примеру, гранаты *кальциевого* ряда могут образовывать как сплошные массы, так и отдельные вкрапленники, в то время как гранаты *алюминиевого* ряда склонны к образованию исключительно отдельных вкрапленников. Цвета гранатов *кальциевого* ряда варьируют в теплых зеленовато-бурых тонах до черного (*шорломит* – черная Ti-содержащая разновидность андрадита). Исключение составляет *уваровит* – изумрудно-зеленого цвета. При этом, *уваровит* имеет и специфический генезис, а также мелкие в виде «щеточек» формы кристаллов. Генезис играет очень важное значение, при диагностике гранатов между собой, дальше Вы в этом убедитесь на практике. Гранаты же *алюминиевого* ряда, как правило, характеризуются холодными красными оттенками. Аналогично *уваровиту*, *пироп* выбивается из общего изоморфного ряда, образуясь в условиях специфического более раннего магматического генезиса. В учебной коллекции кафедры подавляющее большинство гранатов *кальциевого* ряда представлено *гроссуляром* (зеленый цвет) и *андрадитом* (бурый цвет) или их смешанными разновидностями, иногда *шорломитом* (черный цвет). Гранаты *кальциевого* ряда являются типичными минералами кальциевых скарнов, соответственно находятся в парагенезисе с кальциевыми силикатами (*диопсидом*, *сфеном*, *роговой обманкой*, *геденбергитом*, *волластонитом* и др.), *кальцитом*, *сульфидами*. Большая часть гранатов *алюминиевого* ряда представлена *альмандином*, преимущественно распространенным в метаморфических образованиях в парагенезисе со слюдой, *дистеном*, *ставролитом*, *кварцем* и т.д. В породах метаморфического генезиса, главным формирующим фактором является давление, о чем свидетельствует их направленное ориентированное строение, полосчатость, зачастую пластичная деформированность, и проявляется как изогнутость основного рисунка. *Спессартин* характерен для пегматитовых жил, что объясняется накоплением Mn к концу магматического процесса и концентрацией его в остаточном пегматитовом растворе. В парагенезисе с ним находятся типичные минералы пегматитов: *квари*, *КПШ*, *слюда*, *полихромный турмалин*.

2) Кольцевые силикаты с радикалом $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ представлены: бериллом и турмалином.

В кольцевых силикатах кремнекислородные тетраэдры выстраиваются в замкнутое кольцо, в вершинах которых располагаются атомы Si (рис. 87). Кристаллическая структура отражается на внешнем габитусе кристаллов, как берилла, так и турмалина. В поперечном сечении берилла располагается гексагон, у турмалина, кристаллизующегося в тригональной сингонии соответственно – дитригон (сферический треугольник). Головки кристаллов турмалина часто хорошо оформлены и отражают комбинации простых форм тригональной сингонии (рис. 93). Твердость турмалина и берилла высокая (7,5-8), кристаллы хорошо образованные, объемные, вытянутые вдоль единичной оси высшего порядка. Цвет берилла может быть самым разнообразным, однако, в коллекционных образцах кафедры преобладает зеленовато-желтый, голубовато-зеленый, светло-зеленый. Разновидность насыщенно-зеленого цвета (Cr^{3+}) называется изумруд, голубая разновидность – аквамарин.

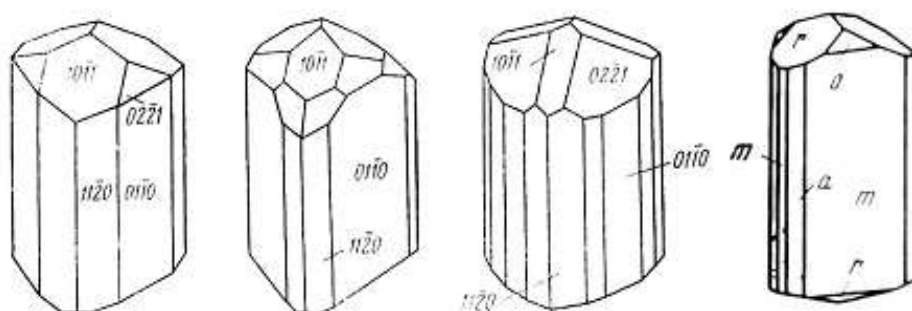


Рис. 93. Форма кристаллов турмалина

Турмалин еще более разнообразен по цвету за счет сложности своего химического состава. Вид турмалина черного цвета называется шерл. Шерл можно отличить от других черных минералов по объемному поперечному сечению в виде сферического треугольника, грубой продольной штриховке, высокой твердости, отсутствию спайности, отсутствию черты (иногда слабая серовато-синяя). Схожая по вытянутой форме кристаллов роговая обманка имеет более низкую твердость (5,5), в поперечном сечении ромб, спайность в нескольких направлениях, шелковистый отлив. Вытянутые кристаллы эгирина неопытный глаз студента тоже может поспешно принять за турмалин, однако, зеленая черта, более низкая твердостью (5,5), спайность в нескольких направлениях под углом близким к 90° , отдельность и щелочной генезис, позволяют при тщательном анализе отличить эти минералы друг от друга.

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Оливин
Химический состав	(Mg,Fe)₂[SiO₄] Форстерит (Mg)₂[SiO₄], Фаялит (Fe)₂[SiO₄]
Разновидности	<i>Хризолит</i> – прозрачная оливково-желтая разновидность оливина
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	кристаллы изометричного, призматического, уплощенного облика редки
Морфология агрегатов	зернистые, вкрапленники зерен
Цвет	бутылочно-зеленый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный
Спайность	несовершенная
Твердость	6,5-7, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	3,3
Диагн. признаки	округлые прозрачно-зеленые вкрапленники кристаллов в темноокрашенных у/о породах
Парагенезис	серпентин, пироксены, хромшпинелиды
Генезис	магматический, карбонатиты, контактово-метасоматический (форстерит).
Применение	огнеупорное сырье, хризолит в ювелирном деле



Рис. 94. Изометричная (короткостолбчатая) форма кристаллов оливина

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Циркон
Химический состав	Zr[SiO₄]
Разновидности	
Сингония	тетрагональная
Облик кристаллов	короткостолбчатый, изометричный, реже дипирамидальный
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов
Цвет	бесцветный, коричневый, желтый, оранжевый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	алмазный, в изломе жирный
Спайность	средняя
Твердость	7,5-8
Удельный вес (г/см ³)	4,7
Диагн. признаки	рутил (отл. формой кристаллов, твердостью), сфен (отл. формой кристаллов, твердостью, блеском)
Парагенезис	альбит, КПШ, нефелин, апатит, черная слюда
Генезис	щелочные и гранитные пегматиты
Применение	огнеупорное сырье, извлечение циркония, гафния



Рис. 95. Идиоморфные кристаллы циркона

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Топаз
Химический состав	$Al_2[SiO_4](F,OH)_2$
Разновидности	
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	призматический
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов
Цвет	бесцветный, водяно-прозрачный, желтый, голубой, розовый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	сильный стеклянный
Спайность	совершенная
Твердость	8
Удельный вес (г/см ³)	3,5
Диагн. признаки	кварц (отл. формой кристаллов, спайностью, штриховкой), берилл (отл. поперечным сечением, спайностью)
Минералы спутники	кварц, турмалин, флюорит, берилл, касситерит, вольфрамит, сульфиды
Генезис	пегматиты, грейзены, гидротермальные ↑t
Применение	ювелирное дело



Рис. 96. Короткостолбчатые призматические прозрачные кристаллы топаза

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Сфен (<i>титанит</i>)
Химический состав	CaTiO[SiO₄]
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	конвертообразные призмы, имеющие в разрезе клиновидную форму
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов
Цвет	медово-желтый, бурый различных оттенков, зеленый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	алмазный, в изломе - жирный
Спайность	ясная
Твердость	5,5
Удельный вес (г/см ³)	3,4
Диагн. признаки	конвертообразная форма кристаллов, парагенезис с щелочными минералами
Парагенезис	нефелин, эгирин, апатит, альбит, полевые шпаты (щелочные пегматиты); андрадит, диопсид (скарны)
Генезис	щелочные пегматиты, метаморфический, контактово-метасоматический
Применение	извлечение окиси титана



Рис. 97. Конвертообразные кристаллы сфена с алмазным блеском

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Дистен (кианит)
Химический состав	$Al_2O[SiO_4]$
Разновидности	
Сингония	триклинная
Облик кристаллов	уплощенный, дощатый, досковидный
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов
Цвет	голубовато-серый, синий с неравномерной окраской
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный с перламутровым отливом
Спайность	совершенная по пинакоиду
Твердость	4,5- по первому пинакоиду, в других направлениях 6-7, хрупок
Удельный вес (г/см ³)	3,6
Диагн. признаки	генезис в слюдяных сланцах, цветовой дихроизм и анизотропия твердости, голубовато-серая и синяя окраска
Парагенезис	слюды, ставролит, турмалин, альмандин
Генезис	метаморфические высоклиноземистые породы
Применение	высокоглиноземистое сырье, огнеупоры, ювелирное дело



Рис. 98. Дощатые кристаллы дистена голубовато-синего цвета

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Ставролит
Химический состав	$2Al_2O[SiO_4]*Fe(OH)_2$
Разновидности	
Сингония	ромбическая (моноклинная)
Облик кристаллов	призматический
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, крестообразные сростки
Цвет	буро-красный до черного
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный
Спайность	ясная
Твердость	7-7,5
Удельный вес (г/см ³)	3,7
Диагн. признаки	крестообразные двойники
Парагенезис	слюды, дистен, турмалин, альмандин
Генезис	метаморфический
Применение	в качестве флюса при плавке железных руд



