

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

МИНЕРАЛОГИЯ С ОСНОВАМИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

Учебно-методическое пособие

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2022

УДК 548.11: 549.02

ББК 26.31

Ч49

Составители:

М.Н. Чернышова, О.Г. Резникова, Л.В. Гончарова

Рецензент:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор *В.М. Ненахов*

Минералогия с основами кристаллографии: учебно-методическое пособие / М.Н. Чернышова [и др.]; Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2022. – 41 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре минералогии, петрографии и геохимии геологического факультета Воронежского государственного университета. Дисциплина «Минералогия с основами кристаллографии» охватывает две взаимосвязанные области: минералогию и кристаллографию. В пособии даны основы кристаллографии, определение элементов симметрии, понятия сингоний и категорий. Составлен список минералов.

Данное пособие предназначено для студентов бакалавриата 1-го курса очной и заочной формы обучения геологического факультета, обучающихся по направлению 05.03.01 «Геология».

УДК 548.11: 549.02

ББК 26.31

Принятые сокращения к происхождению и условиям
нахождения минералов в природе

альп.	- альпийские
биоген.	- биогенное
биохим.	- биохимические
выветр.	- выветривание
вулканич.	- вулканическое
гидротерм.	- гидротермальные (буква в скобках: в. - высокотемпературные, с. - средне, н. - низкотемпературные)
грейзен.	- грейзены
зона окисл.	- зона окисления
интр.	- интрузивные
конт.-метасом.	- контактово-метасоматические
магм.	- магматические
метаморф.	- метаморфическое
осад.	- осадочные
пегмат.	- пегматиты
рос.	- россыпи
скарн.	- скарновые
ультраосн.	- ультраосновные породы
форм.	- формация
хемоген.	- хемогенное
щелочн.	- щелочные
экзоген.	- экзогенное

Основы кристаллографии

Кристаллография – наука о кристаллах. Она изучает их внешнюю форму, внутреннее строение (структуру), физико-химические свойства, происхождение.

Кристаллическими называются твердые вещества, построенные из материальных частиц – ионов, атомов или молекул, геометрически правильно расположенных в пространстве. Сетки кристаллической решетки соответствуют граням реального кристалла, места пересечения сеток – ребрам кристаллов, а места пересечения ребер – вершинами кристаллов.

Аморфными называются твердые тела, в которых частицы располагаются в пространстве беспорядочно. Иногда их называют минералоидами.

Все кристаллы обладают рядом основных специфических свойств, отличающих их от некристаллических аморфных тел. Такими свойствами являются:

Однородность строения – одинаковость узора взаимного расположения атомов во всех частях объема его кристаллической решетки

Анизотропность – различие физических свойств кристаллов (теплопроводность, твердость, упругость и другие) по параллельным и непараллельным направлениям кристаллической решетки. Свойства одинаковы по параллельным направлениям, но неодинаковы по непараллельным направлениям. В противоположность анизотропным, изотропные тела имеют одинаковые свойства во всех направлениях.

Способность самоограняться. Этим свойством – принимать многогранную форму в результате свободного роста в подходящей среде – обладают только кристаллические вещества.

Симметричность – это закономерная повторяемость в расположении предметов или их частей на плоскости или в пространстве. Сим-

метрия кристаллов соответствует симметрии их пространственных решеток. Каждый кристалл может быть совмещен сам с собой определенными преобразованиями (поворотами или отражениями), которые называются симметричными.

Основы геометрической кристаллографии

Элементы симметрии кристаллов

Геометрическая кристаллография изучает законы симметрии кристаллов, различные формы кристаллического вещества, сочетания различных форм и законы срастания кристаллов.

Каждый из кристаллов характеризуется определенной симметрией, т.е. закономерной повторяемостью одинаковых граней, ребер и углов при его вращении в пространстве.

Симметричной называется такая фигура (многогранник), отдельные части которой могут быть совмещены друг с другом посредством симметричного преобразования. Симметрическим преобразованием является действие (отражение и вращение), в результате которого все равные части фигуры совмещаются друг с другом и фигура совмещается сама с собой. Каждому симметрическому преобразованию соответствует некоторый геометрический образ, называемый элементом симметрии. Этими элементами являются плоскости симметрии, центр инверсии и сложные оси симметрии.

Ось симметрии (L ; по Бравэ) – это воображаемая линия при вращении вокруг которой на 360° кристалл несколько раз повторяет своё первоначальное положение в пространстве.

Число подобных повторений получило название **порядка оси симметрии**.

В кристалле существуют оси следующих порядков, каждой из которых соответствует свой угол поворота:

L_2 – ось второго порядка ($\angle 180^\circ$)

L_3 — ось третьего порядка ($\angle 120^\circ$)

L_4 — ось четвертого порядка ($\angle 90^\circ$)

L_6 — ось шестого порядка ($\angle 60^\circ$)

В кристалле могут одновременно присутствовать несколько осей симметрии одного или разных порядков (см. рис. 1)

Обычно выходы поворотных осей располагаются либо в центрах 2-х противоположных граней, серединах ребер и вершин, либо проходят через вершину и центр грани.

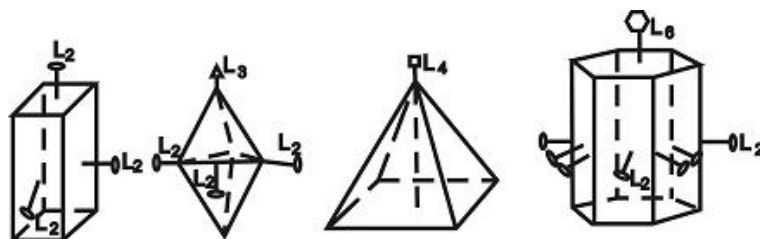


Рис. 1. Многогранники с поворотными осями разных порядков.

Плоскостью симметрии называется такая плоскость, которая делит кристалл на две зеркально-равные части, расположенные относительно друг друга как предмет и его зеркальное отражение.

Плоскость симметрии обозначается латинской буквой P (по Бравэ). Если плоскостей симметрии в данном кристалле несколько, то перед обозначением плоскости ставится их число.

В кристаллах может быть 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 9 плоскостей. Теоретически можно доказать, что восьми и более девяти плоскостей симметрии в кристаллах быть не может. Многие кристаллы вообще не имеют ни одной плоскости симметрии.

Плоскости симметрии проходят через середины граней и ребер перпендикулярно им, или идут вдоль ребер, образуя равные углы с одинаковыми гранями и ребрами (рис. 2).

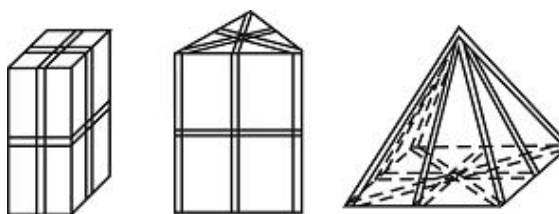


Рис. 2. Ориентировка плоскостей симметрии в различных многогранниках, || - плоскости симметрии (Р).

Центр симметрии (инверсии) – это воображаемая точка внутри кристалла, характеризующаяся тем, что любая проведенная через неё прямая по обе стороны от неё и на равных расстояниях встречает одинаковые точки многогранника.

Центр симметрии обозначается буквой *C* (по Бравэ). Если каждая грань кристалла имеет себе равную и параллельную или обратно параллельную, то данный кристалл обладает центром симметрии. В многогранниках центр инверсии встречается в единственном числе: или он есть или его нет. Некоторые кристаллы могут не иметь центра симметрии (рис. 3).

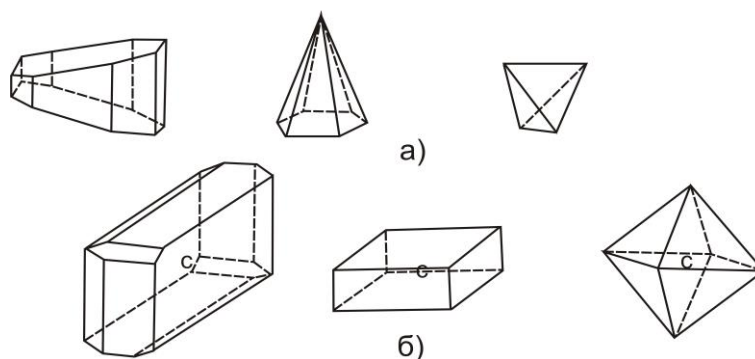


Рис. 3. Кристаллы, обладающие центром инверсии (б) и без него (а).

Кроме простых осей симметрии, в некоторых многогранниках могут присутствовать сложные оси симметрии, которые позволяют совмещать равные части фигуры путем двойной операции – поворота на определенный угол, задаваемый порядком оси и отражения в точке на этой оси. В этом случае ось называется инверсионной. В качестве самостоятельных элементов симметрии важно определять лишь инверсионные оси симметрии четвертого и шестого порядков, обозначаемых L_{i4} и L_{i6} . Другие инверсионные

оси отвечают уже известным нам элементам симметрии, так $L_{i1} = C$; $L_{i2} = P$ (перпендикулярной к ней); L_{i3} равна по действию L_3 и C (если указано наличие L_3 и C , то показывать L_{i3} не обязательно, и наоборот). Примеры многогранников с инверсионными осями разных порядков иллюстрирует рис. 4.

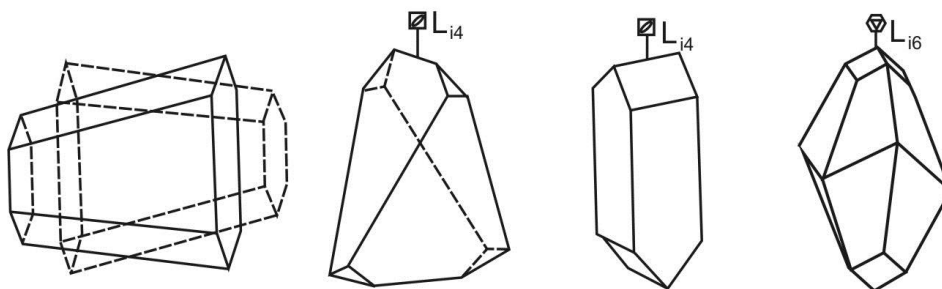


Рис. 4. Многогранники с инверсионными осями разных порядков.

Таким образом, характеризуя симметрию кристаллов, достаточно установить следующие элементы: P , C , L_2 , L_3 , L_4 , L_6 , L_{i4} , L_{i6} (по Бравэ).

Указанные элементы симметрии встречаются в кристаллических многогранниках не по одиночке, а совместно, причем сочетание их не случайно, а вполне закономерно, т.к. элементы симметрии взаимосвязаны друг с другом. Полная совокупность элементов симметрии кристалла записывается в виде формулы в следующей последовательности: оси симметрии (начиная с осей более высокого порядка), далее следуют плоскости симметрии и, наконец, центр симметрии, если он есть.

Для кристалла в виде куба полная форма записи будет $3L_44L_36L_29PC$ (рис. 5).

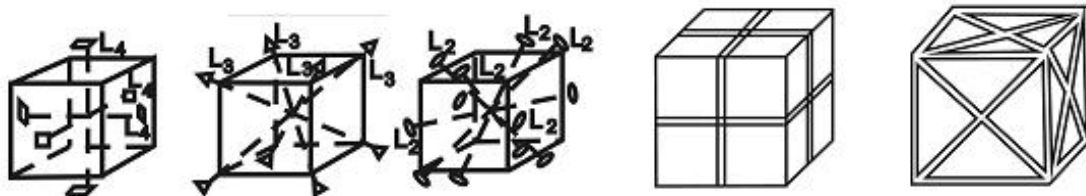


Рис. 5. Элементы симметрии куба: L_n – оси симметрии; $\parallel$ – плоскости симметрии (P).

Кристаллографические классы объединены в сингонии.

Всего различают семь сингоний, объединенных в 3 категории (табл. 1).

Название «сингония» происходит от греческого «син» - «сходно» и «гон» - «угол».

Сингонию кристалла определяют по обязательным и сходным для каждой сингонии элементам симметрии.

Таблица 1

Таблица сингоний и категорий.

Категория	Сингония	Характерные элементы симметрии
Низшая	Триклинная	Элементы симметрии отсутствуют или есть только центр симметрии (C)
	Моноклинная	Одна ось симметрии второго порядка и одна плоскость симметрии: L_2 ; P; L_2PC
	Ромбическая	Число осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии равно или больше трех: L_22P ; $3L_2$; $3L_23PC$
Средняя	Тригональная	Обязательное присутствие одной оси третьего порядка: L_3 ; L_3C ; L_33P ; L_33L_2 ; L_33L_23PC
	Тетрагональная	Обязательное присутствие одной оси четвертого порядка: L_4 ; L_4PC ; L_44P ; L_44L_2 ; L_44L_25PC
	Гексагональная	Одна ось симметрии шестого порядка: L_6 ; L_6PC ; L_66P ; L_66L_2 ; L_66L_27PC
Высшая	Кубическая	Обязательное присутствие нескольких осей четвертого или третьего порядка: $4L_33L_2$; $4L_33L_23PC$; $3L_44L_36L_2$; $3L_44L_36L_29PC$

Формы нахождения минералов

Облик кристаллов

Исходя из того, что любое тело в пространстве имеет три измерения, среди разнообразных форм кристаллов и кристаллических зерен прежде всего выделяют следующие основные типы.

1. **Изометрические** формы, то есть формы, одинаково развитые во всех трех направлениях в пространстве (рис. 6).

Примером их могут служить ромбододекаэдры граната, октаэдры магнетита, кубы пирита и др. Изометрический облик особенно характерен для минералов кубической сингонии.

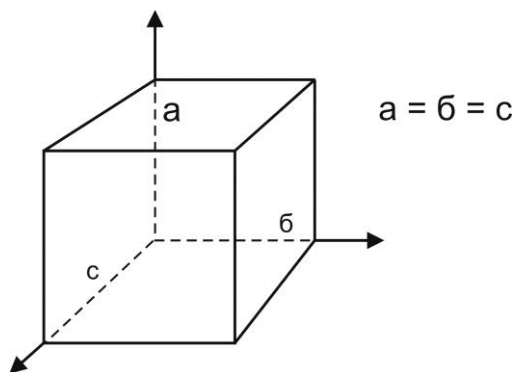


Рис. 6. Кристалл изометрического облика минерала

2. **Призматические**, то есть формы, вытянутые в одном направлении (рис. 7): столбчатые, шестоватые, игольчатые, волокнистые кристаллы, волокнистые образования. Например, кристаллы аквамарина, турмалина и другие.

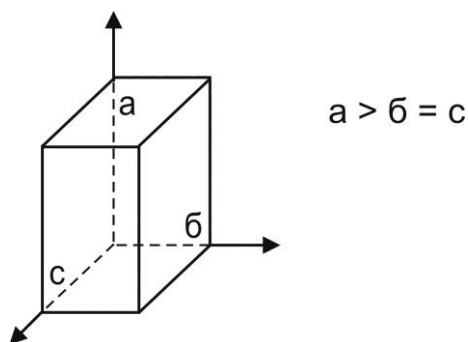


Рис. 7. Кристалл призматического облика

3. **Уплощенные** формы, вытянутые в двух направлениях при сохранении третьего короткого. Сюда следует отнести таблитчатые, пластинчатые, листоватые и чешуйчатые кристаллы. Таковы, например, кристаллы гематита; слюд (рис. 8).

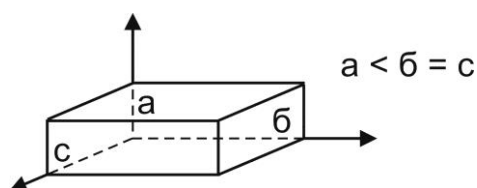


Рис. 8. Кристалл уплощенного облика

Помимо облика кристаллических индивидов различают так же габитус кристаллов, относящийся лишь к хорошо ограненным минералам. В этом случае минералы одного и того же облика, например столбчатого, могут иметь различный габитус, например дипирамидальный или призматический.