Рис. 99. Крестообразные сростки кристаллов ставролита бурого цвета

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Эпидот
Химический состав	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})_3[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}(\text{OH})$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический, уплощенный, вытянутый
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, зернистые массы
Цвет	фисташково-зеленый различных оттенков от темно-зеленого в кристаллах до светло-зеленого в зернистых массах
Цвет черты	отсутствует
Блеск	сильный стеклянный
Спайность	совершенная
Твердость	6-6,5
Удельный вес (г/см ³)	3,4
Диагн. признаки	фисташко-зеленый цвет, призматические кристаллы, высокая твердость. Диопсид (отл. твердостью, цветом, характером спайности) гроссуляр (отл. обликом кристаллов), турмалин (отл. формой поперечного сечения)
Парагенезис	кальцит, диопсид, роговая обманка, андрадит (скарны), кварц (гидротермальный), роговая обманка (метаморфический)
Генезис	скарны, гидротермальное, метаморфическое
Применение	



Рис. 100. Призматические кристаллы и зернистые агрегаты эпидота

ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Гр. граната (пиральспиты Al-ряд; угрондиты Ca-ряд)
Химический состав	Гроссуляр- $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$, Андрадит - $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$, Уваровит - $Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$, Альмандин - $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$, Спессартин - $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$, Пироп - $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$
Разновидности	<i>шорломит</i> –Ti-содержащая разновидность андрадита черного цвета; <i>демантойд</i> -Cr-содержащая разновидность андрадита
Сингония	кубическая
Облик кристаллов	изометричный, ромбододекаэдрический, грани иштрихованы
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов (Al-ряд), сплошные зернистые массы (Ca-ряд).
Цвет	<i>гроссуляр</i> – крыжовниково-желтый, зеленый; <i>андрадит</i> –бурый; <i>уваровит</i> –изумрудно-зеленый; <i>альмандин</i> -марганцавочно-красный, <i>спессартин</i> -оранжево-красный, <i>пироп</i> -темно-красный, вино-красный
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный, жирный, иногда близкий к алмазному до смоляного
Спайность	отсутствует
Твердость	6,5-7,5
Удельный вес (г/см ³)	3,5-4,2
Диagn. признаки	макроскопически узнается по характерному изометричному облику кристаллов, штриховке, высокой твердости и среднему удельному весу, между собой отличаются по агрегатам и парагенезису
Парагенезис	<i>гроссуляр-андрадит</i> с диопсидом, эпидотом, хлоритами, магнетитом; <i>альмандин</i> со слюдой, хлоритами, роговой обманкой, альбитом; <i>спессартин</i> с кварцем, альбитом, мусковитом; <i>Пироп</i> с алмазом, оливином
Генезис	контактово-метасоматический: гроссуляр, андрадит; метаморфический: альмандин, спессартин; ультраосновные-магматические: пироп; гранитные пегматиты: альмандин
Применение	ювелирное дело, абразивный материал

КОЛЬЦЕВЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Берилл
Химический состав	$\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
Разновидности	<i>изумруд</i> – Cr-содержащая разновидность травяно-зеленого цвета; <i>аквамарин</i> – разновидность голубого цвета
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	столбчатый, призматический, грани имеют вертикальную штриховку
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, редко сплошные шестоватые массы
Цвет	зеленовато-желтый, светло-зеленый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный
Спайность	несовершенная, излом неровный, раковистый
Твердость	7,5-8
Удельный вес (г/см ³)	2,6-2,9
Диагн. признаки	поперечное сечение в виде гексагона, высокая твердость, призматический облик кристаллов, от апатита отличается твердостью, от кварца отличается цветом и формой кристаллов
Парагенезис	ПШ, кварц, слюда, топаз, турмалин, флюорит, вольфрамит, сульфиды
Генезис	пегматиты, грейзены
Применение	ювелирное дело, источник бериллия



Рис. 102. Длиннопризматические кристаллы берилла и его разновидности (изумруда)

КОЛЬЦЕВЫЕ СИЛИКАТЫ

Название минерала	Турмалин
Химический состав	$(\text{Na, Ca, K})_3 (\text{Li, Mg, Mn, Fe, Al})_3 (\text{Mg, Fe, Al})_6 [\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3 (\text{O, OH})$ - сложный алюмоборосиликат Na, Mg, Al, Fe
Разновидности	Виды: <i>дравит</i> – бурый; <i>шерл</i> – черный; <i>эльбаит</i> – полихромный. Разновидности эльбаита: <i>рубеллит</i> – розовый; <i>верделлит</i> – зеленый; <i>индиголит</i> – синий
Сингония	тригональная
Облик кристаллов	столбчатый, призматический, грани имеют вертикальную штриховку
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, радиально-лучистые и шестоватые массы, редко сплошные массы
Цвет	разнообразный, часто полихромный
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный
Спайность	отсутствует, иногда слабая
Твердость	7,5-8
Удельный вес (г/см ³)	2,9-3,25
Диагн. признаки	поперечное сечение в виде сферического треугольника, высокая твердость, призматический облик кристаллов, от роговой обманки и эгирина отличается твердостью, цветом черты, парагенезисом
Парагенезис	кварц, ПШ, слюда, топаз, берилл, флюорит, вольфрамит, сульфиды.
Генезис	пегматиты, грейзены
Применение	ювелирное дело, радиотехника



Рис. 103. Кристаллы турмалина

Часто в пегматитовой ассоциации встречается разноцветный вид турмалина (эльбаит), розовая разновидность эльбаита называется *рубеллит*, синяя – *индиголит*, зеленая – *верделлит*. Группа пироксеноидов объединяет минералы (*волластонит* и *родонит*) с радикальной группой сокращенного вида $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$. *Волластонит* характеризуется белой окраской, вытянутыми волокнистыми кристаллами, занозистым изломом, средней твердостью (5). В отличие от схожего с ним волокнистого *тремолита*, ассоциирующего с тальком, *волластонит* находится в парагенезисе с *диопсидом*, *гроссуляром-андрадитом*, *геденбергитом*, *кальцитом*, благодаря своей контактово-метасоматической природе. *Родонит* обладает красивым розовым цветом, за счет вхождения в его состав элемента-хромофора (Mn). Вхождение марганца предопределяет его тесную связь с *псиломеланом*, который часто заполняет трещинки и прожилки в родоните, придавая особую пейзажность этому минералу. *Родонит* образуется метаморфическим путем и поэтому его агрегаты представлены плотными мелкозернистыми массами с полосчатой, ориентированной структурой. Перепутать *родонит* с другими минералами сложно из-за его специфической нежно-розовой окраски, подчеркнутой черными прожилками псиломелана. Однако иногда студенты путают родонит с мясо-красным КПШ, либо с карбонатом марганца (родохрозитом), однако карбонаты имеют более низкую твердость, а КПШ спайность в нескольких направлениях и сложные двойники Цепочечные силикаты представлены *ромбическими* и *моноклинными* пироксенами. Ромбические пироксены в свою очередь, образуют бесконечный непрерывный ряд от *энстатита* $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ до *гиперстена* $\text{Fe}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, промежуточной разновидностью которого является *бронзит* $(\text{Mg,Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Ромбические пироксены образуются преимущественно в основных и ультраосновных ранних магматических породах. Для них характерна таблитчатая форма кристаллов, заметный перламутровый отлив на гранях, парагенезис с *тальком*. Энстатит является светлоокрашенным минералом, при вхождении в состав минерала железа, промежуточная разность (*бронзит*) приобретает бронзовый (шоколадный) оттенок, в гиперстене железа еще больше, поэтому это более темная разновидность. *Энстатит* наряду с магматическим образованием встречается в магнезиальных скарнах. Здесь он может образовывать крупные светло-серые кристаллы с перламутровым отливом на гранях. Тальк повсеместно присутствует в виде продуктов замещения энстатита.

ПИРОКСЕНОИДЫ

Название минерала	Волластонит
Химический состав	Ca₃[Si₃O₉]
Разновидности	
Сингония	триклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, удлиненный, досковидный
Морфология агрегатов	листоватые, радиально-лучистые, шестоватые, скорлуповатые, реже волокнистые с параллельным и сетчатым расположением отдельных волокон
Цвет	белый с сероватым оттенком
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, шелковистый, иногда с перламутровым оттенком
Спайность	совершенная по призме
Твердость	4,5-5,0, занозистый излом
Удельный вес (г/см ³)	2,78-2,91
Диагн. признаки	радиально-шестоватые агрегаты, парагенезису с другими минералами контактово-метасоматического генезиса (гранатами, диопсидом).
Парагенезис	андрадит, гроссуляр, диопсид, геденбергит, кальцит
Генезис	контактово-метасоматический
Применение	В качестве добавки наполнителя в пластмассах, цветной металлургии, лакокрасочной промышленности



Рис. 104. Срастания волокнистых кристаллов волластонита

ПИРОКСЕНОИДЫ

Название минерала	Родонит
Химический состав	CaMn₄[Si₅O₁₅]
Разновидности	
Сингония	триклинная
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	плотные, зернистые, мономинеральные скопления
Цвет	розовый
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, до матового
Спайность	совершенная в нескольких направлениях
Твердость	5,5-6,5
Удельный вес (г/см ³)	3,4-3,7
Диагн. признаки	розовый цвет, характер спайности, прожилки черного цвета, представленные псиломеланом
Парагенезис	псиломелан, родохрозит
Генезис	контактово-метасоматический, регионально-метаморфический
Применение	поделочный камень



Рис. 105. Сплошные массы родонита с прожилками псиломелана

Этот продукт замещения – немаловажный признак, который можно использовать для отличия *энстатита* от *сподумена*. Если обратить внимание на формулу *сподумена* $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, то очевидным становится тот факт, что его условия образования явно отличаются от генезиса *энстатита*, так как Li – является редким металлом, накапливающимся в остаточном обогащенном редкими и летучими компонентами растворе. Минералами спутниками *сподумена* в редкометалльных пегматитах литиевой специализации являются: *лепидолит*, *кварц*, *клевеландит* (*пластинчатый альбит*), *полихромный турмалин*, *берилл*, *КПШ*. Моноклинные пироксены представлены более обширной группой минералов, в список нашего курса вошли *диопсид*, *геденбергит*, *эгирин* и *сподумен*.