Минеральные агрегаты

В природе относительно редко встречаются отдельные хорошо ограниченные кристаллы, чаще минералы образуют различные скопления или срастания различной формы зерен. Эти скопления называют минеральными агрегатами.

Зернистые агрегаты - обладают небольшим распространением в земной коре. Это сплошные массы произвольно сросшихся зерен одного (мономинеральные) или нескольких (полиминеральные) минералов. Каждое зерно - не ограничившийся, не оформившийся кристалл, выросший в стесненных условиях. Этот тип агрегатов представлен в земной коре наиболее широко. Характерный пример - полнокристаллические магматические породы (граниты и пр.; рис.9).



Рис. 9. Зернистый агрегат.



Рис. 10. Землистые конкреции

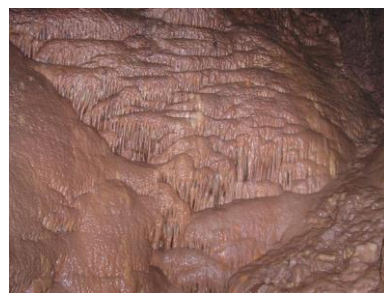


Рис.11. Кальцитовые натёки

По величине слагающих зерен среди них выделяют: 1) крупнозернистые - (более 5мм в поперечнике); 2) среднезернистые - (1-5мм); 3) мелкозернистые - (менее 1мм)

Агрегаты бывают мономинеральными, т. е. состоящими из зерен одного минерала и полиминеральными, сложенными несколькими различными минералами. Выделяют несколько видов минеральных агрегатов.

Землистые агрегаты - порошкообразные, рыхлые мягкие минеральные массы скрытокристаллического строения, обычно пачкают руки, легко распадаются на мелкие комочки (рис.10).

Сажистые - (черного цвета) или **охристые** (желтого, бурого и других ярких цветов). Образуются в процессе химического выветривания. Примером являются марганцевые руды.

Натечные формы выделений минералов образуются на стенках пустот при медленном испарении или охлаждении поступающих туда растворов. Эти образования имеют разнообразную форму: почковидную, гроздевидную, неправильную, цилиндрическую. Натёки, свисающие в виде сосулек со сводов пустот, называются сталактитами, поднимающиеся им навстречу со дна пустот - сталагмитами. Характерным примером натечных образований являются: лимонит, малахит, кальцит (рис.11).

Друзы - представляют собой сростки хорошо образованных кристаллов, выросших на стенках каких-либо пустот (рис.12).

Сам факт наличия в друзах хорошо образованных кристаллов свидетельствует о том, что они возникли в свободном пространстве, т е в каких-либо первичных пустотах, полых трещинах, раздробленных породах и т. д. Размеры пустот бывают самые различные, начиная с мелких пор и кончая пещерами, называемыми иногда «хрустальными погребками», в которых стенки усеяны крупными кристаллами прозрачного кварца и других минералов.



Рис. 12. Друза кварца.



Рис. 13. Кристаллическая щетка

Такие минеральные образования, в которых кристаллические индивиды, тесно соприкасаясь, вытянуты более или менее параллельно друг другу, носят название **гребенчатых** или **щетковидных** агрегатов (рис.13). Очевидно, кристаллы, зародившиеся на стенках полости, еще в начальные моменты роста вошли в соприкосновение друг с другом и в дальнейшем, в условиях стесненной обстановки, могли развиваться лишь в одном направлении, перпендикулярном к этим стенкам. К этой же категории образований относятся кристаллические корки, образованные мелкими, тесно сросшимися кристалликами, и щетки кристаллов.

Реже встречаются другие виды минеральных агрегатов: жеоды, секреции, конкреции.

Жеода - геологическое образование, замкнутая полость в осадочных (преимущественно в известковых) или некоторых вулканических породах, частично или почти целиком заполненная скрытокристаллическим или явнокристаллическим минеральным веществом, агрегатами минералов; полая крупная секреция. Форма жеоды может быть любая, но чаще она изометричная, округлая, эллипсоидальная и пр. (рис.14).



Рис. 14. Жеода



Рис. 15. Секреция



Рис.16. Конкреция

В жеодах минеральное вещество откладывается послойно от стенок к центру, а в случае ритмичности процессов поступления минерального вещества образуются концентрические зональные слои (например, в агатах) или наслаивающиеся одна на другую друзовые корки. Поверхность внутренней полости жеоды может быть образована кристаллами, почковидной

коркой, сталактитоподобными натёками и другими минеральными агрегатами. Самые большие жеоды могут достигать в поперечнике более 1 м. Маленькие жеоды в изменившихся эффузивах называются миндалинами (минимальная величина - менее 1 см).

Особенно часто встречается жеоды, состоящие из минералов группы кварца. Но обычны и для многих других минералов, отлагающихся в пустотах.

Секрции получаются, когда какая-либо полость в горной породе заполняется минеральным веществом, растет от периферии к центру (рис.15). Часто в центре секрций располагаются друзы. Наиболее известны секрции халцедона с друзами кварца внутри, приуроченные к миндалинам в базальтах.

Конкреции - это шаровидные (иногда как бы сплюснутые, неправильно округленные) агрегаты радиально-лучистого строения (рис.16). В их центре нередко находится зерно, которое служило затравкой при росте конкреции. Чаще всего они образуются в пористых осадочных породах - песках и глинах. Примером могут служить конкреции сидерита, марказита и фосфоритов. Размеры этих образований от миллиметров до десятков сантиметров.

Параллельно-шестоватые и волокнистые агрегаты обычно образуются в трещинах. Это - жилки шелковистого гипса, серпентин-асбеста, шестоватого кальцита.

Оолиты по способу образования во многом аналогичны конкрециям. Это такие же сферические образования, но малых размеров (от десятых долей миллиметра до 10 мм), возникающие в водных средах вокруг взвешенных посторонних тел - песчинок, обломков органических остатков и даже пузырьков газа (рис.17). Характерной особенностью оолитовых стяжений является их явно выраженная, довольно правильная концентрическая слоистость.

стость, иногда скорлуповатость. Аналогичные по форме, но не обладающие концентрической слоистостью образования называют псевдоолитами (бобовинами). Осадочные породы, состоящие из сцементированных оолитовых стяжений, в зависимости от размеров носят название гороховых камней.



Рис.17. Оолиты

Налеты и примазки, встречающиеся иногда в виде тонких пленок на поверхности кристаллов, могут представлять собой различные по составу вещества. К их числу можно отнести, например, тонкие пленки бурых гидроксидов железа на кристаллах горного хрусталя, примазки медной зелени и сини в горных породах, вмещающих медные месторождения, и др.

Выцветами называют обычно периодически появляющиеся на поверхности руд, горных пород, сухих почв и в трещинах рыхлые пленки и корочки или спорадически рассеянные моховидные и пушистые образования каких-либо солей, чаще всего легкорастворимых водных сульфатов. В дождливые периоды года они, как правило, исчезают, а в сухую погоду вновь появляются.

К этому же типу образований следует отнести довольно часто наблюдающиеся дендритоподобные выделения гидроксидов марганца на поверхности пород вдоль тонких трещин.

Физические свойства минералов.

Физические свойства минералов имеют большое практическое значение и очень важны для диагностики минералов. Каждый минерал характеризуется какими-либо особыми признаками, по которым его можно всегда отличить от других минералов.

Цвет. Это свойство, которое, прежде всего, обращает на себя внимание любого исследователя. Одни минералы имеют определенный цвет, по которому можно практически безошибочно определить минерал: красного цвета киноварь, золотисто-желтого цвета пирит, зеленого цвета малахит и другие. Другие минералы - турмалин, гранат, флюорит, берилл, кварц - имеют различную окраску. Встречаются и такие минералы, которые имеют разный цвет в одном и том же кристалле: один конец кристалла турмалина может быть окрашен в черный, другой - в зеленый цвет, а середина бесцветная или розовая. Это *полихромные минералы*. К таким минералам можно отнести флюорит, кварц, кальцит, топаз и др.