В целом, пироксены характеризуются призматической, удлиненной формой кристаллов, однако характер удлинения и уплощенности у всех разный. Для *диопсида* свойственны короткостолбчатые кристаллы, *геденбергит*, напротив, образует вытянутые и расходящиеся («лапчатые») кристаллы. *Эгирин* склонен формировать призматические, преимущественно удлиненные и радиально-лучистые кристаллы («эгириновые солнца»). *Сподумен* в большинстве случаев имеет уплощенную, «дощатую» форму. Для всех пироксенов характерна отдельность и спайность под углом $87\pm 3^\circ$.

Диопсид характеризуется грязно-зеленым или зеленовато-серым цветом, призматической, короткостолбчатой формой кристаллов (*рис. 106*), либо сплошными зернистыми массами. В ассоциации с ним встречается *флогопит* (Mg-слюда), *кальцит*, *гранаты* кальциевого ряда, *эпидот*, *роговая обманка*, *актинолит* и др.

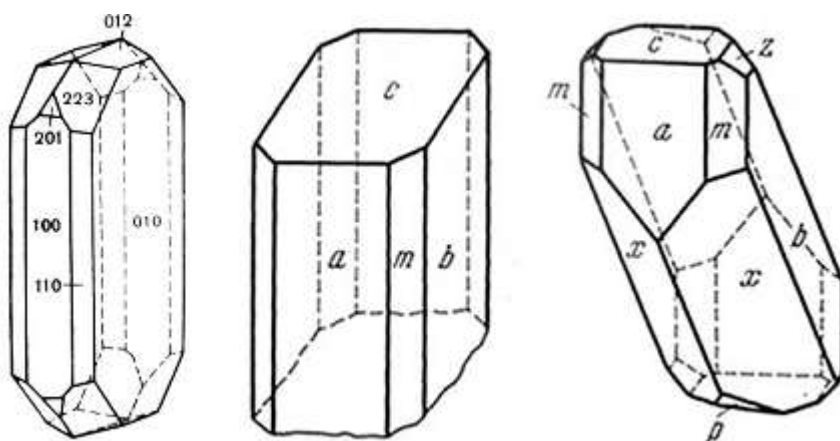


Рис. 106. Облик кристаллов диопсида

Диопсид, обогащенный хромом и обладающий ярко-зеленой окраской называется *хромдиопсид*. Происхождение этой разновидности связано с ранними магматическими породами, встречается весьма редко. Светло-голубая мелкозернистая разновидность диопсида называется *виолан*. Виолан образуется в скарновых процессах.

Эгирин является типичным фемическим (темноокрашенным) минералом щелочных пород, что обуславливает его тесную ассоциацию с такими щелочными минералами, как *нефелин*, *сфен*, *апатит*, *арфведсонит* и др. Цвет минерала всегда черный, цвет черты зеленый, наблюдается отдельность и спайность. Форма его кристаллов отражена на *рисунке 107*.

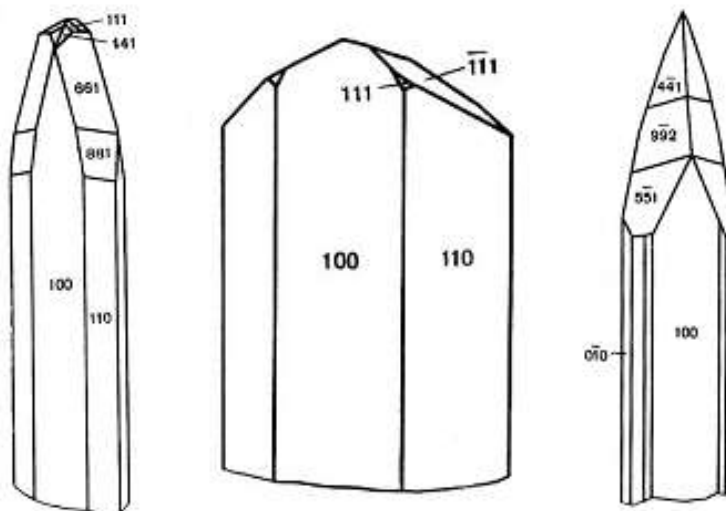


Рис. 107. Форма кристаллов эгирина

Геденбергит, образующий «лапчатые» (веерообразные, сноповидные) кристаллы, как правило, окрашен от темно-зеленого до черного цвета, за счет вхождения в состав минерала железа, обладает светло-зеленым цветом черты, парагенезисом с железосодержащими сульфидами (пиритом, халькопиритом, пирротином, марматитом (железистым сфалеритом), галенитом и т.д.).

Сподумен имеет дощатые, уплощенные кристаллы светло-серого (пепельного) цвета. От *альбита* отличается отсутствием полисинтетических двойников и оптических эффектов, от *ортотлаза* – более высокой твердостью, наличием отдельности, часто неустойчив и замещается глинистыми минералами.

3) *Ленточные силикаты* или *амфиболы*, характеризуются удлиненным вытянутым габитусом кристаллов, что обусловлено

внутренними особенностями кристаллического строения этого подкласса, где кремнекислородные тетраэдры выстраиваются в виде лент. В курс нашей программы вошли *тремолит*, *актинолит*, *роговая обманка*, *арфведсонит*, *глаукофан*.

В целом, амфиболы образуют непрерывный бесконечный изоморфный ряд и при преобладании тех или иных условий устойчивым является определенный амфибол. *Тремолит* характеризуются светлым, белым цветом; *актинолит* – грязно-зеленым; *роговая обманка* – темно-зеленая до черной; *арфведсонит* – черный; *глаукофан* – голубовато-серый, синий. При этом цвет черты *тремолита* и *актинолита* – белый, *роговой обманки* от белого до светло-зеленого, *арфведсонита* – голубовато-серый, *глаукофана* – голубой. Амфиболы диагностируются по вытянутым, волокнистым кристаллам, их радиально-лучистому строению, занозистому излому, шелковистому отливу, средней твердости (5,5) и среднему удельному весу (3). Амфиболы зачастую образуются по пироксенам с близким им химизмом, к примеру: *тремолит-актинолит*, образуется по *диопсиду*, *арфведсонит* по *эгирину* и т.д.

Тремолит часто находится в парагенезисе с *тальком*, что помогает отличать его от других светлоокрашенных волокнистых минералов. *Актинолит* (*лучистый камень*) диагностируются по характерному грязно-зеленому цвету, аналогичному *диопсиду* (призматические кристаллы) и *хлориту* (чешуйчатые кристаллы с более низкой твердостью (2,5)). *Роговая обманка* очень походит на *эгирин*, от которого отличается формой поперечного сечения в виде ромба, тогда как у *эгирина* сечение, близкое к квадратному. В поперечных срезах у *роговой обманки* видны либо острые, либо тупые углы между плоскостями спайности. Для *роговой обманки* характерен сильный шелковистый отлив. Парагенезис играет ключевую роль для отличия *роговой обманки* от *эгирина*. *Роговая обманка* образуется во многих средних и основных магматических и метаморфических породах, *скарнах*, *эгирин* же имеет весьма специфичный щелочной генезис, ассоциируя с *арфведсонитом*, *нефелином*, *сфеном*, *апатитом* и т.д. *Роговую обманку* путают с *шерлом*, от которого она отличается уплощенным габитусом кристаллов, ромбовидной формой поперечного сечения, меньшей твердостью, наличием слабо-зеленой черты. *Геденбергит* от *роговой обманки* отличает парагенезис с железосодержащими сульфидами и лапчатая форма кристаллов.

Глаукофан часто формирует мономинеральные волокнистые массы серо-синего или голубого цвета.

4) Структура слоевых силикатов накладывает отпечаток на механические свойства минералов этого подкласса, значительно понижая их твердость (< 3) за счет слабой силы связи между слоями – псевдогексагональными сетками, образованными кремнекислородными тетраэдрами. Слоевые силикаты объединяют группу слюд (*мусковит*, *биотит*, *флогопит*, *лепидолит*), группу хлоритов (*пеннин*), *тальк*, *серпентин*, *каолинит*.

Слюды характеризуются весьма совершенной спайностью, перламутровым отливом на ее плоскостях, не смотря на свою низкую твердость, им свойственна упругость (способность восстанавливаться после внешнего воздействия). Кристаллизуясь в моноклинной сингонии, кристаллическая структура слюд предопределяет их псевдогексагональный облик кристаллов. Все они характеризуются примерно одинаковой твердостью 2-2,5.

Слюды имеют разнообразные окраски: *мусковит* – светлоокрашенный, прозрачный белый; *биотит* – черный; *флогопит* – темноокрашенный с золотистым оттенком; *лепидолит* – сиреневый, лиловый, фиолетовый. Однако отличать их друг от друга помимо цветовой принадлежности следует по парагенезису.

Мусковит и *биотит* наряду с *кварцем* и *ПШ* являются главными минералами гранитов и их пегматитов. *Флогопит* в магнезиальных скарнах ассоциирует с *диопсидом* и *кальцитом*. *Лепидолит* тяготеет к пегматитам редкометалльной Li-специализации.

Пеннин является одним из представителей хлоритов, которые в свою очередь делятся на два ряда: магнезиальный и железистый. Однако макроскопически установить принадлежность к тому, или иному ряду не представляется возможным, поэтому в задачу студента входит диагностика минерала, как хлорита с общим названием *пеннин*. Хлорит обладает грязно-зеленым цветом, который аналогичен еще нескольким силикатам: *диопсиду* и *актинолиту*, однако низкая твердость (2,5), светло-зеленая черта и чешуйчатая, пластинчатая форма кристаллов *хлорита* помогает отличить его от названных минералов. Помимо всех прочих процессов хлорит образуется и метаморфическим путем (фация хлоритовых сланцев), поэтому часто образцы с ним представлены полосчатыми ориентированными породами, смятыми, деформированными, плотными. Хлорит не редко ассоциирует с турмалином (шерл), гранатом Al-ряда (альмандин), тальком и др.

Тальк (жировик) или мыльный камень в большинстве случаев светлоокрашенный минерал, занимает первую позицию в шкале Мооса, поэтому легко царапается ногтем (2,5) и жирен на ощупь.

Часто образует плотные сплошные массы, иногда может формировать прозрачные пластинчатые кристаллы светло зеленого цвета – *благородный тальк*. Находится в парагенезисе с магнезиальными минералами: энстатитом, тремолитом, серпентином, хлоритом. *Серпентин* (змеевик) получил свое название благодаря пестрому, зеленому окрасу, напоминающему чешую змеи. Его зеленовато-желтый цвет и черные вкрапленники, представленные *магнетитом*, легко запоминаются и диагностируются. За счет *магнетита* образцы с *серпентином* могут обладать магнитными свойствами. Тесная ассоциация с *магнетитом* объясняется тем фактом, что серпентин образуется гидротермальным путем по ранним магнезиальным породам за счет разложения *оливина*, который в свою очередь помимо Mg, содержит Fe. Последнее сбрасывается в виде самостоятельной фазы – *магнетита*. Ранние магматические породы преобладают в зонах повышенной тектономагматической активности, где в свою очередь происходят различного рода перемещения блоков земной коры, сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги и т.д. *Серпентин*, обладая плотными мягкими агрегатами, является своего рода – «пластилином» или «маслом», по которому наиболее легко происходит перемещение блоков земной коры, что находит отражение в появлении на образцах с *серпентином* ровных блестящих и гладких поверхностей – «зеркал скольжения». Серпентин может находиться в парагенезисе с *тальком*, *энстатитом* (светлые таблитчатые кристаллы), *магнетитом*. Цвет черты белый, является весьма распространенным поделочным материалом. *Каолинит* обладает белым цветом, низкой твердостью (1,5-2) и, будучи глинистым минералом, обладает свойством гигроскопичности (способность впитывать воду). В отличие от *талька*, жирного на ощупь, *каолинит*, напротив, дает ощущение сухости при соприкосновении с кожей. Часто образуется за счет разложения алюмосиликатных пород. Как самостоятельные мономинеральные образцы каолиниты встречаются в коллекции кафедры не часто, однако в виде матовой пленки может наблюдаться на многих алюмосиликатных породообразующих минералах, к примеру, *полевых шпатах*.

ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(пироксены)

Название минерала	Энстатит
Химический состав	Mg₂[Si₂O₆]
Разновидности	<i>бронзит</i> (бронзово-желтая разновидность), <i>гиперстен</i> Fe₂[Si₂O₆] (темноокрашенный минерал)
Сингония	ромбическая
Облик кристаллов	призматический, таблитчатый
Морфология агрегатов	пластинчато-шестоватые
Цвет	бесцветный, серовато-белый, пепельно-серый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом
Спайность	средняя под прямым углом
Твердость	5,5
Удельный вес (г/см ³)	3,1-3,3
Диагн. признаки	покрывается тальком, перламутровый отлив на плоскостях спайности
Парагенезис	форстерит, флогопит, тальк (контактово-метасоматические породы); оливин, серпентин (ультраосновные магматические породы)
Генезис	магматический, контактово-метасоматический (магнезиальные скарны)
Применение	многофункциональный диэлектрик



Рис. 108. Энстатит

ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(пироксены)

Название минерала	Диопсид
Химический состав	CaMg[Si₂O₆]
Разновидности	<i>виолан</i> – мелкозернистая разновидность голубого цвета; <i>хромдиопсид</i> – изумрудно-зеленая прозрачная разновидность
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический, короткостолбчатый с преимущественным развитием пинакоидов
Морфология агрегатов	зернистые, сплошные массы, иногда шестоватые агрегаты
Цвет	грязно-зеленый бледных и серых оттенков
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный
Спайность	средняя под углом 87°
Твердость	5,5-6,0
Удельный вес (г/см ³)	3,3
Диагн. признаки	грязно-зеленый цвет, призматические кристаллы
Парагенезис	кальцит, роговая обманка, андрадит, эпидот (скарны), кварц (гидротермальный), роговая обманка (метаморфический)
Генезис	скарны, магматическое (пироксениты, перидотиты, габбро)
Применение	хромдиопсид в ювелирном деле



Рис. 109. Призматические кристаллы диопсида

ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(пироксены)

Название минерала	Геденбегит
Химический состав	CaFe[Si₂O₆]
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	призматический
Морфология агрегатов	радиально-лучистые и крупношестоватые агрегаты
Цвет	темно-зеленый до зелено-черного
Цвет черты	светло-серая с зеленоватым оттенком
Блеск	стеклянный
Спайность	средняя под углом 87°
Твердость	5,5-6,0
Удельный вес (г/см ³)	3,5-3,6
Диагн. признаки	темно-зеленый цвет до черного, радиально-лучистые кристаллы
Парагенезис	пирротин, халькопирит, марматит (железистая разновидность сфалерита), кальцит, эпидот (скарны)
Генезис	железистые скарны
Применение	



Рис. 110. Радиально-лучистые, лапчатые кристаллы геденбергита

ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(пироксены)

Название минерала	Эгирин
Химический состав	NaFe[Si₂O₆]
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	столбчатый, игольчатый
Морфология агрегатов	радиально-лучистые, звездчатые агрегаты
Цвет	зеленовато-черный, темно-зеленый
Цвет черты	светло-зеленая
Блеск	стеклянный
Спайность	средняя под углом 87°
Твердость	5,5-6,0
Удельный вес (г/см ³)	3,4-3,6
Диагн. признаки	светло-зеленая черта, характерный парагенезис
Парагенезис	нефелин, сфен, альбит, КПШ, апатит, арфведсонит, содалит, канкринит
Генезис	щелочные интрузивные породы
Применение	



Рис. 111. Форма кристаллов эгирина с продольной штриховкой вдоль удлинения

ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(пироксены)

Название минерала	Сподумен
Химический состав	LiAl[Si₂O₆]
Разновидности	<i>кунцит</i> – розовая прозрачная разновидность
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	дощатый, уплощенный, призматический
Морфология агрегатов	пластинчато-шестоватые
Цвет	пепельно-серый, розовато-белый
Цвет черты	отсутствует
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом
Спайность	средняя под углом 87°
Твердость	6,5-7,0
Удельный вес (г/см ³)	3,1-3,2
Диагн. признаки	характерный парагенезис, уплощенная форма кристаллов
Парагенезис	лепидолит, клевеландит (пластинчатый альбит), полихромный турмалин, КПШ, кварц
Генезис	редкометалльные и гранитные пегматиты литиевой специализации
Применение	источник для получения препаратов лития, употребляемых в пиротехнике, медицине, фотографии, рентгенографии и т.д., прозрачные разновидности в ювелирном деле



Рис. 112. Уплощенные кристаллы сподумена с продольной штриховкой вдоль удлинения; кунцит (розовая разновидность сподумена)

ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(амфиболы)

Название минерала	Тремолит
Химический состав	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$
Разновидности	<i>нефрит</i> – спутано-волокнистая разновидность
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	длиннопризматический, игольчатый
Морфология агрегатов	тонколучистые, волокнистые, войлокоподобные, шестоватые, лучистые, волосовидные
Цвет	светлоокрашенный, белый с сероватым оттенком
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом
Спайность	совершенная под углом 124° и 56°
Твердость	5,5-6,0, хрупок, занозистый излом
Удельный вес (г/см^3)	2,9-3,0
Диагн. признаки	светлая окраска, игольчатая форма кристаллов
Парагенезис	диопсид, тальк
Генезис	эпимагматический минерал изверженных пород, образующийся по кальциево-магнезиальным пироксенам, метаморфический
Применение	в качестве тепло- и звукоизолирующих материалов



Рис. 113. Волокнистые кристаллы тремолита

ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(амфиболы)

Название минерала	АКТИНОЛИТ
Химический состав	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$
Разновидности	<i>нефрит</i> – спутано-волокнистая разновидность
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	длиннопризматический, игольчатый
Морфология агрегатов	тонколучистые, волокнистые, войлокоподобные, шестоватые, лучистые, волосовидные
Цвет	бутылочно-зеленый, грязно-зеленый различных оттенков
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности с шелковистым отливом
Спайность	Совершенная под углом 124° и 56°
Твердость	5,5-6,0, хрупок, занозистый излом
Удельный вес (г/см ³)	3,1-3,3
Диагн. признаки	грязно-зеленая окраска, игольчатая форма кристаллов
Парагенезис	диопсид, тальк
Генезис	эпимагматический минерал изверженных пород, образующийся по кальциево-магнезиальным пироксенам, метаморфический (кристаллические сланцы)
Применение	в качестве тепло- и звукоизолирующих материалов, поделочный материал