Цвет минералов зависит от их внутренней структуры, от механических примесей и, главным образом, от присутствия элементов-хромофоров, т.е. элементов - носителей окраски. Это Cr, V, Ti, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, U, Mo и некоторые другие. Эти элементы могут быть *основными элементами минерала* (Cu в малахите; Mn в родоните), а могут входить в состав минерала лишь в виде *примесей*. Так, примесь Cr вызывает зеленую окраску в изумруде - разновидности берилла $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ и красную окраску в рубине - разновидности корунда Al_2O_3 .

А.Е.Ферсман выделял следующие цвета (окраски) минералов:

1. Идиохроматическая (собственная) окраска, обусловленная особенностями химического состава, кристаллической структуры, присутствием ионов-хромофоров или электронно-дырочных центров окраски.

2. Аллохроматическая, связанная с механическими включениями ярко окрашенных посторонних минералов (например, буро-коричневый авантюрин - кварц, содержащий тонко рассеянные чешуйки гематита Fe_2O_3 ; розовый ортоклаз за счет механической примеси гематита; зеленый шеелит за счет тонко рассеянной примеси малахита по микротрещинам и др).

3. Псевдохроматическая окраска, связанная с рассеянием света, интерференцией световых волн (побежалость, иризация, опалесценция). Например, яркая фиолетовая и синяя побежалость у борнита Cu_5FeS_4 ; зеленоватая и красная побежалость у халькопирита CuFeS_2 ; яркая синяя иризация лабрадора.

Интенсивность окраски зависит от агрегатного состояния и характера поверхности минералов. В крупных кристаллах и грубозернистых агрегатах окраска многих минералов обычно темнее, чем в мелких зернах, тонкозернистых или дисперсных агрегатах.

Природа окраски многих минералов до настоящего времени не установлена. Вместе с тем, умение правильно определять и интерпретировать цвет минералов очень важно для геологов. Так, зеленые примазки малахита указывают на наличие первичных медных руд; розовые порошковатые налеты - на руды кобальта; бурые и ржавые окраски гидроксидов железа могут свидетельствовать о наличии зоны окисления рудного месторождения.

Важным приемом определения цвета минерала при его диагностике является определение цвета его порошка или *цвета черты*, оставленной минералом на не глазурированной шероховатой фарфоровой пластинке (бисквите). Цвет минерала в порошке может отличаться от цвета самого минерала. В тонком порошке часто легче оценить истинную окраску минерала. Однако, это возможно лишь для минералов, твердость которых невелика. Часто одинаковые на вид минералы имеют разную черту. Так, черта гематита - вишнево-красного цвета, хромита - желто-бурая, сфалерита - темно-коричневая, хотя все эти минералы в образце могут иметь черную окраску. Напротив, золотисто-желтый пирит имеет черного цвета черту. Это различие используется как важный прием в диагностике минералов.

Блеск. Это эффект, вызываемый отражением света от поверхности минерала. Блеск минералов зависит от разных факторов. Прежде всего, от

показателя преломления, т.е. величины, характеризующей разницу в скорости света при переходе из воздушной в кристаллическую среду. Выделяют два главных различимых на глаз вида блеска – металлический и неметаллический.

Металлический блеск имеют те непрозрачные минералы, которые (независимо от их окраски) дают черную черту на неглазурованной фарфоровой пластинке. Такой блеск характерен для пирита, галенита, халькопирита. Полуметаллический блеск напоминает блеск потускневшего металла. Он характерен для графита, гематита и пр.

Неметаллический блеск имеют минералы, дающие слабоокрашенную цветную черту.

Неметаллический блеск подразделяется по мере уменьшения количества отражаемого цвета:

- а) *алмазный* - очень сильный, например, у сфалерита;
- б) *стеклянный* – подобный отражению света от стекла, например, у кварца;
- в) *жирный* - менее интенсивный, чем стеклянный: минерал выглядит, как будто его поверхность покрыта тонким слоем масла; возникает при рассеянии света микроскопическими неровностями поверхности, например, у талька;
- г) *матовый* - главным образом у землистых минералов, например, у каолинита.

Блеск зависит также от шероховатостей, рельефа граней, от неровностей зернистых, параллельно-волокнистых, пластинчатых и других минеральных агрегатов, от степени трещиноватости минерала. Блеск одних и тех же минералов на гранях кристаллов и в их изломе и агрегатах бывает различный. Это важно использовать при визуальной диагностике минералов. Так, гипс имеет стеклянный блеск на гранях кристалла, матовый - в зерни-

стых агрегатах, шелковистый - в волокнистых агрегатах. Самородная сера имеет алмазный блеск на гранях кристалла, а в изломе блеск минерала жирный.

Плотность. Плотность минералов колеблется от 1,0 до 22,7 г/см³ (см. табл. 2). Чем больше атомные веса химических элементов, составляющих минерал, тем обычно больше плотность минерала - тяжелые минералы состоят из элементов, располагающихся в нижней части таблицы Д. И. Менделеева.

Грубая оценка плотности состоит в отнесении минерала к одной из категорий - легких (плотность менее 2,5 г/см³), средних (2,5-4 г/см³) или тяжелых (более 4 г/см³). Такое определение требует навыка и производится прикидкой на руке тяжести данного минерала по сравнению с каким-либо известным. Для этого нужно, чтобы образец был достаточно крупным и состоял в значительной своей части из испытуемого минерала.

Минералы переменного состава имеют непостоянную плотность. Например, плотность плагиоклазов изменяется от 2,61 (альбит Na[AlSi₃O₈]) до 2,77 г/см³ (анортит Ca[Al₂Si₂O₈]). Возрастание плотности происходит строго пропорционально увеличению количества анортитового компонента в плагиоклазе.

Таблица 2

Условные группы и примеры значений плотности минералов

Легкие	Средние	Тяжелые	Очень тяжелые
менее 2,7 г/см ³	2,7-4,5г/см ³	4,5-8,5 г/см ³	Больше 8,5 г/см ³
Лед 0,9	Биотит 2,8-3,2	Пирротин 4,6	Медь 8,9
Сера 2,0	Турмалин 3,0	Пирит 5,0	Серебро 10,5
Графит 2,1	Роговая обманка 3,0	Магнетит 5,2	Золото 15,0
Гипс 2,3	Флюорит 3,1	Гематит 5,3	Платина 14-19
Полевые шпаты 2,5	Алмаз 3,5	Шеелит 6,1	
Берилл 2,6	Топаз 3,5	Касситерит 6,8	
Кальцит 2,7	Корунд 4,0	Вольфрамит 7,0	
Кварц 2,7	Барит 4,5	Галенит 7,4	
		Киноварь 8,1	

Входящие в состав минералов анионы (OH^{1-} , F^{1-}) и молекулы воды понижают плотность минералов.

Плотность минералов зависит также и от их кристаллической структуры. Так, минералы одинакового состава с разной степенью компактности кристаллической структуры имеют разную плотность: например, алмаз - 3,5, графит – 2,2 г/см³.

Механические свойства минералов.

К числу механических свойств относят твердость, спайность, излом, отдельность, хрупкость, ковкость и другие. Эти свойства обнаруживаются при механическом воздействии на минерал: сжатии, растяжении, ударе. К важнейшим механическим свойствам относят спайность и твердость.

Твердость. Под твердостью подразумевается степень сопротивления минерала внешним механическим воздействиям. Она отражает прочность химических связей между атомами и зависит от типа химических связей.

Таблица 3.

Шкала твердости Мооса и значения микротвердости эталонных минералов в МПа

Название минерала	Формула	По шкале Мооса	В абсолютных величинах, МПа
Тальк	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	1	24
Гипс	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	360
Кальцит	$\text{Ca}[\text{CO}_3]$	3	1090
Флюорит	CaF_2	4	1890
Апатит	$\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})[\text{PO}_4]_3$	5	5360
Ортоклаз	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	6	7950
Кварц	SiO_2	7	11200
Топаз	$\text{Al}_2(\text{OH F})_2[\text{SiO}_4]$	8	14270
Корунд	Al_2O_3	9	20600
Алмаз	C	10	100600

Для быстрой диагностики минералов их твердость определяют методом царапания с помощью простых эталонов твердости, используя шкалу Мооса, предложенную еще в 1824 году. В этой шкале каждый последующий минерал острым концом царапает предыдущий эталон. Необходимо отметить относительность шкалы Мооса: если тальк имеет твердость 1, а гипс 2,

то это не означает, что гипс в 2 раза тверже талька. То же касается всех других минералов – эталонов (табл.3).