Рис. 114. Вытянутые кристаллы актинолита

ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(амфиболы)

Название минерала	Роговая обманка
Химический состав	$\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe})_4(\text{Al},\text{Fe}^{3+})[(\text{AlSi})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	длиннопризматический, столбчатый
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов, зернистые массы, двойники
Цвет	темно-зеленый до черного
Цвет черты	светло-зеленая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности с шелковистым отливом
Спайность	совершенная под углом 124° и 56°
Твердость	5,5-6,0, хрупок, занозистый излом
Удельный вес (г/см^3)	3,1-3,3
Диагн. признаки	грязно-зеленая окраска, игольчатая форма кристаллов
Парагенезис	разнообразный, замещается хлоритом, эпидотом, кальцитом
Генезис	магматический минерал изверженных интрузивных пород средней основности, метаморфический
Применение	



Рис. 115. Форма кристаллов роговой обманки

ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(амфиболы)

Название минерала	Арфведсонит
Химический состав	$\text{Na}_3(\text{Fe}, \text{Mg})_4(\text{Fe}, \text{Al})[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	длиннопризматический, столбчатый
Морфология агрегатов	сплошные, зернистые, лучистые массы
Цвет	темно-зеленый до черного
Цвет черты	темно-голубовато-серая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности с шелковистым отливом
Спайность	совершенная по призме
Твердость	5,5-6,0, занозистый излом
Удельный вес (г/см ³)	3,44-3,46
Диагн. признаки	игольчатая форма кристаллов, голубовато-серый цвет черты
Минералы-спутники	содалит, нефелин, эгирин, сфен, апатит
Генезис	минерал щелочных изверженных интрузивных пород, нефелиновых пегматитов
Применение	



Рис. 116. Кристаллы арфведсонита в парагенезисе с эгирином и нефелином

ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ
(амфиболы)

Название минерала	Глаукофан
Химический состав	$\text{Na}_2(\text{Fe},\text{Mg})_3\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH},\text{F})_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	длиннопризматический, столбчатый, удлиненный
Морфология агрегатов	сплошные, лучистые, волокнистые агрегаты
Цвет	голубой, синевато-серый, ярко-синий
Цвет черты	голубовато-серая, голубая
Блеск	стеклянный
Спайность	совершенная по призме
Твердость	6,0-6,5, занозистый излом
Удельный вес (г/см ³)	3,1-3,2
Диагн. признаки	голубой, синевато-серый цвет, игольчатая форма кристаллов
Парагенезис	мономинерален, альбит, хлорит, эпидот, кварц
Генезис	кристаллические сланцы (метаморфический)
Применение	

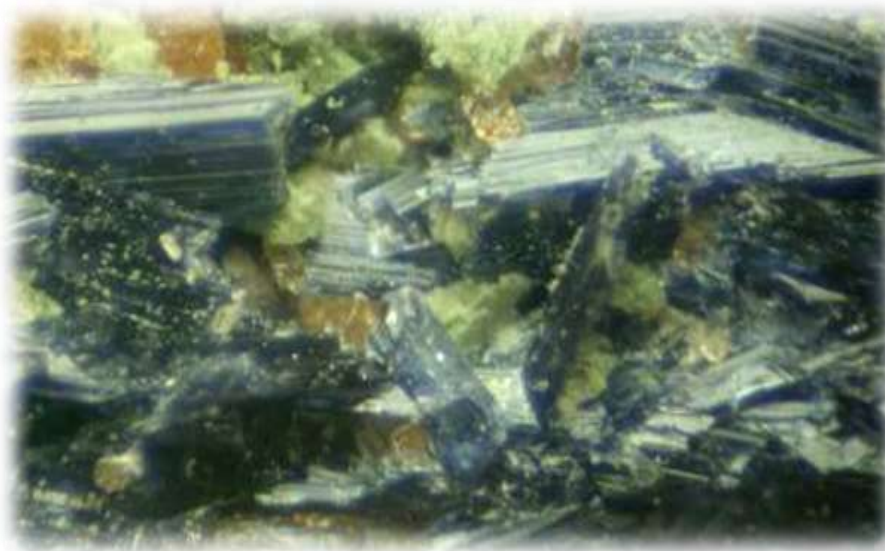


Рис. 117. Срастания кристаллов глаукофана

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(группа слюд)

Название минерала	Мусковит
Химический состав	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
Разновидности	<i>серицит</i> – тонкочешуйчатая разновидность
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, пластинчатый, псевдогексагональный
Морфология агрегатов	сплошные, чешуйчатые, листовато-зернистые массы
Цвет	бесцветный в тонких листочках, часто с желтовато-серым, зеленоватым и красноватым оттенком
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности – перламутровый
Спайность	весьма совершенная, что позволяет расщеплять кристаллы на отдельные листочки
Твердость	2,0-3,0, пластинки упруги
Удельный вес (г/см ³)	2,7-3,1
Диагн. признаки	светлая окраска, перламутровый блеск на плоскостях спайности, легкая расщепляемость на отдельные листочки, от флогопита отличается парагенезисом, от других слюд цветом
Парагенезис	кварц, КПШ, альбит, берилл (пегматиты), роговая обманка, дистен (регионально-метаморфический)
Генезис	магматический, пегматитовый, гидротермальный, регионально-метаморфический
Применение	керамическая, электротехническая, резиновая промышленность



Рис. 118. Пластинчатые кристаллы мусковита псевдогексагонального облика

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(группа слюд)

Название минерала	Биотит
Химический состав	$K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, пластинчатый, псевдогексагональный
Морфология агрегатов	сплошные, чешуйчатые, листовато-зернистые массы
Цвет	черный, бурый
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности – перламутровый
Спайность	весьма совершенная, что позволяет расщеплять кристаллы на отдельные листочки
Твердость	2,0-3,0, пластинки упруги
Удельный вес (г/см ³)	3,0-3,1
Диагн. признаки	темная окраска, перламутровый блеск на плоскостях спайности от флогопита отличается парагенезисом, от других слюд темным цветом
Парагенезис	кварц, КПШ (пегматиты), роговая обманка, алмадин (регионально-метаморфический)
Генезис	магматический, пегматитовый, регионально-метаморфический
Применение	керамическая, электротехническая, резиновая промышленность



Рис. 119. Псевдогексагональный кристалл биотита

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(группа слюд)

Название минерала	Флогопит
Химический состав	$KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, пластинчатый, псевдогексагональный,
Морфология агрегатов	сплошные, чешуйчатые, листовато-зернистые массы
Цвет	бурый иногда с оранжевым, золотистым оттенком
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности – перламутровый
Спайность	весьма совершенная, что позволяет расщеплять кристаллы на отдельные листочки
Твердость	2,0-3,0, пластинки упруги
Удельный вес (г/см ³)	3,0-3,1
Диагн. признаки	бурая окраска, перламутровый блеск на плоскостях спайности от биотита отличается парагенезисом, от других слюд золотистым оттенком
Парагенезис	диопсид, кальцит (контактово-метасоматический)
Генезис	магматический, контактово-метасоматический
Применение	керамическая, электротехническая, резиновая промышленность



Рис. 120. Таблитчатый кристалл флогопита

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(группа слюд)

Название минерала	Лепидолит
Химический состав	$KLi_{1,5}Al_{1,5}[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	таблитчатый, пластинчатый, псевдогексагональный
Морфология агрегатов	сплошные, чешуйчатые, изредка в виде друз
Цвет	лиловый, сиреневый, фиолетовый
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности – перламутровый
Спайность	весьма совершенная, что позволяет расщеплять кристаллы на отдельные листочки
Твердость	2,0-3,0, пластинки упруги
Удельный вес (г/см ³)	2,8-2,9
Диагн. признаки	фиолетовая окраска
Парагенезис	клевеландит, кварц, сподумен, рубеллит, флюорит
Генезис	пегматиты Li-специализации, грейзены
Применение	источник лития



Рис. 121. Пластинчатые и скорлуповатые кристаллы лепидолита

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(тальк)

Название минерала	Тальк (стеатит, жирный камень, мыльный камень)
Химический состав	Mg₃[Si₄O₁₀](OH)₂
Разновидности	<i>благородный тальк</i> – прозрачные кристаллы
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	листоватые, чешуйчатые, плотные массы
Цвет	белый с желтоватым, буроватым, бледно-зеленым оттенком
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности – перламутровый
Спайность	весьма совершенная, листочки не упруги
Твердость	1,0
Удельный вес (г/см ³)	2,7-2,8
Диагн. признаки	низкая твердость, жирен на ощупь
Парагенезис	тремолит, хлорит, магнетит, серпентин
Генезис	гидротермально-измененные магнезиальные породы
Применение	бумажная, резиновая, косметическая, текстильная, электротехническая промышленность



Рис. 122. Пластинчатые кристаллы талька

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(серпентин)

Название минерала	Серпентин (змеевик)
Химический состав	Mg₆[Si₄O₁₀](OH)₈
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	кристаллы редки
Морфология агрегатов	сплошные, плотные, скрытокристаллические массы с зеркалами скольжения
Цвет	темно-зеленый, бутылочно-зеленый, желто-зеленый
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, жирный, восковый
Спайность	совершенная, макроскопически плохо проявляется
Твердость	2,0-3,5
Удельный вес (г/см ³)	2,5-2,7
Диагн. признаки	низкая твердость, более плотный, чем хлорит
Парагенезис	энстатит, магнетит, хризотил-асбест, хромшпинелид
Генезис	гидротермальное изменение ультраосновных пород
Применение	облицовочный и теплоизоляционный материал, поделочный камень

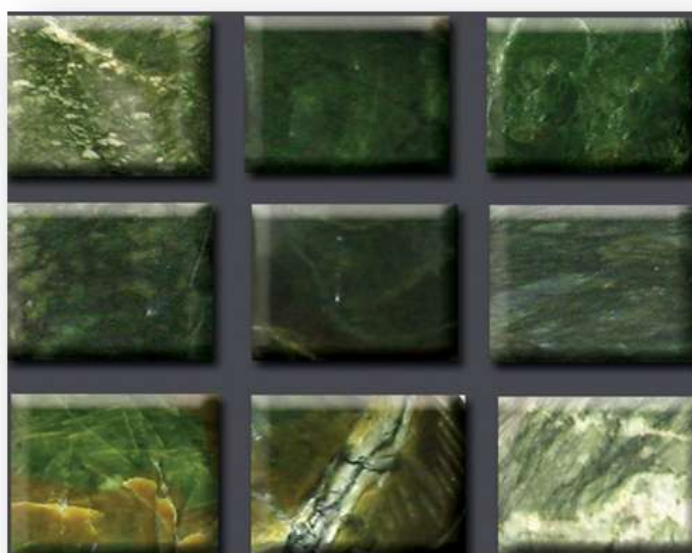


Рис. 123. Различные стили серпентина

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(хлорит)

Название минерала	Пеннин
Химический состав	$Mg_5Al[AlSi_3O_{10}](OH)_8$
Разновидности	
Сингония	моноклинная
Облик кристаллов	пластинчатый, чешуйчатый, псевдогексагональный, иногда бочонковидный
Морфология агрегатов	скрытокристаллические, чешуйчатые массы
Цвет	серо-зеленый, бутылочно-зеленый, грязно-зеленый
Цвет черты	белая, светло-зеленая
Блеск	перламутровый на плоскостях спайности
Спайность	весьма совершенная
Твердость	2,0-2,5
Удельный вес (г/см ³)	2,5-2,7
Диагн. признаки	низкая твердость, чешуйки не упруги, грязно-зеленый цвет
Парагенезис	тремолит, магнетит, серпентин
Генезис	метаморфический
Применение	бумажное производство (для придания блеска бумаге)

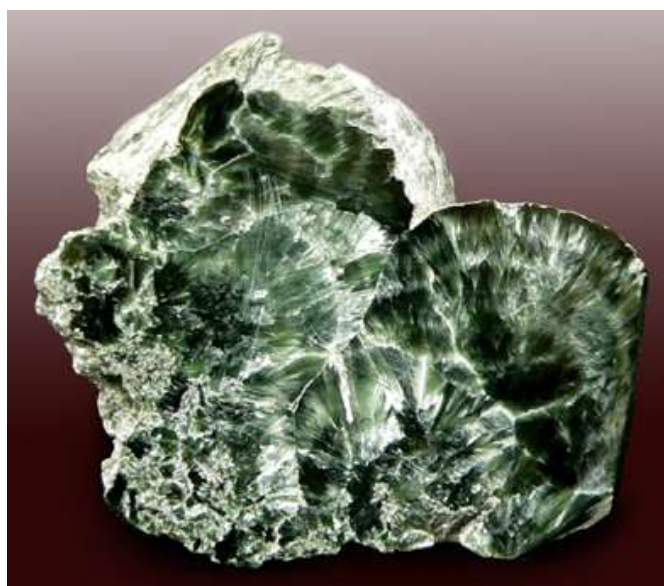


Рис. 124. Спил пеннина

СЛОЕВЫЕ СИЛИКАТЫ
(каолинит)

Название минерала	Каолинит (глина)
Химический состав	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$
Разновидности	
Сингония	триклинная
Облик кристаллов	хорошо образованные пластинчатые кристаллы редки
Морфология агрегатов	рыхлые, чешуйчатые, плотные, тонкозернистые, иногда в виде натечных форм.
Цвет	белый с желтоватым, сероватым, зеленоватым оттенком за счет примесей
Цвет черты	белая
Блеск	матовый
Спайность	весьма совершенная, макроскопически плохо проявляется
Твердость	1,0, сухой на ощупь
Удельный вес (г/см ³)	2,5-2,6
Диагн. признаки	низкая твердость, сухой на ощупь, гигроскопичен
Парагенезис	серицит, полевые шпаты, топаз
Генезис	выветривание алюмосиликатных пород, низкотемпературные гидротермальные процессы
Применение	керамическая, фарфоровая, косметическая, строительная промышленность



Рис. 125. Сыпучие сплошные массы каолинита

5) Каркасные силикаты или алюмосиликаты в курсе нашей программы представлены полевыми шпатами и фельшпатитами.

Известно, что в алюмосиликатах кремний может замещаться алюминием не более, чем на 50%. Al может выступать в качестве катиона (микроклин) и входить в анионную группу.

Полевые шпаты (ПШ) это наиболее распространенные в Земной коре силикаты. ПШ образуют изоморфные смеси (рис. 126) и условно делятся на две группы: плагиоклазы и калиевые полевые шпаты (КПШ).

Основные радикальные группы $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^-$ и $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]^{2-}$. Главные катионы, занимающие полости в каркасах: Na^+ , Ca^{2+} , K^+ и Ba^{2+} . Данный подкласс характеризуется отсутствием ионов хромофоров: Fe, Mn. Специфика физических свойств: светлая окраска, низкий удельный вес (2,6-2,7), средняя твердость 5-6, спайность средняя или совершенная по нескольким направлениям.

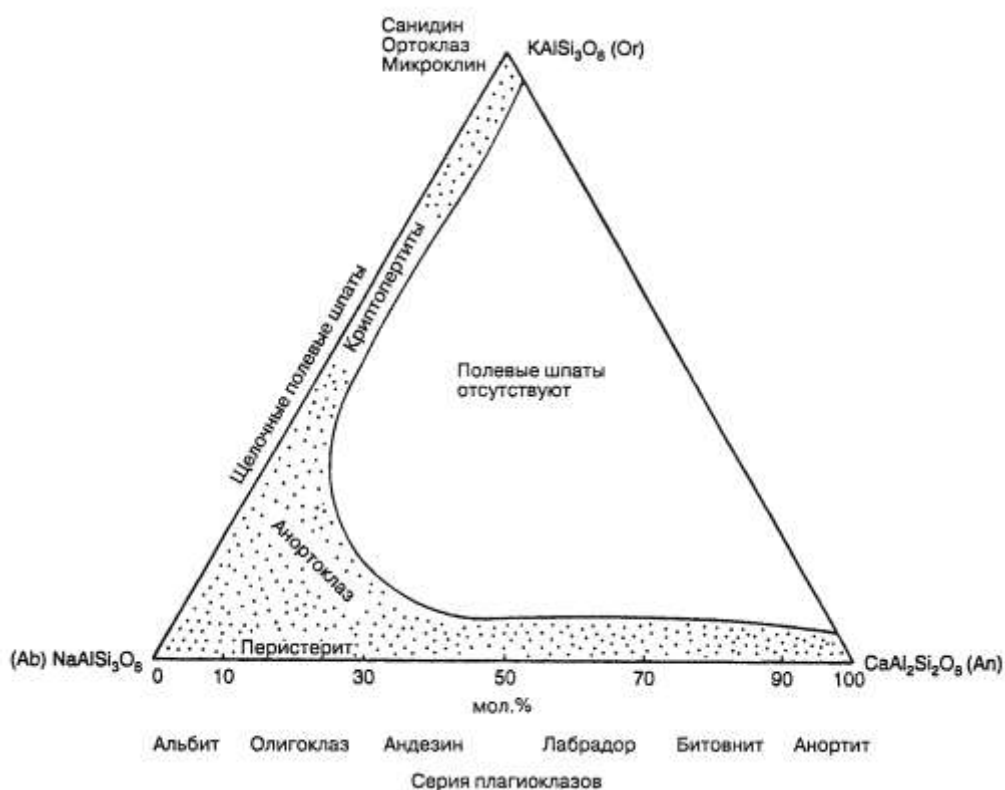


Рис. 126. Треугольная диаграмма полей составов полевых шпатов

На рисунке 126 плагиоклазы образуют непрерывный изоморфный ряд от альбита до анортита, и, в зависимости, от условий и химизма среды образования оказывается устойчивым тот или иной плагиоклаз. Плагиоклазы представляют собой яркий

пример гетеровалентного изоморфизма. Состав плагиоклаза зависит от процентного содержания анортитовой молекулы $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. К кислым плагиоклазам относятся (*альбит*, *олигоклаз*), средним (*андезин*), основным (*лабрадор*, *битовнит*, *анортит*). Эта классификация также предопределяет в состав каких магматических пород, предпочтительнее войдут названные плагиоклазы. В наиболее ранних основных магматических породах преобладают основные плагиоклазы, в средних – средние и в кислых – кислые плагиоклазы. Обратите внимание, что между *анортитом* и КПШ нет общего поля составов, значит условия образования КПШ и основных плагиоклазов различны. КПШ предпочтительнее ассоциируют и образуют твердые растворы распада с кислыми плагиоклазами (*альбитом-олигоклазом*). Плагиоклазы кристаллизуются в триклинной сингонии, имеют несколько направлений спайности. Для них характерны сложные – полисинтетические двойники, стеклянный блеск, за счет спайности и полисинтетического двойникования блеск весьма яркий. Точный состав плагиоклаза определяется с помощью изучения их оптических свойств, либо дополнительных исследований. В задачи данного курса входит определение и диагностика минералов с помощью доступных макроскопических исследований, поэтому студенту необходимо будет из плагиоклазов определить *альбит* и *лабрадор*.