В дополнение к минералам шкалы Мооса при определении твердости можно использовать ноготь, твердость которого немного выше 2, и стекло - 5. Минералы с твердостью 1 пишат по бумаге, не царапая ее.

Спайность. Это способность кристаллов раскалываться параллельно определенным кристаллографическим плоскостям с образованием блестящих поверхностей. Плоскость спайности ориентирована параллельно фактическим или возможным граням кристалла. Для спайности определяют степень совершенства и простую форму, по которой раскалывается кристалл. Можно выделить следующие виды спайности:

весьма совершенная - кристалл колется на тончайшие пластинки с зеркальной поверхностью (слюды, тальк);

совершенная - кристалл колется с образованием ровных поверхностей; неправильный излом получается крайне редко (кальцит, галит, галенит);

средняя - при расколе кристалла образуются как ровные спайные поверхности, так и неровные поверхности излома (роговая обманка);

несовершенная - при расколе ровные спайные поверхности редки; большей частью образуется неправильный излом (берилл, апатит);

весьма несовершенная - ровные поверхности практически отсутствуют (кварц, касситерит).

Степень совершенства спайности по разным направлениям может быть различной.

В тех направлениях, где нет спайности, кристаллы раскалываются по случайным направлениям, называемым изломом. Различают *ровный*, *ступенчатый* (полевые шпаты), *неровный* (апатит, касситерит), *занозистый*

(актинолит, тремолит), *крючковатый* (самородные Au, Ag, Pt) и *раковистый* (кварц) изломы.

Вид излома иногда является характерной особенностью некоторых минералов (раковистый излом кварца), что помогает в их диагностике.

Хрупкость, ковкость. Хрупкость - это свойство крошиться под давлением или при ударе. Самородная сера - очень хрупкий минерал. Хрупкость является также диагностическим признаком блеклых руд. Самородное золото, медь, серебро - ковкие минералы. Ковкость их проявляется в том, что они могут быть легко расплющены в тонкую пластинку. Для многих минералов характерна гибкость (молибденит, хлорит, тальк), но только листочки слюды в то же время и упругие, то есть они восстанавливают первоначальное положение при снятии напряжения.

Магнитные свойства. Большинство минералов не магнитны - полевые шпаты, кальцит, кварц и другие. К слабо магнитным (парамагнитным) относят те минералы, которые приобретают магнитность под действием электрического поля. Это некоторые оксиды железа, ильменит, железистый сфалерит и другие минералы. Магнитные (ферромагнитные) минералы притягиваются магнитом. Таких минералов немного. Это магнетит FeFe_2O_4 , в меньшей степени пирротин Fe_{1-x}S , самородное железо Fe.

Специфические свойства.

Реакция с соляной кислотой. С соляной кислотой взаимодействуют минералы из класса карбонатов:

- кальцит CaCO_3 - бурно реагирует, «вскипая» в кислоте;
- доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - «вскипает» только в порошке;
- магнезит MgCO_3 – «вскипает» в горячей кислоте

Двойное лучепреломление. Двупреломление света - разложение светового луча, входящего в кристалл, на два. Это свойство характерно для карбонатов, особенно для прозрачной разновидности кальцита - исландско-

го шпата. При наложении исландского шпата на рисунок или текст явно заметно раздвоение изображения.

Физиологические свойства (воздействие на вкусовые, обонятельные и тактильные анализаторы человека). Ряд минералов можно определить по вкусу. Например, галит имеет соленый вкус, сильвин - горько-соленый. Эти минералы, кроме того, растворяются в воде. Другие минералы можно различить по запаху. При горении серы ощущается запах сернистого газа, в то время как горящий янтарь издает ароматический запах. Существенна также степень шероховатости минералов, т.е. ощущение, возникающее при прикосновении к минералу. Есть минералы жирные на ощупь (тальк), гладкие (горный хрусталь) и шершавые (каолин).

Люминесценция - способность кристаллов светиться при нагревании (флюорит), под действием ультрафиолетовых (шеелит, кальцит), рентгеновских (алмаз - люминесцирует ярким голубым или желтым цветом, на чем основан способ его выявления в массе дробленной породы на ленте транспортера на обогатительных фабриках) и других лучей.

Систематика минералов.

Крупнейшей систематической единицей является ТИП, который объединяет минералы с близким характером химических соединений, родственным типом химической связи. Выделяется пять типов:

- простые вещества;
- сульфиды и их аналоги;
- галогениды;
- кислородные соединения;
- органические соединения

Типы делятся на классы, объединяющие минералы с более близкими химическими свойствами и типом связи. Классы разделены с учетом струк-

туры минералов на подклассы, которые в свою очередь разбиты на группы на основе их химического состава и структуры.

В группах объединены минеральные виды.

Минеральный вид – совокупность минеральных индивидов, обладающих одинаковым (близким) химическим свойством и однотипной кристаллической структурой. Каждый минеральный вид определенного химического состава носит специальное название.

Среди минеральных видов по некоторым особенностям (химическому составу, структуре, физическим свойствам) выделяются разности.

Минеральные разности – обособившиеся внутри вида по характерным особенностям состава, структуры, морфологии или физических свойств, не свойственных другим индивидам этого вида.

Например: титаномагнетит – титансодержащая разность магнетита, фуксит – хромсодержащая разность мусковита.

Таблица 4

1	2	3	4	5
Название минерала, синонимы	Формула	Сингония	Разности	Происхождение
I. ТИП ПРОСТЫХ ВЕЩЕСТВ КЛАСС САМОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ <i>координационные</i>				
<i>Группа меди</i>				
Медь	Cu	куб.		экзоген., гидротерм.
Серебро	Ag	куб.		гидротерм., магм., рос.
Золото	Au	куб.		гидротерм., рос., магм.
<i>Группа платины</i>				
Поликсен	(Pt,Fe)	куб.		магм. (ультраосн.), гидротерм., рос.
КЛАСС САМОРОДНЫХ НЕМЕТАЛЛОВ <i>координационные</i>				
<i>Группа углерода</i>				
<i>слоистые</i>				
Алмаз	C	куб.		магм. (ультраосн.), рос.
<i>островные, кольцевые</i>				
Графит	C	гекс.	графитит, шунгит	магм., метаморф.
<i>Группа серы</i>				
Сера	S	ромб.		вулканич. эксгаляции, биоген-осад.
II. ТИП ГАЛОГЕНИДОВ КЛАСС ФТОРИДОВ <i>координационные</i>				
<i>Группа флюорита</i>				
Флюорит (плавиковый шпат)	CaF ₂	куб.	ратовкит	гидротерм., скарн., осад.

1	2	3	4	5
КЛАСС ХЛОРИДОВ Безводные хлориды <i>координационные</i>				
<i>Группа галита</i>				
Галит (каменная соль)	NaCl	куб.		осад. (хемоген.)
Сильвин	KCl	куб.		осад. (хемоген.)
Водные хлориды				
<i>Группа карналлита</i>				
Карналлит	KMgCl ₃ ·6H ₂ O	ромб.		осад. (хемоген.)
III. ТИП СУЛЬФИДОВ И БЛИЗКИХ К НИМ МИНЕРАЛОВ КЛАСС СОБСТВЕННО СУЛЬФИДОВ И ИХ АНАЛОГОВ (НИЗШИЕ СУЛЬФИДЫ) <i>координационные</i>				
<i>Группа халькозина</i>				
Халькозин (медный блеск)	Cu ₂ S	ромб.		зона окисл., гидротерм.
<i>Группа пирротина</i>				
Пирротин (магнитный колчедан)	Fe _{1-x} S	гекс. (мон.)	троилит	магм, скарн, гидротерм., метаморф.
Пентландит	(Fe,Ni) ₉ S ₈	куб.		магм. (в осн. и ультраосн. пор.)
<i>Группа сфалерита</i>				
Сфалерит (цинковая обманка)	ZnS	куб.	клейофан, марматит	гидротерм., осад.
<i>Группа галенита</i>				
Галенит (свинцовый блеск)	PbS	куб.		гидротерм.
<i>Группа киновари</i>				
Киноварь (красная ртутная обманка)	HgS	триг.		гидротерм.

1	2	3	4	5
<i>Группа халькопирита</i>				
Борнит (пестрая мед- ная руда)	Cu_5FeS_4	тетр.		магм., гидро- терм.
Халькопирит (медный кол- чедан)	CuFeS_2	тетр.		медистые песчаники, магм., скарн., гид- ротерм.
<i>островные</i>				
<i>Группа реальгара</i>				
Реальгар	As_4S_4	мон.		гидротерм.
<i>цепочечные</i>				
<i>Группа антимонита</i>				
Антимонит (сурьмяный блеск, стиб- нит)	Sb_2S_3	ромб.		гидротерм.
<i>слоистые</i>				
<i>Группа аурипигмента</i>				
Аурипигмент	As_2S_3	мон.		гидротерм.
<i>Группа ковеллина</i>				
Ковеллин	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$	гекс.		зона окисл.
<i>Группа молибденита</i>				
Молибденит (молибдено- вый блеск)	MoS_2	гекс.		гидротерм., магм., скарн.
КЛАСС ПЕРСУЛЬФИДОВ И ИХ АНАЛОГОВ (ВЫСШИЕ СУЛЬФИДЫ) <i>островные</i>				
<i>Группа пирит-марказита</i>				
Пирит (серный кол- чедан)	$\text{Fe}[\text{S}_2]$	куб.		магм., мета- морф., гид- ротерм., осад., скарн.
Марказит (лучистый колчедан)	$\text{Fe}[\text{S}_2]$	ромб.		экзоген., гидротерм.
Кобальтин (кобальтовый блеск)	$\text{Co}[\text{AsS}]$	куб.		гидротерм., скарн.

1	2	3	4	5
Арсенопирит (мышьяковый колчедан)	Fe[AsS]	мон.		гидротерм., скарн.
КЛАСС СУЛЬФОСОЛЕЙ островные				
Группа блеклых руд				
Теннантит	Cu ₁₂ [As ₄ S ₁₃]	куб.		гидротерм.,
Тетраэдрит	Cu ₁₂ [Sb ₄ S ₁₃]	куб.		экзоген.
цепочечные и ленточные				
Группа буланжерита				
Буланжерит	Pb ₅ [Sb ₄ S ₁₁]	мон.		гидротерм.
IV. ТИП КИСЛОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КЛАСС ОКСИДОВ И ГИДРООКСИДОВ Подкласс простых оксидов координационные				
Группа рутила				
Рутил	TiO ₂	тетр.	сагенит	магм., гидротерм., метаморф.
Касситерит (оловянный камень)	SnO ₂	тетр.		гидротерм., скарн., пегмат.
Пиролюзит	MnO ₂	тетр.		осад., кора выветр.
Группа корунда-ильменита				
Корунд	Al ₂ O ₃	триг.	рубин, сапфир, наждак	метасом., рос.
Ильменит (титанистый железняк)	FeTiO ₃	триг.		магм., рос.
Гематит (красный железняк)	Fe ₂ O ₃	триг.	железная слюдка, мартит	метаморф., осад., гидротерм.
Группа куприта				
Куприт	Cu ₂ O	куб.		зона окисл.
каркасные				
Группа кварца				
Кварц	SiO ₂	триг.	горный хрусталь, аметист, морион, раухтопаз и др.	магм., гидротерм., пегмат.

1	2	3	4	5
Полиморфные модификации:				
Тридимит	SiO ₂	гекс.		
Кристобалит	SiO ₂	тетр.		
Китит	SiO ₂	тетр.	в природе не встречен	
Коусит	SiO ₂	мон.		
Стишовит	SiO ₂	тетр.		
Халцедон	SiO ₂	крипто-морф-ный	оникс, сардоникс, агат, сердолик, хризопраз, гелиотроп, яшма	экзоген.
Опал	SiO ₂ · nH ₂ O	аморф.	благор. опал, окаменелое дерево	кора выветр., гидротерм., биоген.
Подкласс сложных оксидов координационные				
<i>Группа шпинели</i>				
Шпинель	MgAl ₂ O ₄	куб.	герценит	магм. (в основных и ультраосн. пор.), конт.-метасом., гнейсы
Магнетит (магнитный железняк)	FeFe ₂ O ₄	куб.	титано-магнетит	магм., скарн., гидротерм., метаморф.
Хромит (хромистый железняк)	FeCr ₂ O ₄	куб.		магм.
Гаусманит	MnMn ₂ O ₄	тетр.		гидротерм., метаморф.
Подкласс гидроксидов цепочечные				
<i>Группа гидроксидов марганца</i>				
Манганит	MnO(OH)	мон.		гидротерм.(н.), осад.

1	2	3	4	5
<i>Группа гидроксидов железа</i>				
Гетит	FeO(OH)	ромб.	гидрогетит (FeOOH· nH ₂ O)	экзоген. (в сост. бурых железняков, лимонитов).
<i>слоистые</i>				
Лепидокрокит	FeO(OH)	ромб.	гидролепидокрокит (FeOOH· nH ₂ O)	осад. (в сост. бурых железняков, лимонитов)
<i>Группа гидроксидов алюминия</i>				
<i>цепочечные</i>				
Диаспор	AlO(OH)	ромб.		экзоген. (в сост. бокситов), конт.-метасом.
<i>слоистые</i>				
Бемит	AlO(OH)	ромб.		экзоген. (в сост. бокситов)
Гидраргиллит (гипбсит)	Al(OH) ₃	мон.		экзоген. (в сост. бокситов)
<i>Группа брусита</i>				
Брусит	Mg(OH) ₂	триг.		конт.-метаморф.
КЛАСС КАРБОНАТОВ				
Карбонаты без добавочных анионов				
<i>островные</i>				
<i>Группа кальцита</i>				
Кальцит (известковый шпат)	Ca[CO ₃]	триг.	исландский шпат, мрамор, мел	осад., метаморф., магмат., гидротерм.
Сидерит (железный шпат)	Fe[CO ₃]	триг.		метасом., осад., гидротерм., метаморф.
Магнезит (магнезиальный шпат)	Mg[CO ₃]	триг.		метасом., гидротерм.

1	2	3	4	5
Арагонит	$\text{Ca}[\text{CO}_3]$	ромб.	конхит, жемчуг	экзоген., горячие источники
Смитсонит	$\text{Zn}[\text{CO}_3]$	триг.		зона окисл.
Церуссит (белая свинцовая руда)	$\text{Pb}[\text{CO}_3]$	ромб.		зона окисл.
Доломит	$\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$	триг.		осад., гидротерм.
Карбонаты с добавочными анионами <i>островные</i>				
<i>Группа малахита</i>				
Малахит	$\text{Cu}_2(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$	мон.		зона окисл.
Азурит	$\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$	мон.		зона окисл.
КЛАСС СУЛЬФАТОВ Сульфаты без добавочных анионов и воды <i>островные</i>				
<i>Группа барита</i>				
Барит (тяжелый шпат)	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$	ромб.		гидротерм., осад., экзоген.
Целестин	$\text{Sr}[\text{SO}_4]$	ромб.		осадоч., гидротерм.(н)
Англезит	$\text{Pb}[\text{SO}_4]$	ромб.		зона окисл.
<i>Группа ангидрита</i>				
Ангидрит	$\text{Ca}[\text{SO}_4]$	ромб.		осад.
<i>Группа тенардита</i>				
Тенардит	$\text{Na}_2[\text{SO}_4]$	ромб.		хемоген.-осадочн.
Сульфаты с добавочными анионами <i>субслоистые</i>				
<i>Группа алунита</i>				
Алунит	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6[\text{SO}_4]_2$	триг.		метасом., гидротерм., реже гипергенный
Ярозит	$\text{KFe}_3(\text{OH})_6[\text{SO}_4]_2$	триг.		зона окисл.

1	2	3	4	5
Сульфаты с водой <i>субслоистые, островные, неясной структуры</i>				
<i>Группа гипса</i>				
Гипс	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	мон.	селенит, але- бастр	осад.(хемоген.)
Мирабилит	$\text{Na}_2[\text{SO}_4] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	мон.		осад.(хемоген.)
<i>Группа купоросов</i>				
Эпсомит	$\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	ромб.		осад.(хемоген.)
Халькантит	$\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	трикл.		зона окисл.
<i>Группа квасцов</i>				
Калиевые квасцы	$\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	куб.		осад., зона окисл.
КЛАСС ФОСФАТОВ И ИХ АНАЛОГОВ Безводные фосфаты без дополнительных анионов <i>субцепочечные</i>				
<i>Группа монацита</i>				
Монацит	$(\text{Ce}, \text{La})[\text{PO}_4]$	мон.		пегмат., грейзен., рос.
Безводные фосфаты с дополнительными анионами <i>субцепочечные</i>				
<i>Группа апатита</i>				
Апатит	$\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})[\text{PO}_4]_3$	гекс.	фосфорит	магм., пегмат., конт.-метасом., биохим.
Водные фосфаты и их аналоги <i>субслоистые</i>				
<i>Группа скородита</i>				
Скородит	$\text{Fe}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ромб.		экзоген.
<i>Группа бирюзы</i>				
Бирюза	$\text{CuAl}_6(\text{OH})_8[\text{PO}_4]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	триг.		экзоген.
<i>Группа вивианита</i>				
Вивианит (синяя железная земля)	$\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	мон.		экзоген.
Эритрин	$\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	мон.		зона окисл.

1	2	3	4	5
Аннабергит	$\text{Ni}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	мон.		зона окисл.
<i>Группа урановых слюдов</i>				
Торбернит	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	тетр.		экзоген.
Карнотит	$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2[\text{V}_2\text{O}_8] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	мон.		экзоген.
КЛАСС ВОЛЬФРАМАТОВ И МОЛИБДАТОВ <i>субцепочечные, островные</i>				
<i>Группа вольфрамита</i>				
Вольфрамит	$(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{WO}_4]$	мон.	ферберит, гюбнерит	грейзен., скарн.
<i>Группа шеелита</i>				
Шеелит	$\text{Ca}[\text{WO}_4]$	тетр.		скарн., грей- зен., гидро- терм.
КЛАСС ХРОМАТОВ				
<i>Группа крокоита</i>				
Крокоит (красная свинцовая ру- да)	$\text{Pb}[\text{CrO}_4]$	мон.		зона окисл.
КЛАСС БОРАТОВ <i>островные</i>				
<i>Группа людвигита</i>				
Людвигит	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{FeO}_2[\text{BO}_3]$	ромб.		скарны
<i>кольцевые</i>				
<i>Группа буры</i>				
Бура	$\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	мон.		хемогенное (эвапориты)
<i>ленточные</i>				
<i>Группа гидроборацита</i>				
Гидробора- цит	$\text{CaMg}[\text{B}_6\text{O}_{11}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	мон.		хемоген., метасом.
<i>каркасные</i>				
<i>Группа борацита</i>				
Борацит	$\text{Mg}_3\text{ClO}[\text{B}_7\text{O}_{12}]$	ромб. (куб.)		осад.

1	2	3	4	5
КЛАСС СИЛИКАТОВ Подкласс силикатов с трехмерными каркасами (каркасные силикаты) Силикаты и алюмосиликаты без добавочных анионов и H ₂ O				
<i>Группа полевых шпатов</i>				
а) натриево-кальциевые (плаггиоклазы) (100-n)Na[AlSi ₃ O ₈]·nCa[Al ₂ Si ₂ O ₈]				
Анортит(An)	Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈] An-90-100%	трикл.		магм., пегмат., гидротерм., метаморф.
Битовнит	An-70-90%	трикл.		
Лабрадор	An-50-70%	трикл.		
Андезин	An-30-50%	трикл.		
Олигоклаз	An-10-30%	трикл.		
Альбит (Ab)	Na[AlSi ₃ O ₈] An-0-10%	трикл.		
б) калиевые полевые шпаты (КПШ)				
Санидин	(K,Na)[AlSi ₃ O ₈]	мон.		магм. (в интр.и эффузив. кислых и щелочных породах)
Ортоклаз	K[AlSi ₃ O ₈]	мон.	адуляр	
Микроклин	K[AlSi ₃ O ₈]	трикл.	амазонит	пегмат., гидротерм., метаморф.
Анортоклаз	(Na,K)[AlSi ₃ O ₈]	трикл.		
<i>Группа фельдшпатоидов</i>				
Нефелин	KNa ₃ [AlSiO ₄] ₄	гекс.		магм., конт.-метасом.
Лазурит	Na ₆ Ca ₂ (SO ₄ ,Cl,S) ₂ [AlSiO ₄] ₆	куб.		метасом., в магм.скарн.
Канкринит	Na ₆ Ca ₂ (CO ₃ ,SO ₄)(OH) ₂ [AlSiO ₄] ₆	гекс.	вишневит	магм., пегмат., метасом., по нефелину
Лейцит	K[AlSi ₂ O ₆]	куб.		магм. (в эффузивных породах)
Алюмосиликаты, содержащие H₂O				
<i>Группа цеолитов</i>				
Анальцим	Na[AlSi ₂ O ₆]·H ₂ O	куб.		магм., гидротерм.

1	2	3	4	5
Натролит	Na ₂ [Al ₂ Si ₃ O ₁₀]·2H ₂ O	ромб.		пегмат. (щелочные)
Стильбит (десмин)	Ca[Al ₂ Si ₇ O ₁₈]·7H ₂ O	мон.		гидротерм.
Подкласс силикатов с изолированными тетраэдрами и группами тетраэдров (островные без добавочных анионов)				
Группа оливина				
Оливин	(Mg,Fe) ₂ [SiO ₄]	ромб.		магм. (ультраосн.), магнезиальные скарны.
Форстерит (Fo)	Mg ₂ [SiO ₄] Fa-0-10%	ромб.		
Хризолит	Fa-10-30%	ромб.		
Гиалосидерит	Fa-30-50%	ромб.		
Гортонолит	Fa-50-70%	ромб.		
Феррогортонолит	Fa-70-90%	ромб.		
Фаялит (Fa)	Fe ₂ [SiO ₄] Fa-90-100%	ромб.		
Группа граната (Ca,Mg,Fe,Mn) ₃ (Al,Fe,Cr) ₂ [SiO ₄] ₃				
а) альмандиновый ряд (пиральспиты)				
Пироп	Mg ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	куб.		магм. (кимберлиты)
Альмандин	Fe ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	куб.		метаморф.
Спессартин	Mn ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	куб.		пегмат., граниты
б) андрадитовый ряд (уграндиты)				
Гроссуляр	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃	куб.	демантоид	конт.-
Андрадит	Ca ₃ Fe ₂ [SiO ₄] ₃	куб.	шорломит	метасом. (скарны).
Уваровит	Ca ₃ Cr ₂ [SiO ₄] ₃	куб.		гидротерм.
Группа циркона				
Циркон	Zr[SiO ₄]	тетр.	гиацинт, малакон, циртолит	магм., пегмат., рос.
Островные с добавочными анионами				
Группа титанита				
Титанит	CaTiO[SiO ₄]	мон.		пегмат.(щелочн.) магм., метасом., альп. жилы

1	2	3	4	5
<i>Группа кианита</i>				
Кианит (дистен)	$\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$	трикл.		метаморф.
Андалузит	$\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$	ромб.	хиастолит	метаморф.
<i>Группа топаза</i>				
Топаз	$\text{Al}_2(\text{F},\text{OH})_2[\text{SiO}_4]$	ромб.		пегмат., грейзен.
<i>Группа ставролита</i>				
Ставролит	$\text{Fe}_2\text{Al}_9\text{O}_7(\text{OH})[\text{SiO}_4]_4$	ромб.		метаморф.
<i>Группа эпидота</i>				
Эпидот	$\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_3(\text{OH})\text{O}[\text{SiO}_4][\text{Si}_2\text{O}_7]$	мон.		скарн., ме- таморф.
Подкласс силикатов с кольцевыми анионными радикалами (кольцевые силикаты) Метасиликаты без добавочных анионов				
<i>Группа берилла</i>				
Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	гекс.	изумруд (Cr), аквамарин (FeO, Fe ₂ O ₃) воробьевит (Li,Cs), росте- рит (Na,Li) ге- лиодор (Fe ₂ O ₃)	пегмат., грейзен., метаморф.
<i>Группа турмалина</i>				
Турмалин	$\text{Na}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Li},\text{Al})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{OH},\text{F})_4[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	триг.	шерл (Fe), дра- вит(Mg) эльбаит (Li,Al), индиголит, ру- беллит	пегмат., грейзен., метаморф., рос.
<i>Группа эвдиалита</i>				
Эвдиалит	$\text{Na}_4\text{Ca}_2\text{CeZr}[\text{Si}_3\text{O}_9]_2$	триг.	эвколит (Fe)	магм., пег- мат. (ще- лочн.)
<i>Группа диоптаза</i>				
Диоптаз (аширит)	$\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	триг.		зона окисл.
<i>Группа датолита</i>				
Датолит	$\text{Ca}_2(\text{OH})_2[\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	мон.		скарн.

1	2	3	4	5
Подкласс силикатов с непрерывными цепочками тетраэдров.				
Цепочечные силикаты				
Группа пироксенов				
а) ромбические пироксены (ортопироксены)				
Энстатит (En)	Mg ₂ [Si ₂ O ₆] F _S -0-10%	ромб.		магм.
Бронзит	F _S -10-30%	ромб.		
Гиперстен	F _S - 30-50%	ромб.		
Феррогиперстен	F _S - 50-70%	ромб.		магм., метаморф.
Эвлит	F _S - 70-90%	ромб.		магм.
Ферросилит (Fs)	Fe ₂ [Si ₂ O ₆] F _S - 90-100%	ромб.		
б) моноклинные пироксены (клинопироксены)				
Диопсид	CaMg[Si ₂ O ₆]	мон.		магм., скарн.
Геденбергит	CaFe[Si ₂ O ₆]	мон.		скарн.
Авгит	Ca(Mg,Fe,Al,Ti) [(Si,Al) ₂ O ₆]	мон.	диаллаг	магм.
Эгирин	NaFe[Si ₂ O ₆]	мон.		магм., пегмат., рос.
Сподумен	LiAl[Si ₂ O ₆]	мон.	кунцит	пегмат.
Группа пироксеноидов				
Волластонит	Ca ₃ [Si ₃ O ₉]	трикл.		скарн.
Родонит (орлец)	CaMn ₄ [Si ₅ O ₁₅]	трикл.		конт.-метаморф.
Ленточные силикаты				
Группа амфиболов				
а) ромбические амфиболы (ортоамфиболы)				
Антофиллит	(Mg,Fe) ₇ (OH) ₂ [Si ₈ O ₂₂]	ромб.	антофиллит-асбест	метаморф.
Жедрит	(Mg,Fe) ₆₋₅ Al ₁₋₂ (OH,F) ₂ [Si ₆ (Si,Al) ₂ O ₂₂]	ромб		метаморф.
б) моноклинные амфиболы				
Тремолит	Ca ₂ Mg ₅ (OH) ₂ [Si ₈ O ₂₂]	мон.	тремолит-асбест	метаморф.
Актинолит	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ (OH) ₂ [Si ₈ O ₂₂]	мон.	нефрит	метаморф.
Роговая обманка	NaCa ₂ (Mg,Fe) ₄ (Al,Fe,Ti)(OH,F) ₂ [Al ₂ Si ₆ O ₂₂]	мон.	парагасит (<Fe) гастингсит	магм., метаморф.

1	2	3	4	5
			($\text{Na} > \text{Fe}^3$) базальтич-я роговая об- манка (Fe^3/Fe^2)>	
Глаукофан	$\text{Na}_2(\text{Fe}, \text{Mg})_3\text{Al}_2$ (OH,F) ₂ [Si ₈ O ₂₂]	мон.	родусит	магм., мета- морф.
Рибекит	$\text{Na}_2(\text{Fe}, \text{Mg})_3\text{Fe}_2$ (OH,F) ₂ [Si ₈ O ₂₂]	мон.	крокидолит	магм., мета- морф.
Слоистые силикаты Силикаты с двухслойными пакетами				
<i>Группа каолинита</i>				
Каолинит	$\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	мон.		экзоген., почвы, гид- ротерм., осад.
<i>Группа монтмориллонита</i>				
Монтморил- лонит	$\text{Na}(\text{Mg}, \text{Al})_2(\text{OH})_2$ [Si ₄ O ₁₀]·nH ₂ O		гумбрин	экзоген.
<i>Группа серпентина</i>				
Серпентин, хризотил, ан- тигорит	$\text{Mg}_6(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	мон.	хризотил-ас- бест	гидротерм. (в изменен. ультраосн. породах)
Силикаты с трехслойными пакетами				
<i>Группа талька</i>				
Тальк	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	мон.	стеатит, мыль- ный камень, жировик	гидротерм. (в изменен- ных ультра- осн. пор.) метаморф.
<i>Группа слюд</i>				
а) калий-натриевые				
Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{OH}, \text{F})_2$ [AlSi ₃ O ₁₀]	мон.	серицит, фук- сит	магм., грей- зена, пег- мат., мета- морф.
б) магнезиально-железистые				
Флогопит	$\text{KMg}_3(\text{OH}, \text{F})_2$ [AlSi ₃ O ₁₀]	мон.		конт.- метасом.,

1	2	3	4	5
				кимберлиты
Биотит	$K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2$ [AlSi ₃ O ₁₀]	мон.		магм., пегмат., метаморф.
Лепидомелан	$KFe_3(OH,F)_2$ [AlSi ₃ O ₁₀]	мон.		метаморф.
в) литиевые				
Лепидолит	$KLi_{1,5}Al_{1,5}(OH,F)_2$ [AlSi ₃ O ₁₀]	мон.		пегмат.
<i>Группа хрупких слюд</i>				
Маргарит	$CaAl_2(OH,F)_2$ [Al ₂ Si ₂ O ₁₀]	мон.		метаморф., пегмат. (линии скрепления)
<i>Группа гидрослюды</i>				
Глауконит	$K(Mg,Fe,Fe,Al)(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot nH_2O$	мон.		осад.
Вермикулит	$(Mg,Fe)_3(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot 4H_2O$	мон.		вторичный по флогопиту
Силикаты с четырехслойными пакетами				
<i>Группа хлоритов</i>				
Пеннин	$(Mg,Fe)_5Al(OH)_8$ [Al _{1,25} Si _{2,75} O ₁₀]	мон.		гидротерм., метаморф
Шамозит	$Fe_4Al(OH)_8[AlSi_3O_{10}]$	мон.		осад.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Булах А.Г. Общая минералогия : учеб. пособие / А.Г. Булах // СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2000. – 356 с.
2. Бетехтин А.Г. Курс минералогии : учеб. пособие / А.Г. Бетехтин // М.: КДУ, 2008.- 736 с.
3. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия / Ю.К. Егоров-Тисменко; под ред. академика В.С.Урусова // М.: КДУ, 2005.-592 с.
4. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии : учеб. пособие / Н.А. Смольянинов // М.: Недра, 1972. – 356 с.

Дополнительная литература

1. Лазаренко Е.К. Курс минералогии : учеб. для ун-тов/ Е.К. Лазаренко // М.: Высш. школа, 1971. – 606 с.
2. Миловский А.В. Минералогия : учеб. пособие / А.В. Миловский, О.В. Кононов // М.: Изд-во МГУ, 1982. – 312с.
3. Попов Г.М. Кристаллография / Г.М.Попов, И.И.Шафрановский // М., «Высшая школа», 1972. – 352 с.

Учебное издание

МИНЕРАЛОГИЯ С ОСНОВАМИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

Учебно-методическое пособие

Составители:

Чернышова Марина Николаевна

Резникова Ольга Григорьевна

Гончарова Людмила Валентиновна