Альбит может иметь несколько морфологических разновидностей: *клевеландит* (пластинчатая разновидность), *сахаровидный альбит* (мелкозернистая разновидность). Цвет *альбита* белый, часто проявляются оптические эффекты в виде переливов в голубовато-серых тонах (эффект внутреннего свечения), что связано с кристаллическим строением и полисинтетическим двойникованием плагиоклазов. *Альбит* с ярким оптическим эффектом перелива в голубых тонах называется *лунным камнем*. Аналогичное явление наблюдается и у *лабрадора*, однако, являясь более темноокрашенным минералом, *лабрадор* проявляет свое свечение в виде насыщенных синих ярких переливов. Этот оптический эффект имеет собственное название – *иризация*. Породы, сложенные нацело *лабрадором* называют лабрадоритами, они являются великолепным облицовочным материалом.

Калиевые полевые шпаты представлены *санидином*, *ортоклазом*, *микроклином*. В отличие от плагиоклазов для них наиболее характерны простые двойники, спайность также проявляется в нескольких направлениях и угол между плоскостями спайности близок 90° . *Санидин* является наиболее высокотемпературным КПШ, часто образует вкрапленники в

эффузивных породах. *Ортоклаз* и *микроклин* более масштабно представлены в образцах коллекции кафедры. *Ортоклаз*, как правило, светлоокрашенный, серый, пепельный, кристаллизуется в моноклинной сингонии, является более ранним и высокотемпературным, чем *микроклин*. *Микроклин* кристаллизуется в триклинной сингонии, характеризуется мясо-красным цветом и в раздаточной шкале Мооса соответствует твердости 6. Редкая разновидность микроклина цвета морской волны называется *амазонит*.

Микроклин образует совместные с альбитом *пертиты распада*. При высоких температурах смешанные гомогенные полевые шпаты могут включать в себя K и Na в любых соотношениях и их распределение в структурных каналах бессистемное. В условиях низких температур различие в размерах этих ионов, создает большое напряжение в решетке и кристаллы перестают быть гомогенными, происходит процесс распада «твердого раствора» с выделением двух фаз, обогащенных либо K, либо Na. В результате образуются взаимопрорастания этих минералов в виде параллельных пластинок, которые называются пертитами. Таким образом, закономерные вростки альбита в КПШ называются *пертитами распада*, обратная картина (вростки КПШ в альбите) называются *антипертитами*. Масштабы их проявления самые разные: от видимых пластинок до очень тонких выделений.

Фельдшпатиды представлены различными минералами, наиболее распространенным из них является *нефелин*. Это минерал-индикатор щелочного процесса. Главный породообразующий минерал щелочных пород. Нефелин имеет твердость аналогичную полевым шпатам (6), однако в отличие от них не имеет спайности. Цветовая палитра нефелина разнообразна от светло-серого, белого, розового до зеленого, однако, так или иначе, он относится к калиевым (светлоокрашенным минералам). Нефелин склонен образовывать правильные гексагональные, квадратные, прямоугольные вкрапленники, сплошные массы, редко хорошо оформленные кристаллы. Поверхность его часто выветрелая, матовая, в изломе наблюдается жирный блеск. Минерал не встречается с кварцем, от которого отличается меньшей твердостью и парагенезисом. В ассоциации с нефелином можно найти *эгирин*, *сфен*, *апатит*, *арфведсонит*, *КПШ*, *альбит*.

КАРКАСНЫЕ АЛЮМОСИЛИКАТЫ
(полевые шпаты)

Название минерала	Плагиоклазы
Химический состав	Альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (Ab) -Анортит ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$)(An) Олигоклаз (10-30% An), Андезин (30-50% An), Лабрадор (50-70% An), Битовнит (70-90% An)
Разновидности	<i>клевеландит</i> – пластинчатый альбит, <i>лунный камень</i> – альбит с оптическим эффектом перелива в голубых тонах; <i>сахаровидный альбит</i> – мелкозернистый агрегат альбита
Сингония	триклинная
Облик кристаллов	хорошо образованные кристаллы встречаются, их облик таблитчатый и таблитчато-призматический, характерны полисинтетические двойники
Морфология агрегатов	зернисто-кристаллические агрегаты, друзы (<i>клевеландит</i>), сахаровидные разновидности
Цвет	белый, серовато-белый, иногда с зеленоватым, синеватым отливом, <i>лабрадор</i> – темно-серый с эффектом иризации
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный
Спайность	совершенная
Твердость	6,0
Удельный вес (г/см^3)	2,6-2,7
Диagn. признаки	полисинтетические двойники, косой угол спайности
Парагенезис	разнообразный
Генезис	магматический, регионально-метаморфический, пегматитовый и др.
Применение	облицовочный материал, стекольное производство



Рис. 127. Разновидности плагиоклазов: альбит (лунный камень; клевландит); лабрадор

КАРКАСНЫЕ АЛЮМОСИЛИКАТЫ
(полевые шпаты)

Название минерала	КПШ – калиевые полевые шпаты
Химический состав	(K[AlSi₃O₈]) санидин; ортоклаз; микроклин
Разновидности	<i>амазонит</i> – зелено-голубая разновидность микроклина
Сингония	моноклинная (санидин, ортоклаз), триклинная (микроклин)
Облик кристаллов	таблитчатые или призматические кристаллы, часты двойники
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов (санидин), зернистые, плотные массы (ортоклаз, микроклин)
Цвет	светлоокрашенный (санидин) с кремовым, телесным (ортоклаз), мясо-красным оттенком (микроклин)
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный, на плоскостях спайности слегка перламутровый
Спайность	совершенная
Твердость	6,0
Удельный вес (г/см ³)	2,6
Диагн. признаки	Угол между плоскостями спайности близок к прямому
Парагенезис	разнообразный
Генезис	пегматитовый, кислые магматические породы
Применение	керамическая промышленность, облицовочный материал



Рис. 128. Пертиты распада (вроски альбита в КПШ)

КАРКАСНЫЕ АЛЮМОСИЛИКАТЫ
(фельдшпатыды)

Название минерала	Нефелин
Химический состав	Na[AlSiO₄]
Разновидности	
Сингония	гексагональная
Облик кристаллов	призматический, короткостолбчатый, толстотаблитчатый
Морфология агрегатов	вкрапленники кристаллов правильных очертаний, сплошные, зернистые массы
Цвет	разнообразный от серовато-белого, буровато-красного до светло-зеленого
Цвет черты	белая
Блеск	стеклянный на плоскостях спайности, в изломе – жирный
Спайность	отсутствует
Твердость	5,0-6,0
Удельный вес (г/см ³)	2,6
Диагн. признаки	жирный блеск, замещается вторичными продуктами разложения
Парагенезис	эгирин, сфен, апатит, альбит, КПШ
Генезис	щелочные магматические породы и их пегматиты
Применение	керамическая и стекольная промышленность, источник алюминия



Рис. 129. Сплошные массы нефелина с жирным блеском в изломе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ознакомление с информацией, содержащейся в учебном пособии, помогает студенту сформировать общие представления и понятия по дисциплине «Основы кристаллографии и минералогии» и усвоить главные вопросы, поднимаемые в пределах учебного курса. Знание и понимание терминов и понятий, изложенных в представленном пособии, достаточно для успешной сдачи экзамена или зачета по предмету. Диагностические таблицы выступают вспомогательным базовым материалом, позволяющим быстро ориентироваться при диагностике минералов. Системное и постепенное заучивание и сдача табличных данных формирует накопление знаний о минералах, необходимых для интуитивного определения образцов. Постоянная работа с учебной коллекцией с использованием методического пособия способствует успешной сдаче итогового зачета, либо экзамена в срок, облегчая самостоятельную работу студента при приобретении навыков визуальной диагностики минералов.

Список литературы:

- 1) Бетехтин А.Г. Курс минералогии. – М.: Книжный дом «Университет», 2008. – 736с.
- 2) Булах А.Г. Общая минералогия: Учебник. – 3-е изд. – СПб.: Издательство С-Петербур. Ун-та, 2002. – 350 с.
- 3) Булах А.Г., Кривовчев В.Г., Золотарев А.А. Общая минералогия. – 4-е изд., пер. и доп.- М.: Академия, 2008. – 416с.
- 4) Голубова Н.В. Учебно-методическое пособие по дисциплине «Минералогия» по направлению «Геология». – Ростов на Дону: ЮФУ, 2008. – 51 с.
- 5) Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия: учебник. – М.: КДУ, 2005. – 592 с.
- 6) Кантор Б.З. Минерал рассказывает о себе. – М.: Недра, 1985. – 135с.
- 7) Кеплер И. О шестиугольных снежинках. М.: Наука, 1983. – 188 с.
- 8) Макуров С. Л. Конспект лекций по курсу «Кристаллография и минералогия» для студентов специальностей 8.090401, 8.090404, 8.090406, Мариуполь, 2002, – 110с.
- 9) Михеев В.А. Геология: учебное пособие по курсу «Науки о Земле» для студентов, обучающихся по специальности 28020265 Инженерная защита окружающей среды. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. –109 с.
- 10) Новоселов К.Л. Руководство к лабораторным занятиям и самостоятельной работе по геометрической кристаллографии, Томск: ТПУ, 2006. – 52с.
- 11) Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография. – М.: Высшая школа, 1972. – 352с.
- 12) Попов Ю.В., Костюк Ю.Н., Иванов В.В. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Общая геология». Часть 3. Магматические породы для студентов 1 курса очного отделения геологических специальностей геолого-географического факультета. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГ, 2001. – 21с.
- 13) Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем под редакцией Д.В. Гричука, – М.: Научный мир, 1999. – 2000с.

<http://zablugdeniyam-net.ru/priroda/stalaktity-i-stalagmity>

<http://geo.web.ru/mindraw/cristall1.htm>

<http://www.fmm.ru/vitriny/vitr124ru.htm>

Примеры вопросов текущего контроля по кристаллографии

- 1) В комбинации кубической сингонии могут встречаться простые формы тетрагональной сингонии?
- 2) Диэдры, моноэдры, пинакоиды в большей степени характерны для какой категории?
- 3) Гексагональная дипирамида имеет единственную ось какого порядка?
- 4) Сколько осей второго порядка имеет тетрагональная призма и как они проходят?
- 5) Октаэдр – простая форма какой сингонии, сколько у него граней?
- 6) Ромбическая призма – это простая форма какой категории?
- 7) В какой сингонии встречается ромбододекаэдр, какую фигуру представляет его грань?
- 8) Какие элементы симметрии Вы знаете?
- 9) Какие скаленоэдры Вы знаете?
- 10) Что такое ось симметрии?
- 11) В какой категории отсутствуют единичные направления?
- 12) Сколько осей второго порядка и каким образом проводят в гексагональной призме?
- 13) Назовите элементы симметрии тригонального трапецоэдра.
- 14) К какой категории относятся кристаллы, у которых нет осей симметрии порядка выше, чем L_2 ?
- 15) В какой категории встречается ромбоэдр?
- 16) Какая фигура располагается в поперечном сечении ромбической призмы?
- 17) В какой категории встречается тетраэдр, какой многоугольник образуют его грани?
- 18) Сколько всего видов симметрии установлено?
- 19) Есть ли у пинакоида центр?
- 20) Сколько категорий существует?
- 21) Для какой категории характерны трапецоэдры?
- 22) Что такое моноэдр?
- 23) Главная ось какого порядка проходит в ромбоэдре?
- 24) Какие Вам известны инверсионные оси симметрии?
- 25) В какой категории имеются единичные оси высшего порядка?

Вопросы для подготовки к контрольной работе_1

1. Химический состав, кристалломорфология, физические свойства, генезис, парагенезис и практическое значение следующих минералов: золото, медь, сера, графит, алмаз, халькозин, галенит, антимонит, молибденит, пирит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, смальтин, кобальтин, никелин, борнит, сфалерит, киноварь, реальгар, аурипигмент, галит, флюорит, куприт, гематит, корунд, рутил, кварц, пиролюзит, магнетит, хромшпинелид, гетит, гидрогетит, псиломелан, кальцит, доломит, магнезит, сидерит, смитсонит, арагонит, церуссит, малахит, азурит, барит, гипс, вольфрамит, апатит.

2. Назовите отличительные признаки: золото-пирит, золото-халькопирит, медь-борнит, сера-аурипигмент, графит-молибденит, галенит-антимонит, галенит-халькозин, пирит-халькопирит, пирит-пирротин, арсенопирит-смальтин, арсенопирит-кобальтин, смальтин-кобальтин, борнит-никелин, никелин-медь, киноварь-реальгар, флюорит-галит, гематит-куприт, куприт-рутил, вольфрамит-сфалерит, псиломелан-пиролюзит, магнетит-хромшпинелид, мартит-гематит, мушкетовит-магнетит, гетит-лимонит, гематит-гетит, хромшпинелид-корунд, рутил-корунд, барит-кальцит, гипс-кальцит, гипс-галит, магнезит-сидерит, доломит-кальцит, арагонит-кальцит, корунд-кварц, апатит-кварц, апатит-флюорит.

Содержание контрольной работы:

Практическая часть включает определение минералов в 5 образцах с ответом по следующей форме:

Образец 1

1. Галенит PbS
2. Пирит FeS₂

Теоретическая часть

Включает ответ в письменной форме на 2 вопроса:

Первый вопрос: описание трех минералов, перечисленных в п. 1

Второй вопрос: отличительные признаки двух пар минералов, приведенных в п. 2 Образец ответа на второй вопрос:

Пирит FeS ₂	Халькопирит CuFeS ₂
1. Сингония Кубическая	Тетрагональная
2. Облик кристаллов Кубы, октаэдры, пентагондодекаэдры, штриховка на гранях	Тетраэдры штриховка отсутствует
3. Твердость 6-6,5	3-4

Вопросы для подготовки к контрольной работе_2

1. Химический состав, кристалломорфология, физические свойства, генезис, парагенезис и практическое значение следующих минералов: оливин, циркон, топаз, сфен, ставролит, эпидот, гранаты, берилл, турмалин, волластонит, родонит, энстатит, бронзит, гиперстен, диопсид, геденбергит, эгирин, сподумен, тремолит, актинолит, роговая обманка, арфведсонит, глаукофан, мусковит, биотит, флогопит, лепидолит, пеннин, тальк, серпентин, каолинит, альбит, лабрадор, ортоклаз, микроклин, нефелин.

2. Назовите отличительные признаки: оливин-гроссуляр, циркон-сфен, циркон-андрадит, ставролит-андрадит, ставролит-роговая обманка, ставролит-турмалин, турмалин-берилл, эпидот-диопсид, топаз-берилл, эпидот-турмалин, энстатит-сподумен, энстатит-тремолит, диопсид-актинолит, диопсид-гроссуляр, диопсид-серпентин, диопсид-пеннин, диопсид-эпидот, диопсид-берилл, диопсид-роговая обманка, эгирин-геденбергит, эгирин-арфведсонит, эгирин-роговая обманка, актинолит-роговая обманка, арфведсонит-роговая обманка, биотит-флогопит, мусковит-тальк, пеннин-серпентин, тальк-каолинит, альбит-ортоклаз, микроклин-нефелин.

Содержание контрольной работы:

Практическая часть включает определение минералов в 5 образцах с ответом по следующей форме:

Образец 1

1. Альбит $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
2. Микроклин $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
3. Кварц SiO_2

Теоретическая часть

Включает ответ в письменной форме на 2 вопроса:

Первый вопрос: описание трех минералов, перечисленных в п.1

Второй вопрос: отличительные признаки двух пар минералов, приведенных в п. 2 Образец ответа на второй вопрос:

Диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	Актинолит $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$
1. Облик кристаллов	
Короткостолбчатый	Длиннопризматический
2. Углы между плоскостями спайности, ее характер	
87°	124° и 56°
Средняя спайность отдельность на гранях	Совершенная спайность отдельность отсутствует
3. Блеск	
Стеклянный	Сильный с шелковистым отливом

Итоговые вопросы по дисциплине
«Основы кристаллографии и минералогии»

1. Определение кристалла. Что понимается под симметрией, элементами симметрии кристалла?
2. Агрегатное состояние минералов, какие вещества называются кристаллическими и аморфными? Примеры
3. Классификация кристаллов. Перечислите сингонии. Охарактеризуйте их
4. Что называется простой формой и комбинацией простых форм. Номенклатура кристаллов
5. Формы реальных кристаллов. В чем проявляются отклонения форм реальных кристаллов от идеальных
6. Что называется двойником. Элементы строения двойника, типы двойников, законы двойникования
7. Охарактеризуйте химический состав минералов. Изоморфизм
8. Какие типы воды возможны в минералах
9. Охарактеризуйте оптические свойства минералов
10. Что называется твердостью минерала. Назовите шкалу Мооса
11. Какие механические свойства минералов Вы знаете
12. Назовите агрегаты минералов.
13. Охарактеризуйте эндогенные процессы минералообразования
14. Охарактеризуйте экзогенные процессы минералообразования
15. Магматический процесс и его минеральные ассоциации
16. Пегматитовый процесс и его минеральные ассоциации
17. Метаморфический процесс и его минеральные ассоциации
18. Общая характеристика самородных элементов
19. Общая характеристика сульфидов и их аналогов
20. Назовите минералы группы блесков и их свойства
21. Назовите желтые колчеданы и их свойства
22. Назовите белые колчеданы и их свойства
23. Назовите обманки и их свойства
24. Общая характеристика вольфрамов, сульфатов, фосфатов
25. Общая характеристика карбонатов
26. Общая характеристика и физические свойства галоидов
27. Общая характеристика и физические свойства окислов и гидроокислов

28. Особенности химизма и классификация силикатов
29. Общая характеристика островных силикатов
30. Назовите минералы группы граната. По каким признакам они отличаются друг от друга
31. Химический состав и физические свойства пироксенов
32. Химический состав и физические свойства амфиболов
33. Назовите отличительные признаки пироксенов и амфиболов
34. Общая характеристика слоевых силикатов
35. Химический состав и физические свойства группы слюд
36. Общая характеристика каркасных силикатов
37. Химический состав и физические свойства группы полевых шпатов
38. Назовите классификацию полевых шпатов

Учебное издание

ЧЕРКАСОВА Тамара Юрьевна

ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ И МИНЕРАЛОГИИ

Учебное пособие

Научный редактор *доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.К. Мазуров*

Корректурa *И.О. Фамилия*

Компьютерная верстка *И.О. Фамилия*

Дизайн обложки *И.О. Фамилия*

Подписано к печати 00.00.2014. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ 000-14. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский **Томский политехнический университет**
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru