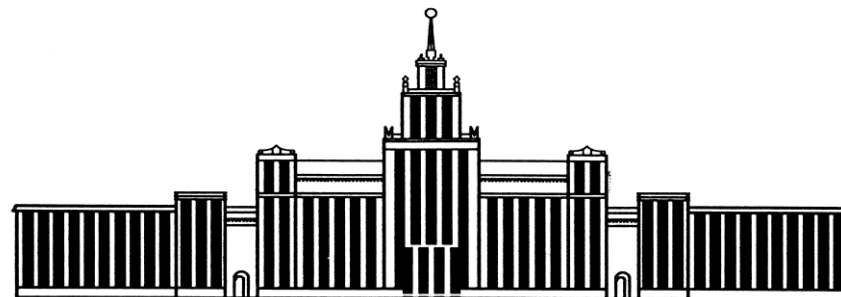


---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---



---

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

55(07)  
С389

И.В. Синяковская

**ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2**

Учебное пособие  
для самостоятельной работы студентов

---

Челябинск  
2014

---

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Филиал в г. Миассе  
Кафедра геологии

55(07)  
С389

И.В. Синяковская

# **ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ**

Учебное пособие  
для самостоятельной работы студентов

Часть 2

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2014

УДК 551(075.8)  
С389

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
геологического факультета  
филиала ЮУрГУ в г. Миассе.*

*Рецензенты:  
В.С. Шарфман, И.Ю. Мелекесцева*

**Синяковская, И.В.**

С389      **Общая геология: учебное пособие для самостоятельной работы студентов / И.В. Синяковская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – ч.2. – 85 с.**

В пособии приводятся основные понятия и определения минералогии и петрографии. Изложены диагностические свойства минералов, приведена классификация как породообразующих, так и имеющих промышленное значение минералов. Даны принципы классификации горных пород, их описание по основным генетическим группам: магматические, осадочные, метаморфические. Каждый раздел снабжен контрольными вопросами по пройденному материалу. В таблицах содержатся справочные данные по минералам и горным породам, приведен необходимый иллюстративный материал.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям «Геология» и «Строительство», при изучении ими дисциплин «Общая геология» и «Геология».

УДК 551(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Общая геология» является первым фундаментальным курсом по геологии, который изучают студенты всех вузов геологических специальностей и направлений, а также обучающиеся по направлению «Строительство». Эта дисциплина дает широкие представления о происхождении и строении Земли, о геологических эндогенных и экзогенных процессах, об основных минералах, горных породах, элементах земной коры, о взаимоотношениях геологических объектов.

Важной составляющей образовательного процесса в вузе является самостоятельная работа. Цель данного пособия – организация самостоятельной работы студентов при освоении ими знаний по минералам и горным породам. Оно написано в соответствии с учебной программой по дисциплине «Общая геология» и служит для формирования профессиональных компетенций по применению на практике базовых знаний теории и методов полевых геологических исследований, по использованию профильно-специализированных знаний фундаментальных разделов для освоения теоретических основ геологии.

Актуальность данного пособия определяется возрастающей ролью самостоятельной работы студентов при изучении дисциплин естественно-научного цикла, а новизна его состоит в изложении как информации по вещественному составу Земли, так и методики изучения минералов и горных пород в полевых и камеральных условиях.

Первая часть пособия знакомит студентов с основами минералогии. Здесь содержатся данные о главных диагностических свойствах минералов, их классификация, а также методика и последовательность определения и описания образцов минералов. Форма изложения материала доступна и удобна для использования студентами при изучении дисциплины. В таблицах приведены свойства основных минеральных видов, что позволяет самостоятельно закрепить фактический материал и использовать его в дальнейшем в практических целях.

Во второй части пособия дается понятие о петрографии, как науке о горных породах. Приведена классификация всех генетических типов горных пород – магматических, осадочных и метаморфических. Основные диагностические свойства, минеральный состав и принципы диагностики пород изложены как в текстовом виде, так и в виде таблиц, для удобства студентов при самостоятельном изучении материала.

Таким образом, учебное пособие удачно дополняет лекционный курс по «Общей геологии» сведениями, помогающими студентам самостоятельно овладеть и применять на практике методы определения минералов и горных пород в полевых и камеральных условиях.

## ГЛАВА 1. МИНЕРАЛЫ

Основным объектом изучения геологии является верхняя твердая оболочка Земли – литосфера (от греч. *litos* – камень и *sphere* – шар). Литосфера сложена горными породами, состоящими из минералов, образованных определенными сочетаниями химических элементов. В настоящее время хорошо изучен химический состав только верхней части литосферы, до глубин 15–20 км. Наиболее распространенными здесь являются следующие 8 химических элементов (мас.%): кислород – 46,50; кремний – 25,70; алюминий – 7,65; железо – 6,24; кальций – 5,79; магний – 3,23; натрий – 1,81; калий – 1,34.

### 1.1. Что такое минералы

**Минералы** – это природные химические соединения, состоящие из атомов нескольких или, реже, одного химического элемента. Большая часть минералов представлена твердыми телами (93 %), хотя среди природных химических соединений встречаются жидкие и газообразные **минеральные образования** (7 %), как, например, ртуть, вода, метан, сернистый газ и др.

В настоящее время известно более 3000 минералов. Минералы входят не только в состав земной коры. Установлено, что планеты земной группы, астероиды, Луна, метеориты, частицы космической пыли также состоят из минералов. В современных лабораториях получают искусственные минералы, являющиеся синтетическими аналогами природных минералов. Изучение минералов является одной из древней отраслей естествознания. Еще в отдаленном прошлом человеку необходимо было уметь распознавать и находить минералы для использования их в качестве орудий, а позднее – для выплавки металлов и других практических целей. Слово «минерал» произошло от греческого слова *minera* (руда), что отражает смену интереса человека к камню, как к грубому орудью интересом к камню, как источнику меди, бронзы, железа. Наука о составе, строении, свойствах и происхождении минералов называется **минералогией**.

**Минеральными индивидами** называются конечные по своим размерам кристаллические тела, т.е. отдельные кристаллы, с определенным типом кристаллической структуры и идеализированным химическим составом. Скопления минеральных индивидов – это **минеральные агрегаты**, которые слагают горные породы и руды.

**Минеральным видом** называется совокупность минералов с одинаковой структурой и составом. Каждый минеральный вид имеет собственное название. Если минералы имеют одинаковый химический состав, но различное внутреннее строение, структуру, то они относятся к различным минеральным видам и называются **полиморфными модификациями**. **Полиморфизм** (от греч. *polys* – многочисленный и

*morphe* – форма) – это свойство некоторых веществ находиться в нескольких кристаллических модификациях с разной структурой. Например, это графит и алмаз, состоящие из С, или кальцит и арагонит, с химическим составом  $\text{CaCO}_3$ .

В то же время, минералы с переменным составом могут объединяться в один минеральный вид, если это изменение непрерывно от одного крайнего члена ряда к другому. Свойство различных, но родственных по химическому составу веществ кристаллизоваться в одинаковых структурах при одном типе химической связи называется **изоморфизм** (от греч. *isos* – равный и *morphe* – форма). Изоморфные вещества могут образовывать кристаллы переменного состава в результате взаимозамещения атомов, ионов или атомных групп, т.е. так называемые твердые растворы замещения. Например, известно непрерывное изменение состава от минерала форстерита  $\text{MgSiO}_4$  до минерала фаялита  $\text{FeSiO}_4$ . Эти минералы объединяются в один минеральный вид – оливин, представляющий собой непрерывный ряд твердых растворов от существенно магниевых разновидностей до существенно железистых. Такие ряды называются **изоморфными рядами**, а крайние их члены – **изоморфными минералами**. В большинстве случаев понятия «минерал» и «минеральный вид» совпадают.

## 1.2. Генезис минералов

Генезис (греч. *genesis*) означает происхождение, возникновение, процесс образования. Например, в биологических науках генезис почв – это процесс образования почв. Аналогично и мы будем понимать под генезисом минерала его происхождение, возникновение, процесс его образования. Наука, которая изучает генезис минералов в полном объеме этого понятия, начиная с геологических факторов и физико-химической обстановки, исследуя процессы зарождения кристаллов, их роста и существования и кончая явлениями разрушения, называется **генетическая минералогия**.

В природных условиях минералы образуются различными путями. Их возникновение может быть связано как с эндогенными (от греч. *endon* – внутри и *genesis* – происхождение), так и с экзогенными (от греч. *exo* – вне, снаружи) процессами (табл. 1).

**Эндогенные процессы минералообразования** протекают при высоких и повышенных температурах и давлениях и обусловлены притоком вещества и энергии из недр в виде магмы, жидких растворов или газов. Минералы, имеющие магматогенный генезис, кристаллизуются из магматических расплавов в зависимости от температуры их плавления. Общая схема описана реакционным рядом Боуэна, согласно которому кристаллизация минералов из магмы при падении температуры

происходит последовательно – от более основных к кислым (т.е. обогащенным кремнеземом):

**Темноцветные минералы**

Оливин  $(Mg,Fe)_2SiO_4$

Пироксен  $Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$

Амфибол  $Ca_2(Mg,Fe)_5[Si_8O_{22}](OH)_2$

Биотит  $K(Mg,Fe)_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$

**Светлоокрашенные минералы**

Анортит  $CaAl_2Si_2O_8$

Ортоклаз  $KAlSi_3O_8$

Мусковит  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$

Кварц  $SiO_2$

Пегматитовое минералообразование является разновидностью магматического, когда минералы выделяются на заключительных стадиях магматического процесса из остаточных расплавов, обогащенных кремнеземом, глиноземом, щелочами и летучими компонентами.

При гидротермальном (от греч. *hydro* – вода и *therme* – тепло) минералообразовании кристаллизация происходит при остывании высокотемпературных (более 400–300 °С), среднетемпературных (300–150 °С) или низкотемпературных (150–50 °С) растворов.

Пневматолитовое минералообразование (от греч. *pneumatosis* – дуновение, воздух и *litos* – камень) характеризуется кристаллизацией минералов из паров и газов, минуя жидкую фазу.

Метаморфическое минералообразование (от греч. *metamorphosis* – превращение) связано с изменением ранее сформированных минералов под воздействием повышенных температур и давлений и при участии гидротермальных растворов.

Разновидностью метаморфического является метасоматический (от греч. *meta* – после, через, *soma* – тепло) генезис минералов, когда происходит замещение минералов новыми за счет миграции (привноса-выноса) химических элементов. Минералы контактово-метаморфического происхождения образуются в результате взаимодействия магматических расплавов и вмещающих пород. Частный случай – скарновое (от швед. *skarn* – грязь, отбросы) минералообразование – происходит на контакте магм с карбонатными породами. Как разновидность метаморфического генезиса можно рассматривать импактное (от англ. *impact* – удар), когда минералы возникают или преобразуются в результате бомбардировки метеоритами пород поверхности Земли или других планет земной группы.

Экзогенное минералообразование обусловлено геологическими процессами, действующими на поверхности Земли под влиянием свободного  $O_2$ ,  $CO_2$  атмосферы, воды, ветра, солнечной энергии. Для них характерны низкие Т и Р.

Таблица 1

### Основные минералообразующие процессы

Тип	Подтип	Группа	Подгруппа	Основные факторы минералообразования	T, °C	P, кбар
Эндогенные	Магматогенные	магматическая кристаллизация	интрузивная	T, F	600–1350	0,001–10
			эффузивная	T	1000–1600	0,001
		вулканические возгоны		F, T	100–500	0,001–1,0
		пегматитовый процесс		T, F	500–800	2,0–8,0
		контактово-метасоматический процесс	скарновая	F, T	400–800	0,5–3,0
	Метаморфические	ударный метаморфизм		P, T	десятки тысяч	до 1500
		региональный метаморфизм		P, T, F	350–1000	3,0–25,0
		контактовый метаморфизм		T, F	450–800	0,5–3,0
		дислокационный метаморфизм		P, T, F	200–850	2,0–16,0
	Гидротермальные			T, pH, Eh	30–500	0,001–3,0
Экзогенные	Выветривание и окисление	коры выветривания		O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, климат	0–50	0,001–1,0
		зоны окисления				
	Осадко накопление	химическое		T, C <sub>хэ</sub> , H <sub>бас.</sub> , гидродинамический режим	0–50	0,001–5,0
биогенное						

Примечания: T – температура, F – участие флюидов, P – давление, C<sub>хэ</sub> – концентрация химических элементов, H<sub>бас.</sub> – глубина бассейна.



Процессы выветривания. При выветривании происходят разрушение и химическое разложение горных пород и минералов под воздействием атмосферы, гидросферы и биосферы. Различают физическое и химическое выветривание. Физическое выветривание приводит к механической дезинтеграции пород, что в дальнейшем повышает их способность вступать в реакции окисления, гидратации, гидролиза, т.е. к химическому выветриванию. При химическом выветривании силикаты и алюмосиликаты подвергаются многостадийному гидролизу и разлагаются с постепенным выносом кремнезема, щелочных, щелочноземельных элементов и образованием оксидов и гидроксидов алюминия, железа и марганца. В результате возникает латеритная кора выветривания, характеризующаяся скоплением гидроксидов Al, Fe, Mn с примесью каолинита. Химическому выветриванию могут подвергаться и другие типы пород, например, соляные, карбонатные и пр.

Процессы окисления. Окисление происходит при химическом разложении рудных минералов под воздействием поверхностных и грунтовых вод, кислорода и углекислого газа атмосферы. Наиболее интенсивно в этих условиях изменяются сульфиды, за счет которых образуются сульфаты, карбонаты, оксиды и гидроксиды этих же металлов. Собственно зона окисления рудного тела формируется выше уровня грунтовых вод, в зоне просачивания поверхностных вод и аэрации. Основные образующиеся минералы: лимонит, гематит, куприт, малахит, азурит, сера, гипс, сульфаты и карбонаты Zn, Pb и др.

Процессы осадконакопления. Химическое осаждение минералов происходит: а) при коагуляции коллоидов в морском бассейне. Устойчивость коллоидных растворов разных химических элементов не одинакова, что приводит к последовательному их осаждению. Вблизи береговой линии выпадают гели гидроксидов Fe и кремнезема, далее от берега гидроксидов Al, а затем марганца; б) из пресыщенных растворов в условиях сухого и жаркого климата в бассейнах повышенной и высокой солености (озерах, мелководных лагунах) в результате испарения воды. При достижении определенной концентрации электролитов, из рассола происходит последовательная кристаллизация карбонатов, сульфатов, хлоридов, боратов; в) при взаимодействии растворов с газами, выделяющимися в водоемах (например, образование пирита FeS<sub>2</sub> при сероводородном заражении придонной части бассейна из-за разложения органического вещества).

Формирование биогенных осадков связано с а) образованием раковин, костей и других скелетных элементов организмов, за счет растворенных в морской воде химических соединений (Ca, P, SiO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и пр.) Отмирая, они образуют толщи органогенных известняков (кальцит), диатомитов и трепелов (опал) и б) образованием минералов за счет анаэробных

микроорганизмов: например, восстановление самородной серы из гипса  $\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

При описании минерала в отдельно взятом образце не всегда можно однозначно сделать вывод о его генезисе, так как один и тот же минерал может образовываться различными путями. Существуют минералы, которые могут образовываться в результате практически всех процессов минералообразования, например, кальцит.

### 1.3. Формы нахождения минералов в природе

Естественной формой образования минералов и нахождения их в природе являются кристаллы. **Кристаллы** – это твердые тела, атомы или ионы которых образуют правильные упорядоченные периодические структуры – кристаллические решетки. Размеры кристаллов могут быть самыми разнообразными – от долей миллиметра до нескольких метров. Встречаются кристаллы-гиганты. Так, в США на месторождении Клейстон найден кристалл сподумена длиной 14 м, в поперечнике – 1 м, который имеет массу 90 т. В Казахстане нашли кристалл кварца высотой с двухэтажный дом, массой 70 т. Уникальный кристалл горного хрусталя, получивший шутовское название «Малютка», хотя имеет он отнюдь не маленькие размеры: вес 784 кг, а высота 170 см, хранится в музее Уральского государственного горного университета (рис. 1.1). Кристалл найден на месторождении «Речном» и был привезен в музей в сопровождении вооруженной охраны. Дело в том, что в этом кристалле заключено около 2 кг ценнейшего пьезооптического сырья.



Рис. 1.1. Кристалл «Малютка» в музее Уральского горного университета

При описании отдельных кристаллов следует обращать внимание не только на их размер, но и форму. Внешний облик является одним из характерных признаков и определяется степенью развития кристаллов в разных направлениях:

1) если кристалл примерно одинаково развит по трем взаимно перпендикулярным направлениям, его облик будет изометричным;

2) увеличение в одном направлении последовательно приводит к короткопризматическому, длиннопризматическому, игольчатому, волокнистому облику;

3) сжатие в одном направлении определяет таблитчатый, пластинчатый, чешуйчатый, листоватый облик;

4) неравномерное развитие кристалла в разных направлениях определяет боченовидный, клиновидный, скипетровидный, сноповидный и другие облики.

Для характеристики отдельных кристаллов применяется также понятие габитуса, который определяется преобладающими гранями простых форм, представленных в огранении. Например, у пирита облик изометричный, а габитус кубический, пентагондодекаэдрический или октаэдрический.

Некоторые минералы встречаются в виде закономерно срощенных кристаллов – двойников, тройников и т.д. Двойники возникают в результате взаимного срастания или прорастания кристаллов одного и того же минерального вида. При этом двойникуюющиеся кристаллы имеют общие ребро, грань или даже часть кристалла (рис. 1.2).

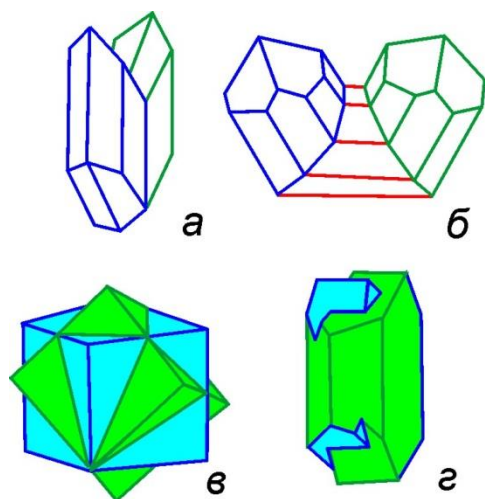


Рис. 1.2. Двойники кристаллов минералов: тип срастания (а – гипс «ласточкин хвост», б – рутил); тип прорастания (в – флюорит, г – калиевый полевой шпат)

Грани кристаллов бывают покрыты мелкими бороздами или штрихами, при этом присутствие штриховки является важным диагностическим признаком. Например, на гранях призмы кристаллов кварца наблюдается поперечная штриховка, а на гранях призмы топаза и берилла – вертикальная.

Значительная часть минералов встречается в природе не в виде отдельных кристаллов, а в виде минеральных агрегатов кристаллического, скрытокристаллического и аморфного строения. По составу минеральные агрегаты могут быть мономинеральными (от греч. *monos* – один, единственный) и полиминеральными (от греч. *polys* – многочисленный). При их описании учитывается размерность и форма отдельных зерен. По размеру слагающих их кристаллов агрегаты могут подразделяться на гигантокристаллические – более 3 см; крупнокристаллические 3–1 см, среднекристаллические 1–0,3 см, мелкокристаллические – менее 0,3 см; выделяются также скрытокристаллические агрегаты, отдельные зерна которых не видны невооруженным глазом. Если размер зерен в агрегате не выдержан, то можно употреблять смешанные определения, например крупно-среднекристаллический, средне-мелкокристаллический и т.д.

Форма минеральных агрегатов в значительной степени зависит от формы отдельных кристаллов (индивидов) и механизма их образования. В случае изометричного облика кристаллов агрегаты будут *зернистые*, если индивиды имеют вытянутую в разной степени форму, то они образуют *столбчатые, шестоватые, игольчатые, волокнистые* агрегаты. Если кристаллы обладают уплощенной формой, то агрегаты приобретают *таблитчатое, дисковидное, пластинчатое, чешуйчатое, листоватое* строение.

Иногда в строении агрегатов наблюдаются упорядоченные выделения слагающих их кристаллов, образующие звездчатые, сноповидные, сетчатые, розетковидные скопления. Например, дисковидные кристаллы гипса или кальцита, растущие из одного центра, могут образовывать красивые «каменные розы» (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Гипсовая «роза». Сахара, Алжир.

По механизму образования выделяют следующие агрегаты (рис. 1.4).

**Зернистые агрегаты** – сплошные массы произвольно сросшихся зерен одного или нескольких минералов. Каждое зерно – неогранившийся, неоформившийся кристалл, выросший в стесненных условиях.

**Друзы и щетки** (от нем. *Druse* – щетка) – сростки хорошо образованных кристаллов, имеющих общее основание. Друзы сложены удлиненными кристаллами с преимущественным ростом тех индивидов, удлинение которых совпадает с нормалью к стенке полости, а щетки обычно представлены изометричными индивидами, имеющими одинаковую ориентировку (см. рис. 1.4 а, б).

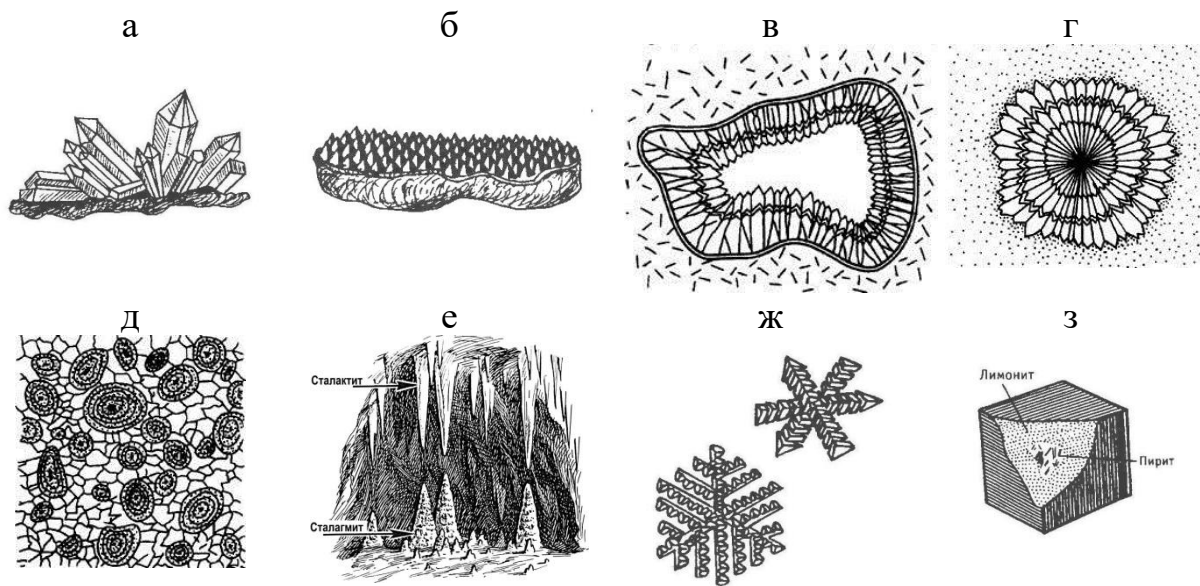


Рис. 1.4. Строение минеральных агрегатов: а – друза, б – щетка, в – жеода, г – конкреция, д – оолиты, е – сталактиты и сталагмиты, ж – дендриты, з – псевдоморфоза

**Секреции** (от лат. *secretio* – выделение) – образуются в результате заполнения неправильной, но обычно круглой формы пустот минеральным веществом. Характерной особенностью многих секретий является последовательное концентрически послойное отложение вещества по направлению от стенок пустоты к центру. Часто в центре секретий располагаются друзы. Мелкие секретии (обычно менее 2–5 см в поперечнике) называют миндалинами. Они заполняют поры вулканических пород, образовавшиеся в результате быстрого остывания лавы. Крупные секретии с оставшейся внутри полостью называют жеодами (от фр. *geode*) (см. рис. 1.4в).

**Конкреции** (от лат. *concretio* – срастание, сгущение) – шаровидные (иногда как бы сплюснутые, неправильно округленные) агрегаты радиально-лучистого строения (см. рис. 1.4г). В их центре нередко находится зерно, которое служило затравкой при росте конкреции. Чаще всего они образуются в пористых осадочных породах – песках и глинах. В

противоположность секрциям разрастаются вокруг какого-нибудь центра. Размеры этих образований – от миллиметров до десятков сантиметров. Часто встречаются конкреции пирита и фосфоритов. Крупные конкреции, сложенные оксидами железа и марганца, весьма характерны для современных океанических осадков.

**Оолиты** (от греч. *oou* – яйцо и *lithos* – камень) – сферические образования размером от миллиметров до нескольких сантиметров, возникающие в водных средах вокруг взвешенных посторонних тел – песчинок, обломков органических остатков, пузырьков газа. Характерная особенность оолитов – явно выраженная концентрическая слоистость и иногда скорлуповатость. Они обычно сцементированы друг с другом в горную породу. Наиболее часто в виде оолитов встречаются марганцовые, железные руды и бокситы (см. рис. 1.4д).

**Сферолиты** – сферические образования с радиально-лучистым строением. Они часто нарастают на другие минералы и стенки разных пустот. Могут возникать двумя путями:

- при росте одиночного расщепляющегося кристалла;
- подобно конкреции – минерал нарастает на какое-нибудь зерно, а вследствие геометрического отбора или стесненных условий кристаллы разрастаются, расходясь лучами от центра сферолита.

**Натечные агрегаты** – образуются путем постепенного натекания нового минерального вещества на ранее отложенное. Они характерны для аморфных (опал) и скрытокристаллических (кремень, халцедон) минералов, а также известковых, гипсовых и соляных карстовых пещер. В результате возникают различные формы агрегатов:

- почковидные – состоят из множества «почек», каждая из которых имеет радиально-лучистое, а иногда и зонально-концентрическое строение, как отражение условий при росте агрегата. Наиболее часто встречаются почковидные агрегаты гетита (бурая стеклянная голова), малахита, кальцита, арагонита. Образуются в различных пустотах в приповерхностных зонах выветривания руд и горных пород;

- гроздевидные;
- сталактиты – свисающие с верхних частей пустот конусообразные формы;
- сталагмиты – поднимающиеся кверху конусообразные формы, возникшие в нижних частях пустот за счет падающих капель (см. рис. 1.4е).

**Дендриты** (от греч. *dendron* – дерево) – плоские или объемные фигуры в виде ветвей дерева, снежинок, образующиеся благодаря быстрому росту кристаллов по некоторым направлениям (см. рис. 1.4ж). Встречаются на поверхности пород вдоль тонких трещин или в хорошо проницаемой породе. Дендриты особенно характерны для окислов марганца.

**Налеты и примазки** – встречаются в виде тонких пленок на поверхности или стенках трещин минералов и горных пород. Наиболее часто это пленки гидроксидов железа, примазки медной зелени и сини в горных породах, вмещающих медные месторождения.

Рыхлые тонкозернистые скопления минералов обычно называют **землистыми массами**. В зависимости от цвета выделяют сажистые и охристые массы.

Иногда минералы выделяются в несвойственной им чуждой форме, образуя точную копию другого минерала или органического образования. Такие формы называют **псевдоморфозами**, т. е. ложными формами (от греч. *pseudos* – ложь и *morphe* – форма) (см. рис. 1.43). Примерами псевдоморфоз являются различные окаменелости растений или животных, в которых органическое вещество целиком замещается кальцитом или другим минералом, при этом основные черты первоначальной формы сохраняются. Поражает воображение исторически известная псевдоморфоза пирита ( $\text{FeS}_2$ ) по человеческим останкам, так называемый фалунский феномен, который был обнаружен в Швеции в Фалунских железных рудниках. Здесь в конце XIII в. в одной из заброшенных горных выработок было обнаружено тело рудокопа, полностью замещенное пиритом. По свидетельству немецкого ученого А. Брейтгаупа, эта находка в течение семи лет хранилась в горном управлении г. Фалуна, а затем рассыпалась.

Некоторые минералы не имеют кристаллической решетки, т. е. выделяются не в кристаллическом, а в аморфном, или коллоидном, состоянии. В таком состоянии находятся затвердевшие переохлажденные стекловидные жидкости, например, вулканическое стекло – обсидиан. Аморфные выделения минералов обычно образуют однородные плотные или землистые массы натечного вида.

#### 1.4. Диагностические свойства минералов

Как и любое физическое тело, каждый минерал обладает определенными свойствами: цветом, твердостью и пр., которые зависят от его строения и химического состава. Определение и сравнение этих свойств позволяет различать и диагностировать минералы. Физические свойства минералов, используемые для этих целей, называются **диагностическими**. Рассмотрим наиболее важные из них.

**Оптические свойства. Окраска** (или **цвет**) минералов обусловлена избирательным поглощением отдельных интервалов волн видимой части спектра при отражении или пропускании света.

Некоторые минералы имеют определенный цвет, их называют монохромными (от греч. *mono* – один, *chroma* – цвет, краска). У других – полихромных (от греч. *polys* – многочисленный) – окраска варьирует даже в пределах одного минерального вида. Некоторые минералы обладают

плеохроизмом (от греч. *pleon* – более), т.е. при рассматривании в разных направлениях имеют разную окраску.

По А.И.Ферсману выделяют следующие типы окраски минералов:

1. Идиохроматическая (от греч. *idios* – свой) – собственная окраска, обусловленная особенностями химического состава и кристаллической структуры, присутствием элементов-хромофоров.

2. Аллохроматическая (от греч. *allos* – другой, чужой) – окраска, связанная с механическим включением яркоокрашенных посторонних минералов.

3. Псевдохроматическая (от греч. *pseudos* – ложь) – окраска, связанная с рассеянием и отражением света, интерференцией световых волн. Например, вспыхивающие на черном фоне ярко-синие пятна на поверхности полевого шпата лабрадора, обусловленные интерференцией (явление «ирризации», от греч. *iridos* – радуга).

Окраска минерала может быть обусловлена:

– наличием в его структуре элементов-хромофоров (Cu, Fe, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni и др.);

– дефектами кристаллической решетки;

– примесями, как изоморфными, т. е. входящими в структуру минерала, так и механическими.

Элементы-хромофоры могут окрашивать минералы в разные цвета в зависимости от их валентности, концентрации, присутствия других химических элементов и соединений:

**Fe<sup>3+</sup>** – красно-бурый (сидерит FeCO<sub>3</sub>, лимонит Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · n H<sub>2</sub>O, гидрогётит FeOOH · nH<sub>2</sub>O);

**Fe<sup>2+</sup>** – зеленый (анапаит Ca<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup>[PO<sub>4</sub>]<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O);

**Mn<sup>3+</sup>** – розовый (родонит CaMn<sub>4</sub>[Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>]);

**Cr<sup>3+</sup>** – зеленый (уваровит Ca<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>) и красный (рубин Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), в зависимости от содержания окиси хрома;

**Cr<sup>6+</sup>** – оранжевый (крокоит Pb[CrO<sub>4</sub>]);

**Cu<sup>2+</sup>** – зеленый (малахит Cu<sub>2</sub>[CO<sub>3</sub>](OH)<sub>2</sub>) и синий (азурит Cu<sub>3</sub>[CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>), в зависимости от количества кристаллизационной воды;

**Co<sup>2+</sup>** – розовый (эритрин Co<sub>3</sub>[AsO<sub>4</sub>]<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O);

**Ni<sup>2+</sup>** – зеленый и желтый (гарниерит Ni [Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>] (OH)<sub>4</sub> · 4H<sub>2</sub>O);

**V<sup>3+</sup>** – зеленый (смарагдит Ca<sub>2</sub>(Mg, Fe<sup>2+</sup>)<sub>5</sub>[Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>](OH)<sub>2</sub>);

**Ti<sup>4+</sup>** – синий (сапфир Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), в присутствии ионов гидроксила и наличии железа.

Дефектами кристаллической структуры обусловлена, например, голубая и синяя окраска галита (NaCl), возникающая в результате радиоактивного облучения K<sup>40</sup>, Rb<sup>87</sup>.

Примером окраски минерала механической примесью другого вещества может служить зеленый кварц (празем), цвет которого обусловлен



мельчайшими включениями чешуек зеленого хлорита или иголочек актинолита. Механическая примесь гематита часто вызывает красную или бурую окраску минералов, например галита и сильвина, агатов.

В отдельных случаях окраска минерала может быть вызвана иризацией и побежалостью. *Иризация* – цветной отлив на гранях или плоскостях спайности некоторых минералов (например, лабрадор), обусловленный наличием тонких включений или трещин, вызывающих интерференцию лучей света. *Побежалость* – цветная пленка на слегка окислившейся поверхности минерала (халькопирит, борнит).

При описании минералов обычно используется физическая шкала цветов в сочетании с бытовой.

*Физическая шкала*: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый; дополнительно: белый, серый, черный, пурпурный, коричневый.

*Бытовая шкала* объединяет хорошо знакомые всем цвета: вишневый, яблочный, медовый и пр. Эти цвета часто применяют для уточнения оттенка цвета минерала, например вишнево-красный, оловянно-белый, латуно-жёлтый, соломенно-желтый и т.п.

**Цвет черты** – цвет минерала в порошке на белом фоне. Цвет черты минерала может быть таким же, как и его собственный, но может и значительно отличаться. Для темноцветных и непрозрачных минералов, особенно рудных, это важный диагностический признак. Большинство светлоокрашенных прозрачных и полупрозрачных минералов имеют бесцветную, белую черту или слабоокрашенную в цвет самого минерала.

Для определения цвета черты используют неглазурованную поверхность фарфора (бисквит – фр. *biscuite*, непокрытый глазурью фарфор). Однако, если твердость минерала превышает твердость бисквита, получить черту на нем невозможно.

**Блеск** – способность минерала отражать свет. Интенсивность и характер блеска зависит от показателя преломления (N), отражательной способности (R) и характера поверхности, от которой отражается свет.

Все минералы по блеску могут быть подразделены на две группы – минералы с металлическим и неметаллическим блеском. Последняя группа более многочисленная и подразделяется на несколько видов.

При условии, что свет отражается от ровной гладкой поверхности (грани, плоскости спайности), выделяют следующие типы блеска по возрастанию яркости:

- **стеклянный** – характерен для прозрачных и полупрозрачных минералов ( $N = 1,3-1,9$ ;  $R < 15\%$ ). Большинство минералов имеют именно этот блеск;
- **алмазный** –  $N = 1,9-2,6$ ;  $R = 15-19\%$ , встречается значительно реже (алмаз, сфалерит, киноварь);

- полуметаллический –  $N = 2,6-3,0$ ;  $R = 19-26 \%$  (магнетит);
- металлический – у непрозрачных минералов,  $N > 3,0$ ;  $R > 26 \%$ .

Кроме основных типов блеска выделяют:

- жирный – у минералов со стеклянным и алмазным блеском на скрытобугорчатой поверхности излома (кварц, нефелин);
- восковый – у скрытокристаллических масс и твердых гелей (кремни, опал);
- матовый – у пористых тонкодисперсных масс (мел, каолин, лимонит).

У минералов, обладающих явно выраженной ориентировкой элементов строения, возникает отлив:

- шелковистый – в минералах с параллельно-волокнистым строением (асбест, селенит);
- перламутровый – у прозрачных минералов с весьма совершенной спайностью (мушкетит, гипс).

Иногда блеск на гранях кристалла, на его сколе и на поверхностях спайности может отличаться. Например, у кварца блеск на гранях может быть стеклянным, тогда как на сколе он практически всегда жирный. Блеск на поверхностях спайности минерала обычно более яркий и интенсивный, чем на гранях (например, у полевого шпата).

**Прозрачность** – способность минерала пропускать через себя свет. Оценивается на качественном уровне путем просмотра минерала на просвет. Прозрачность зависит от кристаллической структуры минерала, интенсивности его окраски, наличия тонкодисперсных или газовой-жидких включений и прочих особенностей его строения, состава и условий образования. По степени прозрачности минералы условно делят на:

- прозрачные – хорошо пропускают свет, как оконное стекло. Видны внутренние дефекты (трещины, включения);
- полупрозрачные – через них видны лишь очертания предметов. Свет проходит через них, как через матовое стекло;
- просвечивающие – пропускают свет по тонкому краю или в тонких пластинках (шлифах);
- непрозрачные – не пропускают свет.

При прочих равных условиях более мелкозернистые агрегаты одного и того же минерала менее прозрачны.

**Механические свойства. Спайность** – способность минерала раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием гладких параллельных поверхностей, называемых *плоскостями спайности*. Спайность обусловлена внутренней структурой минерала и не зависит от внешней формы кристалла или зерна минерала. Минерал раскалывается по направлениям параллельным плоским сеткам с максимальной плотностью атомов, но наиболее слабо связанных между собой. Чтобы охарактеризовать спайность определяют:

- степень ее совершенства;
- простую форму, по которой кристалл раскалывается;
- в некоторых случаях указывают угол между плоскостями спайности.

Степень совершенства спайности определяют по следующей условной шкале:

- *весьма совершенная* – минерал легко раскалывается или расщепляется на тонкие пластинки или листы (минералы со слоистой структурой: слюды, графит и пр.);

- *совершенная* – кристаллы колются на более толстые пластинки, бруски с ровными поверхностями (кальцит, галенит);

- *средняя* – поверхность скола не всегда ровная и блестящая (полевые шпаты);

- *несовершенная* – обнаруживается с трудом, поверхность скола неровная (апатит, нефелин).

Ряд минералов не имеет спайности (магнетит и т. д.).

В зависимости от простой кристаллографической формы кристалл может раскалываться по одному и более направлениям (рис. 1.5):

- по пинакоиду – одно направление;
- по ромбической или тетрагональной призме – два;
- по гексагональной призме, ромбоэдру и кубу – три;
- по октаэдру – четыре;
- по ромбододекаэдру – шесть.

**Отдельность** – расколы кристаллов по плоскостям их физической неоднородности. Плоскостями отдельности могут быть:

- плоскости срастания двойников;
- поверхности зон и секторов роста кристаллов;
- плоскости мельчайших включений других минералов.

В отличие от спайности отдельность проявляется по всему кристаллу, расколы в случае отдельности более грубые и четкие.

**Излом** – вид поверхности, образованный при раскалывании минерала.

Эта характеристика важна при изучении минералов, обладающих несовершенной спайностью или не имеющих ее.

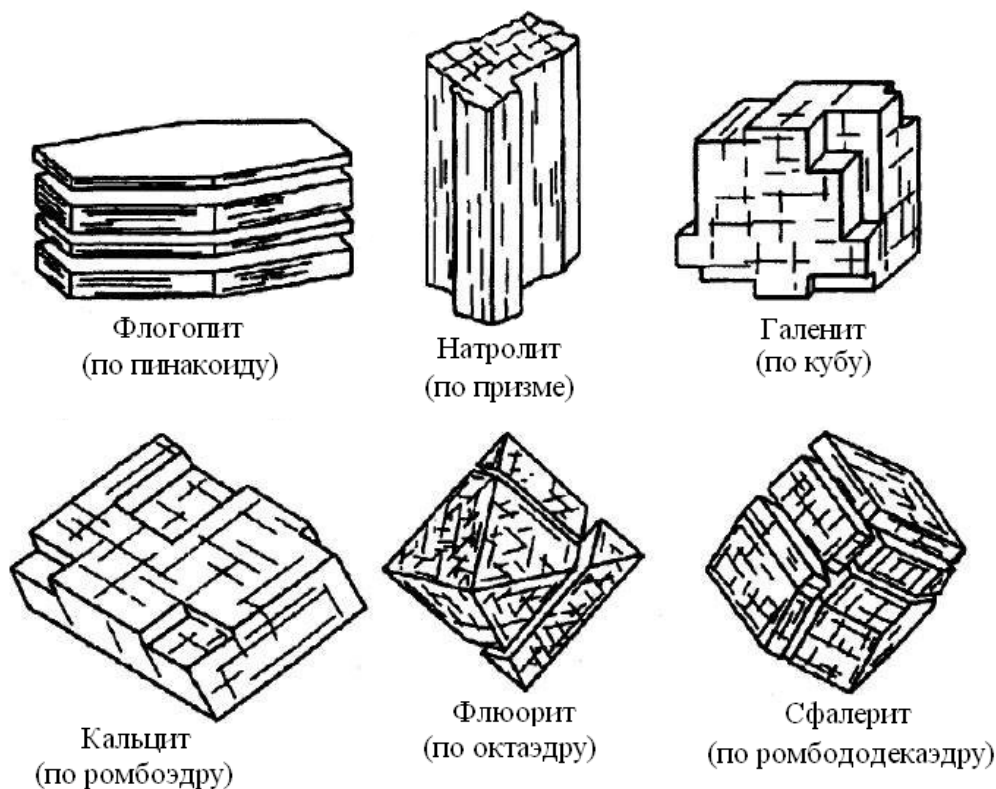


Рис. 1.5. Направления спайности некоторых минералов

Различают 6 основных типов излома:

- раковистый – характерна вогнутая или выпуклая концентрически-ребристая поверхность, напоминающая форму створки раковины моллюска (кварц, оливин, халцедон);
- неровный – неровная поверхность раскола не имеет специфических особенностей, характерен для минералов с несовершенной спайностью или лишенных ее;
- ровный – у минералов с 1 направлением совершенной спайности;
- ступенчатый – у минералов с двумя и более направлениями спайности (полевые шпаты, галенит);
- крючковатый – характерный вид поверхности раскола самородных металлов (медь, золото);

Излом, так же, как спайность, определяется на отдельном минеральном индивидуе. Но если минерал имеет незначительные размеры, судить о виде его излома невозможно, в таком случае описывают поверхность излома минерального агрегата, слагающего весь образец:

- занозистый – поверхность раскола с небольшими, но острыми и зазубренными неровностями (роговая обманка, хризотил-асбест);
- землистый – матовая шероховатая поверхность, характерная для тонкозернистых агрегатов, сложенных, например, лимонитом или каолинитом;
- зернистый – характерен для крупнозернистых агрегатов (кварц).

**Твердость** – степень сопротивления минерала механическому воздействию – царапанию, резанию, вдавливанию. Отражает прочность связей между узлами кристаллической решетки минерала. В обычной минералогической практике определяют относительную твердость путем царапания одного минерала другим. Для этого используют шкалу австрийского минералога Ф. Мооса (1772–1839), в которой имеется 10 эталонных минералов (в скобках приведены измеренные значения абсолютной твердости минералов):

1. Тальк (2,4 кг/мм<sup>2</sup>);
2. Гипс (36 кг/мм<sup>2</sup>);
3. Кальцит (109 кг/мм<sup>2</sup>);
4. Флюорит (189 кг/мм<sup>2</sup>);
5. Апатит (536 кг/мм<sup>2</sup>);
6. Ортоклаз (795 кг/мм<sup>2</sup>);
7. Кварц (1120 кг/мм<sup>2</sup>);
8. Топаз (1427 кг/мм<sup>2</sup>);
9. Корунд (2060 кг/мм<sup>2</sup>);
10. Алмаз (10060 кг/мм<sup>2</sup>).

Для ориентировочной оценки относительной твердости минералов используют подручные «эталоны»: грифель простого мягкого карандаша (1), ноготь (2–2,5), медная проволока или монета (3–3,5), стальная игла, булавка, гвоздь или нож (5–5,5), стекло (5,5–6), напильник (7).

**Плотность** минералов изменяется от 0,8–0,9 (у природных кристаллических углеводов) до 22,7 г/см<sup>3</sup> (у осмистого иридия). При диагностике она оценивается приблизительным сравнением путем «взвешивания» в руке, на основании чего минерал можно отнести к одной из условных групп плотности:

- легкие – < 2,5 (гипс, каменная соль);
- средние – 2,5–4,0 (кварц, кальцит, полевые шпаты, слюды);
- тяжелые – 4,0–7,0 (пирит, халькопирит, магнетит, барит);
- очень тяжелые – > 7,0 (киноварь, галенит, медь самородная).

В природе преобладают минералы с плотностью 2,5–4,0 г/см<sup>3</sup>. Плотность минералов возрастает: с ростом компактности кристаллической структуры; с увеличением атомного номера, слагающих его химических элементов; с уменьшением их ионных радиусов. Минералы переменного химического состава имеют непостоянную плотность.

**Хрупкость** – свойство минерала крошиться под давлением или при ударе. Например: самородная сера и алмаз – очень хрупкие минералы. Хрупкость определяет способность минерала к измельчению – важной характеристике при обработке руд и их обогащении.

**Ковкость** – свойство вещества под давлением расплющиваться в тонкую пластинку, быть пластичным. Например, золото имеет

чрезвычайно высокую пластичность и ковкость (расковывается до толщины  $8 \cdot 10^{-5}$  мм), т.е. из одного грамма золота можно получить лист фольги площадью до  $1 \text{ м}^2$ , производство такого тонколистового (сусального) золота позволяет покрывать им купола церквей, отделять дворцовые залы. Так же, из одного грамма золота можно вытянуть проволоку длиной 2610 м. Получаемая нить очень тонкая (диаметром  $2 \cdot 10^{-6}$  мм), что необходимо сегодняшней электронной индустрии, где нужно создавать электрические цепи в чипах очень маленьких размеров.

**Особые свойства.** Для некоторых минералов характерны особые, только им присущие свойства. Их наличие облегчает решение диагностических задач.

**Вкус.** Соленым вкусом обладает галит (каменная соль), горько-соленым – сильвин. Эти минералы, кроме того, обладают гигроскопичностью (способностью поглощать воду) и растворяются в воде.

**Запах.** Специфическим запахом «чертовщины» обладает сера, особенно если двумя образцами постучать друг о друга. Выделения арсенопирита при трении издадут запах чеснока.

**Магнитность** устанавливается по способности минерала отклонять магнитную стрелку (например, компаса). Магнитностью обладают магнетит, пирротин и некоторые другие минералы.

**Двойное лучепреломление** – раздвоение световых лучей при прохождении через анизотропные кристаллы. Особенно хорошо это свойство выражено у прозрачных разностей кальцита, называемых исландским шпатом. Если через кристалл исландского шпата рассматривать печатный текст, то буквы как будто раздваиваются. Благодаря этому он используется в оптических и оптоэлектронных системах для поляризации света и управления световыми потоками.

**Реакция с соляной кислотой.** Некоторые минералы класса карбонатов вступают в реакцию с соляной кислотой, сопровождающуюся выделением углекислого газа. Особенно бурно эта реакция проходит для кальцита, при этом говорят, что минерал «вскипает»:  $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ .

Некоторые минералы обладают и другими физическими свойствами, такими как люминесценция, упругость, радиоактивность и др.

## 1.5. Классификация минералов

Попытки систематизации минералов на различной основе предпринимались уже в античном мире. Первоначально (от Аристотеля до Сины и Бируни) их делили по внешним признакам, иногда привлекая и генетические элементы, зачастую самые фантастические. Начиная с позднего Возрождения и вплоть до начала XIX в. доминировали классификации, основанные на внешних признаках и физических свойствах минералов. Во 2-й половине XIX – начале XX вв. исключительное распространение получили химические классификации

минералов (труды П. Грота, В. И. Вернадского и др.). С 20–х гг. XX в. всё большую роль начинают играть кристаллохимические классификации, в которых за основу принимаются в равной мере химический состав и кристаллическая структура минералов.

По распространённости минералы делятся на породообразующие – составляющие основу большинства горных пород, акцессорные – часто присутствующие в горных породах, но в количествах не более 5 %, редкие – случаи, нахождения которых единичны или немногочисленны, рудные – широко представленные в рудных месторождениях (табл. 2).

Таблица 2

### Основные минералы руд

Элемент	Минерал	Формула	Содержание элемента, %	Плотность, $\rho \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Алюминий	Диаспор	$\text{AlO(OH)}$	47,2	3,3
	Бемит	$\text{AlO(OH)}$	47,2	3,0
	Гиббсит	$\text{Al(OH)}_3$	36,2	2,4
	Нефелин	$\text{Na}_3\text{K[AlSiO}_4\text{]}_4$	18,9	2,6
	Алунит	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	20,5	2,7
Барий	Барит	$(\text{Ba, Sr})(\text{SO}_4)$	58,0	4,3
Бериллии	Берилл	$\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$	5,1	2,7
Вольфрам	Вольфрамит	$(\text{Fe, Mn})[\text{WO}_4]$	60,5	7,0
	Шеелит	$\text{Ca}[\text{WO}_4]$	63,8	6,0
Железо	Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72,3	5,2
	Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	70,0	5,2
	Лимонит	$\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	55,0	4,0
	Сидерит	$\text{Fe}(\text{CO}_3)$	48,1	3,8
	Ильменит	$(\text{Mg, Fe})\text{TiO}_3$	36,8	4,5
Калий	Сильвин	$\text{KCl}$	52,4	2,0
	Карналлит	$\text{KCl MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	14,1	1,6
Литий	Сподумен	$\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	8,1	3,2
	Лепидолит	$\text{KLi}_2\text{Al}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{Fe, OH})_2$	3,7	2,8
Марганец	Пирролюзит	$\text{MnO}_2$	63,2	4,8
	Манганит	$\text{MnO(OH)}$	62,5	4,3
	Псиломелан	$m\text{MnO}, \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	45,0	4,6
Медь	Медь	$\text{Cu}$	100,0	8,8
	самородная	$\text{Cu}_2\text{S}$	79,8	5,7
	Халькозин	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$	66,5	4,7
	Ковеллин	$\text{CuFeS}_2$	34,6	4,2
	Халькопирит	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	63,3	5,2
	Борнит	$\text{Cu}_2\text{O}$	88,8	6,0
	Куприт	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$	57,5	4,0

Элемент	Минерал	Формула	Содержание элемента, %	Плотность, $\rho \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Молибден	Молибденит	$\text{MoS}_2$	60,0	4,8
Мышьяк	Арсенопирит	$\text{FeAsS}$	46,0	6,0
	Реальгар	$\text{AsS}$	70,1	3,5
	Аурипигмент	$\text{As}_2\text{S}_3$	61,0	3,5
Никель	Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	34,2	4,8
Олово	Касситерит	$\text{SnO}_2$	78,7	7,0
Ртуть	Киноварь	$\text{HgS}$	86,2	8,1
Свинец	Галенит	$\text{PbS}$	86,6	7,5
Сера	Сера самородная	$\text{S}$	100,0	2,0
	Пирит	$\text{FeS}_2$	53,4	5,2
	Пирротин	$\text{Fe}_{1-x}\text{S}$	36,5	4,6
	Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	23,2	2,3
	Сурьма	Антимонит	$\text{Sb}_2\text{S}_3$	71,4
Титан	Рутил (титанит)	$\text{TiO}_2$	60,0	4,2
	Ильменит	$(\text{Mg}, \text{Fe})\text{TiO}_3$	31,6	4,7
Фосфор	Апатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$	41,5	3,2
	Фосфорит	Смесь апатита и гидроксилапатита	20,0	3,0
Фтор	Флюорит	$\text{CaF}_2$	48,8	3,2
Хром	Хромит	$\text{FeCr}_2\text{O}_4$	46,4	4,4
Цинк	Сфалерит	$\text{ZnS}$	67,1	3,8

В основе современной классификации минералов лежат их химические и структурные признаки. Всё царство минералов делится на два подцарства – простых веществ и соединений. В подцарстве соединений выделяется три типа, которые объединяют минералы с близким характером химических соединений, родственным типом химической связи: 1. Халькогенные соединения; 2. Кислородные соединения; 3. Галогенные соединения. Типы разделяются на классы, в один класс объединяют соединения с однотипными анионами (или элементами в простых веществах). В курсе «Общая геология» будут рассмотрены породообразующие минералы, относящиеся к десяти классам, а силикаты и алюмосиликаты разделены по структурным признакам на 5 отделов. Более подробно классификация изучается в курсе «Минералогия».

#### **Класс 1 и 2. Металлы и неметаллы.**

*Распространенность:* составляют 0,1 % массы земной коры; в природе известно ~ 30 химических элементов, но большая часть из них встречается очень редко. Наиболее распространены S, C и Cu, меньше – благородные металлы (Au, Ag, Pt) и полуметаллы (As, Sb, Bi). Самородное железо, кобальт, никель, из-за высокой реакционной способности, также редки.



Сюда же относятся ряд газов и редко встречающиеся элементы в жидком состоянии (ртуть, некоторые амальгамы).

*Образование:* для металлов – магматогенное (Au, Pt, Os, Ir); гидротермальное (Au); в зонах окисления (Cu, Ag); в метеоритах (Fe); для неметаллов – зоны окисления, вулканогенное и биогенно-осадочное (S); эндогенное (графит и алмаз).

*Общие физические свойства металлов:* большая плотность, металлический блеск, хорошая электропроводность; большая часть обладает ковкостью и низкой твердостью.

Неметаллы более разнообразны по своим свойствам.

### **Класс 3. Сульфиды и их аналоги $S^{2-}$ .**

*Распространенность:* составляют около 0,15 % от массы земной коры, в природе известно более 350 минералов.

*Образование:* преимущественно гидротермальное; в зонах окисления ниже уровня грунтовых вод; хемогенно-осадочное при сероводородном заражении бассейнов; реже кристаллизация из магматического расплава.

*Общие физические свойства сульфидов:* большая плотность, металлический (реже алмазный) блеск; окрашенная черта (черная, коричневая, иногда красная); большая часть из них не прозрачны.

### **Класс 4. Оксиды и гидроксиды $O^{2-}$ и $[OH]^-$ .**

*Распространенность:* выделено почти 200 минеральных видов, которые составляют около 17 % от массы литосферы. Из них почти 13 % приходится на семейство кремнезема и 4 % – на долю оксидов и гидроксидов железа.

*Образование:* в зонах окисления, корах выветривания; при коагуляции растворов под действием морской воды (гидроксиды Fe, Al, Mn); биогенно-осадочное (озерно-болотные железные руды); в скарнах; метаморфическое; магматическое и в пегматитах (кварц, корунд).

### **Класс 5. Силикаты и алюмосиликаты.**

*Распространенность:* наиболее распространенный в литосфере класс минералов, составляют 85 % от массы земной коры; известно ~ 800 минеральных видов.

*Образование:* в основном магматическое и метаморфическое (все виды метаморфизма); метасоматическое; реже высокотемпературное гидротермальное; в корах выветривания (глинистые минералы).

*Общие физические свойства:* средняя плотность; стеклянный блеск; белая или слабоокрашенная черта.

Кристаллохимической особенностью силикатов является тетраэдрическая координация кремнезема. Каждый ион кремния  $Si^{4+}$  в структуре силикатов находится в окружении четырех ионов кислорода  $O^{2-}$ , что может быть представлено в виде тетраэдра, в центре которого находится  $Si^{4+}$ , а в вершинах –  $O^{2-}$ . Кремнекислородные тетраэдры

способны соединяться друг с другом в сложные конечные и бесконечные радикалы. В зависимости от типа группировки  $\text{SiO}_4$ -тетраэдров выделяют островные, цепочечные, ленточные, слоевые и каркасные силикаты.

Отдел 1. Островные силикаты. К островным относятся силикаты, в структуре которых присутствуют изолированные тетраэдры или группы изолированных тетраэдров: а) силикаты с изолированными тетраэдрами  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  (ортогруппа); б) силикаты со сдвоенными тетраэдрами  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$  (диортогруппа); в) с кольцами тетраэдров – с тройным кольцом  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ , четверным  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ , шестерным  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ , а также сдвоенными четверными и шестерными кольцами тетраэдров.

*Общие физические свойства:* среди других силикатов выделяются высокой твердостью (6,5–7,5), большей плотностью; для многих из них характерны изометричные зерна.

Отдел 2. Цепочечные силикаты. Это силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры соединяются в бесконечные в одном направлении цепочки. Широко распространена пироксеновая цепочка  $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$ , состоящая из параллельно ориентированных диортогрупп, с периодом повторяемости в два тетраэдра.

*Общие физические свойства:* призматическая спайность; твердость не выше 5–6; удлиненные кристаллы.

Отдел 3. Ленточные силикаты. Это силикаты, структура которых представлена в виде сдвоенных кремнекислородных цепочек – лент. Один из наиболее распространенных в силикатах типов лент – амфиболовая  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$ , состоящая из двух пироксеновых цепочек.

*Общие физические свойства:* призматическая спайность; твердость не выше 5–6; часто бледно окрашенная черта; удлиненные (до игольчатых) и волокнистые кристаллы.

Отдел 4. Слоевые силикаты и алюмосиликаты. Структура этих минералов представлена в виде слоев  $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$  или  $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]^{4-}$ , в которых тетраэдры соединяются тремя общими вершинами.

*Общие физические свойства:* низкая твердость (1–3,5); весьма совершенная спайность в одном направлении; уплощенные зерна.

Отдел 5. Каркасные алюмосиликаты. Структура представляет собой непрерывный трехмерный каркас, состоящий из  $\text{SiO}_4$ - и  $\text{AlO}_4$ -тетраэдров, связанных всеми своими вершинами друг с другом, образуя комплексные алюмокремниевые радикалы типа  $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{1-}$  или  $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]^{2-}$  и др.

*Общие физические свойства:* часто характерны светлые тона – белые, серые, розовые, буроватые, зеленоватые; твердость ~ 5,5–6; совершенная или несовершенная спайность; относительно изометричные зерна.

### **Класс 6. Фосфаты $[\text{PO}_4]^{3-}$**

*Распространенность:* вместе с аналогами составляют 0,7 % от массы литосферы; в природе известно около 185 минеральных видов фосфатов,

но широко распространены не более нескольких десятков. Часто встречаются фосфаты  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$ .

*Образование:* зоны окисления; магматическое в щелочных породах и карбонатитах (апатит); контактово-метасоматическое; осадочное (фосфориты); реже гидротермальное.

*Физические свойства* фосфатов сильно различаются в зависимости от типа катиона и структуры минерала. Многие из них имеют низкую и среднюю твердость (редко 6–6,5); часто отличаются яркой окраской; плотность в зависимости от состава колеблется от низкой до высокой.

### **Класс 7. Карбонаты $[\text{CO}_3]^{2-}$**

*Распространенность:* составляют 1,5 % от массы земной коры, известно около 95 минералов. Наиболее распространены карбонаты Ca, Mg, Fe, реже встречаются карбонаты, Zn, Pb, Mn и др.

*Образование:* осадочное биогенное и хемогенное (известняки и доломиты); гидротермальное; в корках выветривания и зонах окисления (карбонаты Cu, Zn, Pb); метасоматическое; реже магматогенное (карбонатиты).

*Общие свойства:* низкая твердость (3–5); реакция с разбавленной соляной кислотой; совершенная спайность; средняя плотность. Большая часть карбонатов белые, бесцветные или слабо окрашены механическими примесями. Карбонаты Cu – зеленые и синие, Fe – желтовато-бурые, Mn – розовые.

### **Класс 8. Сульфаты $[\text{SO}_4]^{2-}$**

*Распространенность:* составляют 0,1 % от массы земной коры, известно около 120 минералов. Наиболее часто встречаются сульфаты  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  (гипс и ангидрит, барит, целестин). Различают сульфаты безводные и водные, содержащие кроме анионного комплекса  $[\text{SO}_4]^{2-}$  добавочные анионы  $(\text{OH})^-$ .

*Образование:* хемогенно-осадочное, в лагунах и озерах (гипс, ангидрит); гидротермальное (барит); в зонах окисления (сульфаты Pb, Cu, U); как продукты вулканической деятельности.

*Общие свойства:* низкая твердость (до 3,5), для водных сульфатов – не более 2; низкая плотность (кроме сульфатов Ba, Sr, Pb), совершенная спайность. Большая часть сульфатов прозрачные, белые, окрашены в светлые тона механическими примесями или из-за дефектов кристаллической решетки.

### **Класс 9. Фториды $\text{F}^{1-}$**

*Распространенность:* фториды имеют довольно ограниченное распространение. К собственно фторидам относится всего 12 минеральных видов. Ведущими катионами являются литофильные элементы Ca, Na, Al, Mg. Из минералов наиболее широко распространен флюорит  $\text{CaF}_2$ .

*Образование:* гидротермальное; контактово-метасоматическое; магматическое, в пегматитах.

*Общие свойства:* свойства зависят от типа катиона. Фториды литофильных элементов обладают средней твердостью, стекляннм или жирным блеском, белой или слабоокрашенной чертой.

#### **Класс 10. Хлориды $Cl^{-}$**

*Распространенность:* хлориды более широко распространены в природе, чем другие галогенные соединения. К собственно хлоридам относится 68 минеральных видов. Ведущими катионами являются литофильные элементы Na, K, Mg. Наибольшим распространением пользуются минералы галит NaCl и сильвин KCl.

*Образование:* в основном хемогенно-осадочное, в лагунах и озерах; в незначительных количествах образуются в гипогенных ассоциациях: вулканических возгонах, термальных источниках.

*Общие свойства:* свойства зависят от типа катиона. Для хлоридов литофильных элементов характерна низкая твердость и плотность, стекланный блеск, растворимость в воде, совершенная спайность по кубу (для хлоридов Na и K); большая часть их белая или бесцветна, часто окраска связана с механическими примесями оксидов Fe, битумов или с дефектами кристаллической решетки (табл. 3).

ТАБЛИЦА ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛОВ

Название, формула, агрегаты	Свойства	Изменения	Отличительные особенности	Генезис	Применение
1	2	3	4	5	6
<i>Подцарство простых веществ</i>					
<i>Класс металлы</i>					
<b>Золото</b> <b>Au</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• вкрапления в кварце</li> <li>• дендриты, волосовидные формы</li> <li>• листочки, чешуйки, зерна и крупные самородки в россыпях</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет золотисто-желтый</li> <li>• черта золотисто-желтая, металлически блестящая</li> <li>• тв. 2,5-3</li> <li>• сп. нет</li> <li>• бл. металлический</li> <li>• пл. 15,6-18,3</li> <li>• изл. зернистый</li> <li>• ковкое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• исключительная антикоррозионная стойкость: растворяется только в царской водке (3 части соляной кислоты и 1 часть азотной кислоты)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• блеск</li> <li>• цвет, ковкость</li> <li>• цвет черты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• коренное (жильное)</li> <li>• россыпное (образовавшееся в результате разрушения коренных жил речными потоками и морским прибоем).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• валютный и денежный металл</li> <li>• драгоценный металл</li> <li>• космостроение</li> <li>• электроника</li> <li>• медицина и др.</li> </ul>
<b>Медь</b> <b>Cu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы кубического, кубооктаэдрического габитуса</li> <li>• плоские и объемные дендриты</li> <li>• плотные сплошные массы</li> <li>• мелкие вкрапленности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет медно-красный</li> <li>• черта металлическая блестящая</li> <li>• тв. 2,5-3</li> <li>• сп. нет</li> <li>• бл. металлический</li> <li>• пл. 8,5-8,9,</li> <li>• изл. крючковатый</li> <li>• ковкая</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• покрывается с поверхности купритом (Cu<sub>2</sub>O) в воздушной среде</li> <li>• в водно-воздушной среде образуется малахит, азурит, сульфиды</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вторичные изменения</li> <li>• цвет, излом, ковкость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гипергенная в нижней части зоны окисления</li> <li>• гидротермальная</li> <li>• редко в магматических породах, как продукт кристаллизации</li> <li>• в Fe-Ni метеоритах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• электротехника</li> <li>• приборостроение,</li> <li>• машиностроение</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<i>Класс неметаллы</i>					
<b>Сера</b> <b>S</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы бипирамидального, ромботетраэдрического габитуса</li> <li>• щетки, друзы</li> <li>• порошковатые, зернистые агрегаты</li> <li>• корочки, налеты, натски</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет от желтого до желто-коричневого</li> <li>• черта белая</li> <li>• тв. 1,5–2,5</li> <li>• сп. несовершенная</li> <li>• бл. смолистый</li> <li>• пл. 2,07</li> <li>• изл. от раковистого до неровного</li> <li>• горючая</li> <li>• хрупкая</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях окисляется с образованием <math>H_2SO_4</math></li> <li>• при наличии бактерий переходит в сероводород</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет, хрупкость, горючесть</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• при взаимодействии вулканических газов с кислородом, друг с другом и т.п: <math>2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S</math>; <math>2H_2S + SO_2 = 2H_2O + 3S</math></li> <li>• в зоне окисления сульфидных месторождений</li> <li>• биогенно-осадочная</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• изготовление серной кислоты</li> <li>• инсектициды</li> <li>• вулканизация каучука</li> <li>• производство пороха, спичек, красок и др.</li> </ul>
<b>Графит</b> <b>C</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• пластинчатые кристаллы</li> <li>• чешуйчатые, пластинчатые агрегаты</li> <li>• округлые выделения радиально-лучистого, зонально-концентрического строения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет железо-черный до стально-серого</li> <li>• черта черная блестящая</li> <li>• бл. металловидный, полуметаллический,</li> <li>• тв. 1–2</li> <li>• сп. весьма совершенная</li> <li>• изл. зернистый, ровный</li> <li>• жирный на ощупь, пачкает бумагу и руки</li> <li>• пл. 2,09–2,23</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• механическое истирание</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• низкая твердость и плотность при металлическом блеске</li> <li>• пачкает руки, чертит на бумаге</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• метаморфический в сланцах, мраморах, гнейсах</li> <li>• магматический: разложение <math>CO</math>, <math>CH_4</math>; выделение непосредственно из расплава</li> <li>• разложение карбонатов</li> <li>• пиролиз каменного угля</li> <li>• пневматолитово-гидротермальный</li> <li>• в железных метеоритах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• изготовление огнеупорных тиглей, литейных форм</li> <li>• производство электродов, карандашей, красок</li> <li>• смазочное вещество</li> <li>• получение искусственного алмаза</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<b>Алмаз</b> <b>C</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы в виде октаэдров, ромбододекаэдров, кубов</li> <li>• округлые кристаллы</li> <li>• зернистые сростки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет от бесцветного до почти черного</li> <li>• черты нет</li> <li>• бл. алмазный</li> <li>• прозрачный</li> <li>• тв. 10</li> <li>• сп. совершенная по граням октаэдра</li> <li>• изл. раковистый, занозистый</li> <li>• хрупкий • пл. 3,5–3,53</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• устойчив к кислотам, нагреванию</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• форма кристаллов</li> <li>• блеск</li> <li>• твердость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• кимберлитовые и лампроитовые трубки взрыва</li> <li>• россыпи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ювелирная промышленность</li> <li>• электротехника</li> <li>• радиоэлектроника</li> <li>• детекторы ядерного излучения</li> <li>• счетчики быстрых частиц</li> <li>• космические исследования</li> <li>• изучение глубинного строения Земли</li> </ul>
<b>Подцарство соединений</b>					
<i>Класс сульфиды</i>					
<b>Пирит</b> <b>FeS<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кубы и пентагондодокаэдры со штриховкой на гранях, октаэдры</li> <li>• сплошные зернистые массы</li> <li>• конкреции, скрученные кристаллы</li> <li>• вкрапленники</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет бледный латунно-желтый</li> <li>• черта черная</li> <li>• тв. 6–6,5</li> <li>• сп. весьма несовершенная</li> <li>• бл. металлический</li> <li>• изл. раковистый, неровный</li> <li>• пл. 5,01</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• легко окисляется с образованием сульфатов и гидрооксидов железа, серной кислоты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• отличие от халькопирита - твердость, продукты изменения</li> <li>• от пирротина – твердость, немагнитность</li> <li>• штриховка на гранях куба</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное</li> <li>• в осадочных породах, каменных углях</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• получение серной кислоты, огарки используются в качестве железной руды</li> <li>• извлечение примесей: золото, медь, серебро, кобальт, никель, и др.</li> <li>• очистка газовых отходов химических предприятий от хлора</li> </ul>
<b>Халькопирит</b> <b>CuFeS<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы тетраэдрического габитуса</li> <li>• сплошные массы</li> <li>• вкрапленники</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет латунно-желтый</li> <li>• пестрая побежалость</li> <li>• черта зеленовато-черная</li> <li>• тв. 3,5–4</li> <li>• сп. нет</li> <li>• бл. металлический</li> <li>• пл. 4,28</li> <li>• изл. неровный • хрупкий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в зонах окисления изменяется с образованием гидрооксидов Fe куприта, малахита, азурита</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от пирита отличается низкой твердостью</li> <li>• от золота – хрупкостью</li> <li>• наличие продуктов окисления синего и зеленого цвета</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное</li> <li>• ликвационно-магматическое с пирротином и пентландитом</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• основная руда для получения меди</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Сфалерит</b> <b>ZnS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы тетраэдрического, ромбододекаэдрического габитуса (на гранях часто ступени и спирали роста)</li> <li>• сплошные зернистые массы</li> <li>• редко корки, почки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет в зависимости от содержания Fe: черный (мартит) – 8–10 %; коричневый – 2–8 %; желтый (клейофан) – до 1 %; зеленый – <math>Co^{2+}</math>; черный – Mn</li> <li>• черта от коричневой до желтой, иногда белая</li> <li>• тв. 3,5–4</li> <li>• сп. совершенная в шести направлениях</li> <li>• бл. алмазный, у скрытокристаллических агрегатов – тусклый</li> <li>• изл. Ступенчатый</li> <li>• пл. 3,9–4,1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в зонах окисления карбонатизируется</li> <li>• за счет Fe образуются его гидроксиды, за счет Cd – гринокит (<math>CdS</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• спайность в шести направлениях</li> <li>• алмазный блеск</li> <li>• цвет черты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальный почти во всех известных типах ассоциаций</li> <li>• в доломитизированных породах за счет смешения горячих вод с поверхностными (почковидные агрегаты)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• главная руда для получения цинка</li> <li>• извлечение примесей индия, кадмия и др.</li> </ul>
<p><b>Галенит</b> <b>PbS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кубы, кубооктаэдры, реже октаэдры</li> <li>• сплошные массы</li> <li>• вкрапленность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет стально-серый с голубоватым отливом</li> <li>• иногда пестрая побежалость</li> <li>• черта свинцово-серая</li> <li>• тв. 2–3</li> <li>• сп. совершенная по кубу</li> <li>• бл. металлический</li> <li>• пл. 7,6</li> <li>• изл. ступенчатый</li> <li>• хрупкий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в гипергенных условиях изменяется с образованием карбонатов и сульфатов свинца</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• отличие от арсенопирита – по цвету, низкой твердости, спайности по кубу</li> <li>• высокая плотность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• один из наиболее распространенных гидротермальных сульфидов, часто со сфалеритом, пиритом, халькопиритом, кварцем, флюоритом, карбонатами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• главная руда для получения свинца</li> <li>• извлечение примесей серебра</li> </ul>



1	2	3	4	5	6
<i>Класс оксиды и гидрооксиды</i>					
<b>Кварц</b> <b>SiO<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы дипирамидального, призматического габитуса, двойники</li> <li>• зернистые и скрытокристаллические массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет обычно белый, серый;</li> <li>• черта белая</li> <li>• бесцветный прозрачный (горный хрусталь), дымчатый; черный (морион); желтый (цитрин); фиолетовый (аметист); розовый; зеленый (празем)</li> <li>• тв. 7</li> <li>• сп. несовершенная</li> <li>• изл. раковистый</li> <li>• пл. 2,65</li> <li>• бл. стеклянный до жирного</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• яркий пример устойчивого минерала</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• твердость, форма кристаллов, отсутствие спайности</li> <li>• поперечная штриховка на гранях призмы</li> <li>• от нефелина – отличается по твердости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное</li> <li>• магматическое</li> <li>• регионально-метаморфическое</li> <li>• контактово-метаморфическое</li> <li>• в пегматитах и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в электротехнике, радиотехнике, ультразвуковой технике, оптическом приборостроении и др. отраслях</li> <li>• в производстве стекол оптических инструментов, химической посуды.</li> <li>• окрашенные разности используют как поделочные и полудрагоценные камни</li> </ul>
<b>Халцедон</b> <b>SiO<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• натечные агрегаты</li> <li>• формы выполнения газовых полостей в эффузивах</li> <li>• плотные прожилки в породах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• формально – скрыто-волокнистая разновидность кварца; удлинение волокон параллельно L2</li> <li>• цвет обычно серый</li> <li>• черта белая</li> <li>• оксиды и гидрооксиды Fe окрашивают в красно-коричневые цвета (карнеол, сердолик, сардер); Ni – в яблочно-зеленый (хризопраз)</li> <li>• концентрически-зональный халцедон называется агатом, прямолинейно-полосчатый – ониксом</li> <li>• тв. 6,5–7</li> <li>• сп. нет</li> <li>• бл. тусклый до воскового</li> <li>• пл. 2,6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от кварца отличается блеском, формой агрегатов</li> <li>• от опала – твердостью и более высокой плотностью</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное</li> <li>• осаждение из истинных растворов</li> <li>• кремниевые прослои в осадочных породах при диагенезе осадков, богатых вулканическим материалом (псевдоморфозы по дереву, органическим остаткам)</li> <li>• в порах эффузивов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• используется как полировочный материал</li> <li>• для изготовления сувениров и ювелирных изделий</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Корунд</b> <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы бочонковидной формы, ограниченные ступенчатыми бипирамидами</li> <li>• пластинчатые, столбчатые кристаллы</li> <li>• плотные зернистые агрегаты – наждаки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет серый, голубовато-серый</li> <li>• черты нет</li> <li>• незначительная примесь Cr дает красный цвет (рубин); Fe<sup>2+</sup> – Fe<sup>3+</sup> желтый; соотношение Fe<sup>2+</sup> и Ti<sup>4+</sup> – синий (сапфир); Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 3% – красно-коричневый</li> <li>• тв. 9</li> <li>• сп. нет</li> <li>• отдельность по {0001} и {1011}</li> <li>• бл. стеклянный, на плоскости {0001} перламутровый</li> <li>• хрупкий</li> <li>• пл. 4,0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поперечных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• твердость форма</li> <li>• кристаллов</li> <li>• штриховка на боковых гранях и пинакоиде</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магматическое в породах богатых глиноземом и бедных кремнеземом и щелочами</li> <li>• контактово-метасоматическое (наждаки)</li> <li>• регионально-метаморфическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• для шлифовки драгоценных камней, металлов, оптических стекол (производство шлифовальных кругов, наждачных шкур)</li> <li>• рубин и сапфир – драгоценные камни</li> <li>• рубин выполняет роль подшипников и опорных камней в часовых механизмах, используется в лазерах</li> <li>• сапфир сваривают со стеклом и припаивают к металлу (иллюминаторы батискафов и др.)</li> </ul>
<p><b>Гематит</b> <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы таблитчатые, пластинчатые (грани ромбоэдра и пинакоида часто иштрихованы)</li> <li>• тонко- и крупнопластинчатые агрегаты</li> <li>• натечные радиально-лучистые и зонально-концентрические агрегаты (красная стеклянная голова)</li> <li>• землистые массы, пленки, дендриты, налеты</li> <li>• псевдоморфозы по магнетиту (мартит)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет черный, стально-серый, в землистых агрегатах ярко красный</li> <li>• черта вишнево-красная, красно-коричневая</li> <li>• тв. 5–6</li> <li>• сп. нет</li> <li>• отдельность по ромбоэдру</li> <li>• бл. от полуметаллического до тусклого</li> <li>• хрупкий</li> <li>• изл. раковистый</li> <li>• пл. 5,26–4,9 (в волокнистых разностях)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поперечных условиях гидратируется (гидрогематит)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от гидрооксидов отличается чертой, высокой твердостью</li> <li>• от киновари – меньшей плотностью и отсутствием спайности</li> <li>• от магнетита – немагнитностью, чертой и формой кристаллов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в латеритных корах выветривания и зонах окисления</li> <li>• регионально-метаморфическое (железистые кварциты)</li> <li>• гидротермальное при отальковании ультраосновных пород</li> <li>• скарны</li> <li>• аксессуарный в магматических породах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• руда для получения железа</li> <li>• используется как краска (мумия, железный сурик), для изготовления красных карандашей</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Магнетит</b> <b>FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы октаэдрического, ромбододекаэдрического облика</li> <li>• мелкозернистые массы, мелкая вкрапленность</li> <li>• псевдоморфозы по гематиту (мушкетовит)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет железно-черный, иногда на гранях синеватая побежалость</li> <li>• черта черная</li> <li>• хрупкий</li> <li>• пл. 5,2</li> <li>• тв. 5,5–6</li> <li>• сп. нет, иногда отдельность по {111}</li> <li>• бл. металлический, полуметаллический</li> <li>• изл. раковистый, неровный, ступенчатый</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в гипергенных условиях, как правило, устойчив</li> <li>• в гипогенных замещается гематитом (высокий потенциал O<sub>2</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магнитность</li> <li>• черная черта</li> <li>• форма кристаллов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• контактово-метасоматическое</li> <li>• регионально-метаморфическое в хлоритовых сланцах и кварцитах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• важнейшая железная руда</li> </ul>
<p><b>Лимонит</b> <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · nH<sub>2</sub>O</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• массивные скопления радиально-волокнутой структуры</li> <li>• гроздевидные, сталактитовые образования</li> <li>• конкреции, оолиты</li> <li>• землистые массы, налеты, корки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет темно-бурый и желтый (охра)</li> <li>• черта желто-бурая</li> <li>• хрупкий</li> <li>• бл. тусклый</li> <li>• пл. 3,3–4,28</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• при нагревании переходит в оксид, теряя воду</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет черты</li> <li>• форма выделения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• верхняя часть зоны окисления и коры выветривания</li> <li>• минеральные источники вулканических областей</li> <li>• биогенно-осадочное (луговые, болотные, дерновые руды)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• руда для получения железа</li> <li>• землистый, порошокватый лимонит используется как краска (охра, умбра)</li> </ul>
<p><b>Гетит</b> <b>FeO(OH)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• почковидные, натечные выделения параллельно-волокнутого строения</li> <li>• концентрически-зональные агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет желто-бурый, темно-бурый до черного</li> <li>• черта бурая с желтоватым оттенком</li> <li>• тв. 4,5-5,5</li> <li>• пл. 4,0-4,4</li> <li>• сп. совершенная</li> <li>• бл. алмазный до полуметаллического</li> <li>• изл. неровный, занозистый</li> <li>• в тонких осколках - прозрачный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• желто-бурые охристые примазки (лимонитизация) за счет гидратации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет черты</li> <li>• налеты и примазки лимонита</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• экзогенное (гипергенный минерал зоны окисления и коры выветривания, осадочные образования)</li> <li>• очень редко – гидротермальное (в виде игольчатых и столбчатых кристаллов внутри кварцевых жезд)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• железная руда</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Опал</b> <b>SiO<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• натечные агрегаты разной формы</li> <li>• землистые агрегаты, оолиты, корки</li> <li>• псевдоморфозы по органическим остаткам</li> <li>• скелеты губок, радиолярий</li> <li>• прожилки в осадочных породах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет белый, черный, бывает окрашен в светлые оттенки желтого, красного, бурого и др., опалесценция (благородный, «огненный» опал)</li> <li>• черта белая</li> <li>• бл. восковый, тусклый</li> <li>• тв. 5–6,5</li> <li>• пл. 1,8–2,3 (зависит от количества воды)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• устойчив к выветриванию и в зависимости от влажности может как обезвоживаться, так и обводняться</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от халцедона отличается меньшей твердостью, плотностью, восковым блеском</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное низкотемпературное (менее 100–155 °С) в вулканических областях</li> <li>• заполняет поры в эффузивах вместе с халцедоном</li> <li>• отлагается в виде натечков вокруг гейзеров (гейзерит)</li> <li>• в результате выветривания кремнистых пород</li> <li>• осадочный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ювелирный камень</li> <li>• благородный и огненный опал - драгоценные камни</li> </ul>
<i>Класс фосфаты</i>					
<p><b>Апатит</b> <b>Ca<sub>5</sub>[PO<sub>4</sub>]<sub>3</sub> · (F, OH)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• дипирамидально-призматические кристаллы</li> <li>• зернистые, сахаровидные агрегаты</li> <li>• радиально-лучистые и шестоватые агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет желто-зеленый, синий, голубой, сине-зеленый, розовый, фиолетовый, дымчатый, белый</li> <li>• черта белая,</li> <li>• изл. неровный до раковистого</li> <li>• тв. 5</li> <li>• сп. несовершенная в одном направлении</li> <li>• бл. стеклянный до жирного</li> <li>• пл. 3,2–3,4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от корунда, берилла – по низкой твердости</li> <li>• сглаженные растворенные ребра кристаллов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магматическое в кислых и щелочных породах</li> <li>• щелочные пегматиты</li> <li>• карбонатиты</li> <li>• контактово-метасоматическое</li> <li>• осадочное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• получение удобрений (суперфосфатов)</li> <li>• в литейном деле (придают литью большую текучесть).</li> <li>• получение фосфора, фосфорной кислоты и др.</li> <li>• изготовление костяного фарфора, фосфорного стекла (пропускает ультрафиолетовые лучи или задерживает инфракрасные, устойчив при нагревании 800 °С)</li> <li>• в спичечной, текстильной, пищевой промышленности, военном деле, медицине и т.д.</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<i>Класс карбонаты</i>					
<b>Кальцит</b> <b>CaCO<sub>3</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы скаленоэдрического, ромбоэдрического габитуса, плоские ромбоэдры</li> <li>• друзы, щетки, сталактиты, сплошные массы, зернистые агрегаты</li> <li>• корки, налеты, натёки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет белый, серый</li> <li>• бесцветный прозрачный, двупреломляющий – исландский шпат</li> <li>• Ni окрашивает в зеленый; Co, Mn – в розовый, тонкодисперсный пирит – в синеватый и зеленоватый, Fe – в желтоватый, буроватый; хлорит, малахит – в зеленый, углистое вещество – в черный</li> <li>• черта белая</li> <li>• пл. 3</li> <li>• изл. ступенчатый</li> <li>• тв. 3</li> <li>• сп. совершенная по ромбоэдру</li> <li>• бл. стеклянный до перламутрового (жемчуг)</li> <li>• «вскипает» при взаимодействии с разбавленной HCl</li> <li>• характерны деформационные двойники</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• легко выщелачивается водами, богатыми углекислотой</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• совершенная спайность по ромбоэдру</li> <li>• низкая твердость</li> <li>• реакция с HCl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• биогенно- и хемогенно-осадочное</li> <li>• гидротермальное</li> <li>• магматическое (карбонатиты)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• исландский шпат используется для создания сложнейших приборов (оптической и медицинской аппаратуры, астрономических измерительных инструментов, квантовых генераторов, в голографии и лазерной технике)</li> <li>• жемчуг используется в ювелирном деле</li> </ul>
<b>Доломит</b> <b>CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ромбоэдры, имеющие несколько округленные грани, часто образованные взаимоперекрывающимися чешуйками</li> <li>• седловидные расщепленные кристаллы</li> <li>• сферолиты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• бесцветный, белый, желтоватый, розово-бурый (примесь гидроксидов Fe), розовый (Mn), зеленый (Cr)</li> <li>• бл. стеклянный, на спайных поверхностях перламутровый</li> <li>• тв. 3,5–4</li> <li>• сп. совершенная по ромбоэдру</li> <li>• черта белая</li> <li>• пл. 2,85</li> <li>• изл. ступенчатый, раковистый</li> <li>• в порошке реагирует с HCl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• если содержит Fe, то легко разлагается с образованием гидроксидов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• реагирует с холодной разбавленной HCl только в порошке</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• хемогенно-осадочное: в отшнурованных бассейнах, сухом и жарком климате при повышенном содержании MgCl<sub>2</sub></li> <li>• доломитизация кальцита в бассейнах лагунного типа</li> <li>• гидротермальное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в металлургии как огнеупорный материал, в качестве флюса при плавке руд</li> <li>• в цементной промышленности, как строительный материал</li> <li>• удобрение</li> <li>• доломитовая мука используется в качестве уплотнительной мастики в крупнопанельном домостроении</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Магнезит</b> <b>MgCO<sub>3</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• мраморовидные массы, сложенные зернами удлиненной формы</li> <li>• фарфоровидные плотные образования</li> <li>• кристаллы в виде ромбоэдров (редко, обычно вросшие)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет у зернистых разностей серовато-белый, желтоватый; у плотных - белый, кремовый, бурый, желтоватый, серый</li> <li>• черта белая</li> <li>• сп. совершенная по ромбоэдру</li> <li>• изл. у зернистых разностей ступенчатый, у плотных - неровный</li> <li>• бл. у зернистых разностей стеклянный, плотные разности - матовые.</li> <li>• тв. 4-4,5</li> <li>• пл. 2,9-3,1</li> <li>• в порошке реагирует с HCl при нагревании</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в зоне выветривания устойчив</li> <li>• может подвергаться растворению и переотложению</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• форма выделений</li> <li>• в порошке реагирует с HCl при нагревании</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермально-метаморфический среди доломитов, известняков,</li> <li>• коры выветривания серпентинитов</li> <li>• рудные жилы и пустоты вулканических пород.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• руда на магний</li> <li>• огнеупорный материал</li> <li>• сахарная, резиновая, бумажная, химическая промышленности</li> <li>• производство электроизоляторов</li> </ul>
<p><b>Сидерит</b> <b>FeCO<sub>3</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы ромбоэдрического габитуса редки, часто искривлены</li> <li>• сплошные зернистые массы</li> <li>• конкреции, оолиты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет желтовато-серый, желто-бурый, коричневый</li> <li>• черта белая</li> <li>• изл. ступенчатый</li> <li>• тв. 4</li> <li>• сп. совершенная по ромбоэдру</li> <li>• бл. стеклянный до перламутрового, у мелкозернистых агрегатов тусклый</li> <li>• пл. 4</li> <li>• реагирует с горячей HCl – после взаимодействия на поверхности остается желто-зеленое пятно солей железа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• легко разлагается с образованием гидроксидов Fe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от кальцита и доломита по реакции с HCl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное</li> <li>• хемогенно-осадочное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• железная руда</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Малахит</b> <b>Cu<sub>2</sub>[CO<sub>3</sub>](OH)<sub>2</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• гроздьевидные, округлые выделения с концентрической полосчатостью и радиально-лучистой структурой</li> <li>• землистые массы, налеты</li> <li>• редко встречаются пористые кристаллы розетковидного сложения, обусловленного двойникованием игольчатых или призматических индивидов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет ярко-зеленый, темно-зеленый, травяно-зеленый</li> <li>• черта бледно-зеленая</li> <li>• тв. 3,5–4</li> <li>• сп. совершенная по {201}</li> <li>• бл. кристаллов алмазный, стеклянный, волокнистых агрегатов – шелковистый, бархатный</li> <li>• изл. у плотных агрегатов полураковистый до неровного</li> <li>• пл. 3,6–4,0</li> <li>• реагирует с холодной HCl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• под действием поверхностных вод неустойчив и замещается хризоколлой, в меньшей степени фосфатами меди и брошантитом</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• реагирует с холодной HCl</li> <li>• зеленый цвет</li> <li>• гроздьевидные, почковидные, округлые выделения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• минерал зоны окисления медьсодержащих руд</li> <li>• из зоны окисления может выноситься и отлагаться в цементе других пород (медистые песчаники)</li> <li>• из горячих источников (в виде цемента в конгломератах)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• декоративный и поделочный камень</li> <li>• натуральная краска</li> <li>• входит в состав медных руд</li> </ul>
<i>Класс сульфаты</i>					
<p><b>Ангидрит</b> <b>CaSO<sub>4</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• сплошные зернистые, мраморовидные или плотные массы</li> <li>• редко призматические, таблитчатые кристаллы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет голубоватый, синеватый, белый</li> <li>• кристаллы прозрачные или просвечивают</li> <li>• черта белая</li> <li>• бл. стеклянный, перламутровый</li> <li>• тв. 3–3,5</li> <li>• пл. 2,8–3,0</li> <li>• сп. совершенная в трех направлениях</li> <li>• изл. неровный</li> <li>• на гранях кристалла нередко наблюдается штриховка</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• при добавлении воды увеличивается в объёме примерно на 30 % и постепенно превращается в гипс</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• спайность</li> <li>• от карбонатов отличается отсутствием реакции с HCl</li> <li>• более твердый, чем гипс</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• хемогенные осадочные породы (эвапориты)</li> <li>• гидротермальные жилы</li> <li>• скарновые месторождения</li> <li>• пустоты магматических пород</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сырье для получения серной кислоты и цемента</li> <li>• удобрение</li> <li>• красиво окрашенные разновидности применяются как поделочный камень (изготовление чернильниц, статуэток)</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<b>Гипс</b> <b>Ca[SO<sub>4</sub>] · 2H<sub>2</sub>O</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>таблитчатые, уплощенные кристаллы, реже столбчатые</li> <li>двойники в виде ласточкиных хвостов</li> <li> друзы пластинчатых кристаллов (гипсовые розы)</li> <li>параллельно-шестоватые агрегаты (селенит)</li> <li>зернистые сплошные массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>цвет снежно-белый, серый, бесцветный</li> <li>из-за примесей может быть желтоватый, голубоватый, розоватый, бурый, черный</li> <li>черта белая</li> <li>тв. 2</li> <li>сп. весьма совершенная по {010} и несовершенная по {100} и {011}</li> <li>бл. на {010} перламутровый, на других плоскостях стеклянный, у волокнистых агрегатов шелковистый</li> <li>спайные чешуйки гибкие, но не упругие; • пл. 2,32</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>при метаморфизме переходит в ангидрит Ca[SO<sub>4</sub>]</li> <li>при переработке микроорганизмами образуется S</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>низкая твердость, спайность</li> <li>отсутствие реакции с HCl</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>при выпаривании морской воды</li> <li>в осадочных породах при окислении сульфидов</li> <li>в зоне окисления сульфидных месторождений</li> <li>отложения горячих источников и фумарол</li> <li>редко гидротермальное в пустотах жил</li> <li>при гидратации ангидрита и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>в архитектурном и скульптурном деле (карнизы, плиты, блоки, барельефы)</li> <li>в бумажной промышленности и медицине</li> <li>в качестве удобрений</li> <li>в производстве серной кислоты, цемента, эмалей, глазурей и красок.</li> <li>прозрачный гипс используют в оптической промышленности</li> <li>селенит – поделочный камень</li> </ul>
<i>Класс фториды</i>					
<b>Флюорит</b> <b>CaF<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>кубические кристаллы, реже в форме октаэдров</li> <li>массивный с четко проявленными спайными трещинами</li> <li>порошковатые, землистые массы</li> <li>характерно двойникование по {111}, часто с образованием двойников прорастания</li> <li>бесцветный и прозрачный – оптический флюорит</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>цвет желтый, зеленый, фиолетовый, белый, серый, бесцветный</li> <li>окраска чаще всего связана с дефектами структуры, черно-фиолетовая – с примесью углеродородов; характерна цветовая зональность</li> <li>черта бесцветная, у очень темных разновидностей слегка окрашена</li> <li>тв. 4</li> <li>сп. совершенная по октаэдру, спайные поверхности часто волнистые</li> <li>бл. стеклянный до жирного</li> <li>пл. 3,18</li> <li>изл. ступенчатый</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>в поверхностных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>форма кристаллов, особенности двойникования</li> <li>цвет и октаэдрическая спайность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>телетермальные жилы, грейзены</li> <li>контактово-метасоматическое</li> <li>гранитные пегматиты и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>в металлургии в качестве плавня (флюса), для формирования легкоплавких шлаков</li> <li>в химической промышленности для получения фтора, искусственного криолита</li> <li>в керамическом производстве для изготовления эмалей и глазурей</li> <li>оптический флюорит служит для устранения хроматической и сферической аберрации</li> </ul>



1	2	3	4	5	6
<i>Класс хлориды</i>					
<b>Галит</b> <b>NaCl</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кубические кристаллы (часто воронкообразные)</li> <li>• зернистые плотные массы, сталактиты</li> <li>• налеты, выцветы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет белый, сероватый, желтоватый, красноватый, синий, голубой, черный, часто бесцветный прозрачный</li> <li>• черта белая или бесцветная</li> <li>• тв. 2–2,5</li> <li>• сп. совершенная по кубу</li> <li>• бл. стеклянный, реже тусклый из-за механических примесей</li> <li>• изл. ступенчатый до ровного</li> <li>• пл. 2,2</li> <li>• растворяется в воде</li> <li>• соленый вкус</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• растворяется в воде</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• соленый вкус</li> <li>• спайность по кубу</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• хемогенное</li> <li>• в областях современного вулканизма (отложения фумарол, налеты на поверхности лав)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• пищевой продукт</li> <li>• для получения соляной кислоты и её солей</li> <li>• для высаливания мыла и органических красок, для соления кож</li> <li>• в металлургии – для хлорирующего обжига</li> <li>• в керамике – для глазурования глиняных изделий</li> <li>• в медицине</li> <li>• для производства алюминия и хлорной извести</li> </ul>
<b>Сильвин</b> <b>KCl</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кубы, усложненные октаэдрическим и гранями</li> <li>• зернистые плотные массы, сталактиты</li> <li>• налеты, выцветы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет белый, сероватый, желтоватый, красноватый, синий, голубой, черный, часто бесцветный прозрачный</li> <li>• черта белая или бесцветная</li> <li>• тв. 2–2,5</li> <li>• сп. совершенная по кубу</li> <li>• бл. стеклянный, реже тусклый из-за механических примесей</li> <li>• изл. ступенчатый до ровного</li> <li>• пл. 2,0</li> <li>• растворяется в воде</li> <li>• горько-соленый вкус</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• растворяется в воде</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• горько-соленый вкус</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• хемогенное (крупные залежи сильвина редки)</li> <li>• в областях современного вулканизма (отложения фумарол, налеты на поверхности лав)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сырьё для получения калийных удобрений</li> <li>• в стекольной промышленности</li> <li>• в производстве препаратов калия, металлического калия</li> <li>• прозрачный сильвин используется в спектро스코пах</li> <li>• для определения абсолютного возраста горных пород</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<i>Класс силикаты и алюмосиликаты</i>					
<i>Отдел островные</i>					
<b>Оливин</b> <b>(Mg, Fe)<sub>2</sub> [SiO<sub>4</sub>]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы изометричные, короткостолбчатые</li> <li>• сплошные массы, зернистые агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет оливково-зеленый с золотистым оттенком (хризолит, перидот), желто-зеленый</li> <li>• черта белая</li> <li>• тв. 6,5–7</li> <li>• сп. по {010} ясная, плохо проявлена</li> <li>• бл. стеклянный</li> <li>• пл. 3,2–4,4</li> <li>• изл. раковистый, иногда ступенчатый</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• под воздействием гидротермальных растворов при температурах ниже 500 °С замещается серпентином</li> <li>• оливин основных изверженных пород выветривается с образованием талька, серпентина, хлорита и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• характер ассоциации: пироксены, хромшпинелиды</li> <li>• замещение серпентином</li> <li>• от эпидота – по изометричной форме кристаллов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• типичный гипогенный минерал</li> <li>• магматическое, в ультраосновных и основных породах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• для изготовления огнеупорных кирпичей</li> <li>• магниальное удобрение</li> <li>• хризолит (перидот) используется в ювелирном деле</li> </ul>
<b>Эпидот</b> <b>Ca<sub>2</sub>FeAl<sub>2</sub> [SiO<sub>4</sub>]</b> <b>[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]· O(OH)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы изометричные, короткостолбчатые</li> <li>• сплошные массы, зернистые агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет фиолетово-зеленый, черно-зеленый, серый (зависит от содержания Fe), бутылочно-зеленый (пушкинит)</li> <li>• черта белая до светло-фиолетовой</li> <li>• тв. 6,5–7</li> <li>• сп. совершенная по {001}</li> <li>• бл. стеклянный</li> <li>• пл. 3,2–3,5</li> <li>• изл. неровный, иногда ступенчатый</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• фиолетово-зеленый цвет</li> <li>• от гранатов – спайность и форма кристаллов</li> <li>• от оливина – то же и характер ассоциации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• метаморфическое</li> <li>• контактово-метасоматическое</li> <li>• гидротермальное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• изредка используется в изготовлении ювелирных изделий</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Гранаты</b>  <math>R^{3+}R^{2+}_3[SiO_4]_3</math>,  где <math>R^{2+} = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}</math>; <math>R^{3+} = Al^{3+}, Fe^{3+}, Mn^{3+}, Cr^{3+}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ромбододекаэдры, тетрагонтриоктаэдры</li> <li>• зернистые массы</li> <li>• плотные сливные агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет пирропа темно-красный; альмандина – вишнево-красный до черного; гроссуляра – светло-зеленый, желтый, бесцветный; андрадита – зеленый, коричневый, желтый; уваровита – ярко-зеленый;</li> <li>• тв. 6,5–7,5</li> <li>• сп. нет</li> <li>• бл. стеклянный до смолистого</li> <li>• изл. неровный до раковистого, у зональных кристаллов скорлуповатый</li> <li>• пл. 3,5–4,3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• форма кристаллов</li> <li>• высокая твердость</li> <li>• от оливина – характер ассоциации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• регионально-метаморфическое (средняя и высокая ступени метаморфизма)</li> <li>• контактово-метаморфическое</li> <li>• магматическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• используется как абразивный материал</li> <li>• для изготовления гранатовой (наждачной) бумаги</li> <li>• равномерно окрашенные гранаты используются как полудрагоценные камни</li> </ul>
<i>Отдел цепочечные</i>					
<p><b>Диопсид</b>  <math>CaMg[Si_2O_6]</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы коротко- и длиннопризматические (реже)</li> <li>• шестоватые, радиально-лучистые агрегаты</li> <li>• зернистые массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет зеленый, буро-зеленый, темно-зеленый, черный, изумрудно-зеленый (хромдиопсид, якутский изумруд)</li> <li>• черта белая, слегка зеленоватая</li> <li>• тв. 5,5–6</li> <li>• сп. ясная в двух направлениях, угол близок к <math>90^\circ</math></li> <li>• иногда встречается отдельность по <math>\{001\}</math> и <math>\{100\}</math></li> <li>• бл. стеклянный</li> <li>• пл. 3,3–3,4</li> <li>• изл. ступенчатый, неровный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• замещается амфиболами, хлоритизируется</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от амфиболов отличается четырех или восьмиугольным поперечным сечением (у амфиболов – шестиугольное)</li> <li>• углом <math>\sim 90^\circ</math> между двумя направлениями спайности (у амфиболов <math>\sim 60^\circ</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магматическое</li> <li>• пегматиты</li> <li>• контактово-метасоматическое</li> <li>• регионально-метаморфическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• породообразующий минерал</li> <li>• хромдиопсид и некоторые другие разновидности используются в ювелирном деле</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<b>Авгит</b> <b>(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,</b> <b>Ti)</b> <b>[(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• вкрапления в глубинных магматических породах</li> <li>• отдельные кристаллы в лавах</li> <li>• кристаллы, вросшие в породу, короткопризматические, плоские</li> <li>• зернистые массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет темно-зеленый до черного</li> <li>• черта серая, зеленовато-серая</li> <li>• бл. стеклянный или матовый</li> <li>• непрозрачный, редко - просвечивающий</li> <li>• тв. 5-6</li> <li>• пл. 3,2-3,6</li> <li>• сп. средняя по призме 87 и 93°</li> <li>• изл. ступенчато-неровный</li> <li>• хрупкий</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях неустойчив, при выветривании за счет него нередко образуется нонтронит, в других случаях галлуазит, иногда каолинит, гидроокислы железа и опал</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• форма кристаллов</li> <li>• цвет</li> <li>• спайность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магматическое</li> <li>• в зоне контакта магматических пород, богатых Fe, Mg и Al с известняками</li> <li>• в вулканических туфах и пеплах</li> <li>• реже в гнейсах и кристаллических сланцах</li> <li>• в составе лунных пород</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• практического значения не имеет, важный породообразующий минерал</li> </ul>
<i>Отдел ленточные</i>					
<b>Роговая обманка</b> <b>(Ca, Na, K)<sub>2-3</sub></b> <b>(Mg, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>,</b> <b>Al)<sub>5</sub> [Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sub>2</sub></b> <b>(OH, F, Cl)<sub>2</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• удлиненные призматические кристаллы</li> <li>• шестоватые, тонколучистые агрегаты</li> <li>• сплошные зернистые агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет темно-зеленый, темно-бурый до черного, синий</li> <li>• черта бледная зеленоватая разных оттенков</li> <li>• тв. 5–6</li> <li>• изл. неровный, занозистый, ступенчатый</li> <li>• сп. совершенная в двух направлениях с углами 56° и 124°</li> <li>• бл. стеклянный, сверкающий на плоскостях спайности (с «роговым отливом»)</li> <li>• пл. 2,9–3,5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях выветривается с образованием глинистых минералов, карбонатов, лимонита с опалом</li> <li>• гидротермально изменяется – биотит, хлориты, серпентин, эпидот, кальцит, кварц</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от пироксенов – по углу спайности и шестиугольном у поперечному сечению, лучшей спайности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магматическое</li> <li>• метаморфическое</li> <li>• контактово-метасоматическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• практического значения не имеет, важный породообразующий минерал</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<i>Отдел слоистые</i>					
<p><b>Серпентин</b> <b>Mg<sub>6</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>8</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• листоватый, скорлуповатый (антигорит)</li> <li>• плотные сплошные массы (лизардит) часто с прожилками асбеста</li> <li>• скрытокристаллический, параллельно-волокнутого сложения (хризотил-асбест)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет от светло- до темнозеленого, зеленовато-черный</li> <li>• окраска часто пятнистая</li> <li>• черта белая</li> <li>• пл. 2,55–2,6</li> <li>• тв. 2,5–3,5</li> <li>• бл. шелковистый, восковый, матовый</li> <li>• изл. раковистый или занозистый</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях переходит в монтмориллонит, а затем в смесь гидроксидов Fe с кремнеземом</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• «зеркала скольжения»</li> <li>• низкая твердость</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермальное изменение ультраосновных пород</li> <li>• замещение оливина в базальтах и габбро</li> <li>• в процессе термального метаморфизма кремнистых доломитовых известняков</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применяется в качестве поделочного и декоративного камня</li> <li>• асбестовое волокно используется во многих отраслях промышленности, для изготовления огнестойких тканей, теплоизоляции, в химической промышленности</li> </ul>
<p><b>Каолинит</b> <b>Al<sub>4</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>8</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• агрегаты с величиной индивидов 1 мкм и меньше</li> <li>• гексагональные пластинки видны только под электронным микроскопом</li> <li>• глиноподобные массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет в чистом виде белый</li> <li>• примесь Fe окрашивает в зеленоватый и красноватый; Mn – в черный</li> <li>• черта белая до светлоокрашенной</li> <li>• тв. 1–1,5</li> <li>• жирный на ощупь</li> <li>• сп. весьма совершенная по {001}</li> <li>• бл. тусклый до воскового</li> <li>• пл. 2,6</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• при метаморфизме переходит в хлорит, тальк, слюду, кианит</li> <li>• при гидролизе – в гидроксиды алюминия, кремнезем (увеличивается твердость до 2,5)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• низкая твердость</li> <li>• гигроскопичен</li> <li>• во влажном состоянии пахнет глиной</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• основная составляющая часть латеритных кор выветривания</li> <li>• в процессе гидротермальной деятельности, как продукт преобразования полевошпатовых пород</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применяется в фарфоро-фаянсовой, химической, текстильной, бумажной, электроизоляционной, красочной промышленностях</li> <li>• в строительном деле</li> <li>• каолиновая вата используется в качестве теплоизоляционного материала</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Тальк</b> <b>Mg3 [Si4O10](OH)2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• листоватые массы, в которых иногда выделяются радиально-лучистые сростки</li> <li>• зернистые агрегаты</li> <li>• плотные, скрытокристаллические агрегаты (стеатит, жировик)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет бледно-зеленый, белый, желтоватый, буроватый, зеленовато-серый</li> <li>• черта белая</li> <li>• тв. 1</li> <li>• жирный на ощупь</li> <li>• сп. весьма совершенная по {001}</li> <li>• бл. перламутровый, в плотных агрегатах тусклый</li> <li>• пл. 2,7–2,9</li> <li>• листочки гибки, но не упруги</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в поверхностных условиях устойчив</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• низкая твердость</li> <li>• жирный на ощупь</li> <li>• от хлорита отличается по низкой твердости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в результате гидротермального изменения ультраосновных пород (гидролиз оливина, пироксенов)</li> <li>• низкая степень метаморфизма кремнистых доломитов или их контактово-метасоматическое изменение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применяется в металлургической, химической, резиновой, бумажной промышленности</li> <li>• в медицине и косметике</li> <li>• огнеупорный материал</li> </ul>
<p><b>Мусковит</b> <b>KAl2 [AlSi3O10] (OH, F)2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• короткостолбчатые, таблитчатые кристаллы ромбического или псевдогексагонального сечения</li> <li>• листоватые агрегаты</li> <li>• мелкочешуйчатые агрегаты (серицит)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет светло-коричневый, серый, бесцветный</li> <li>• черта белая</li> <li>• тв. 2–3</li> <li>• сп. весьма совершенная по {001}</li> <li>• бл. стеклянный до перламутрового</li> <li>• пл. 2,8–3</li> <li>• листочки упругие</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• разрушается с образованием глинистых минералов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от биотита – по цвету</li> <li>• от хлоритов – по упругости листочков и цвету</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• регионально-метаморфическое (низкие ступени)</li> <li>• пегматиты</li> <li>• гидротермальное и метасоматическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• как диэлектрик используется в электротехнической промышленности</li> <li>• применяется в фарфоровой, химической, автомобильной промышленности и др.</li> </ul>
<p><b>Биотит</b> <b>K(Mg, Fe)3 [Al Si3O10] (OH,F)2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы таблитчатые, короткостолбчатые с ромбическим или псевдогексагональным сечением</li> <li>• листоватые, чешуйчатые агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет темно-коричневый, черный</li> <li>• черта светло-коричневая</li> <li>• тв. 2,5–3</li> <li>• сп. весьма совершенная по {001}</li> <li>• бл. стеклянный или перламутровый</li> <li>• пл. 2,7–3,4</li> <li>• листочки упругие</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• гидротермально изменяется – вермикулит, хлорит</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от мусковита – по цвету</li> <li>• от хлоритов – по упругости листочков (у хлоритов они не упруги)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• магматическое в породах кислого и среднего состава</li> <li>• пегматиты</li> <li>• контактовый и региональный метаморфизм</li> <li>• гидротермальное и метасоматическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в ряде случаев из биотита попутно извлекается рубидий и цезий</li> </ul>

1	2	3	4	5	6
<p><b>Хлориты</b> <b>(Mg, Fe)<sub>5</sub> Al [AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>8</sub> (пеннин)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы гексагонального габитуса, таблитчатые по {001}</li> <li>• чаще пластинчатые или чешуйчатые скопления</li> <li>• веерообразные и радиально-лучистые агрегаты</li> <li>• землистые массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет светло-серо-зеленый, темно-зеленый</li> <li>• черта белая до зеленоватой</li> <li>• тв. 2–2,5</li> <li>• сп. весьма совершенная по {001}</li> <li>• бл. стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый</li> <li>• пл. 2,6–3,3 (увеличивается с ростом содержания Fe)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• изменяются с образованием глинистых минералов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• чаще всего зеленые чешуйчатые агрегаты</li> <li>• от слюд – по отсутствию упругости листочков (гибкие, но не упругие)</li> <li>• от талька – по твердости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• метаморфическое (низкие и средние ступени)</li> <li>• скарны</li> <li>• гидротермальное</li> <li>• продукты изменения магнезиально-железистых минералов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• крупные скопления железистых шамозита и тюрингита – это железная руда</li> <li>• порошок можно добавлять в бумагу для обоев (для блеска)</li> </ul>
<i>Отдел каркасные</i>					
Калиевые полевые шпаты					
<p><b>Ортоклаз</b> <b>K[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы короткопризматические, иногда уплощенные до пластинчатых, ромбоэдровидные</li> <li>• двойники по различным законам</li> <li>• зернистые агрегаты</li> <li>• графические сростания с кварцем</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет розовый, желтоватый, белый, серый</li> <li>• черта белая</li> <li>• пл. 2,55–2,63</li> <li>• тв. 6</li> <li>• бл. стеклянный</li> <li>• сп. совершенная по {001} и средняя по {010}</li> <li>• угол между плоскостями спайности 90°</li> <li>• изл. ступенчатый, неровный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• выветриваются с образованием каолинита и других глинистых минералов</li> <li>• при гидротермальных процессах гидролизуются в серицит, каолинит</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от плагиоклазов – по углу между плоскостями спайности (86° у плагиоклазов)</li> <li>• по характеру двойников (простое и перекрестное двойникование)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• породообразующие минералы кислых и щелочных магматических пород</li> <li>• пегматиты</li> <li>• высокотемпературные гидротермальные жилы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• как поделочный камень используется нежно-голубая разновидность с серебристо-перламутровым отливом – лунный камень</li> </ul>

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
<p><b>Микроклин</b> <b>K[AlSi3O8]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы короткопризматическое, иногда уплощенные до пластинчатых, ромбоэдровидные</li> <li>• двойники по различным законам</li> <li>• зернистые агрегаты</li> <li>• графические сростания с кварцем</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет розовый, коричневато-красный, желтоватый, белый, серый, зеленый (амазонит)</li> <li>• черта белая</li> <li>• пл. 2,55–2,63</li> <li>• тв. 6,</li> <li>• бл. стеклянный</li> <li>• сп. совершенная по {001} и средняя по {010}</li> <li>• угол между плоскостями спайности 90°</li> <li>• изл. ступенчатый, неровный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• выветриваются с образованием каолинита и других глинистых минералов</li> <li>• при гидротермальных процессах гидролизуются в серицит, каолинит</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от плагиоклазов – по углу между плоскостями спайности (у плагиоклазов - 86°)</li> <li>• характеру двойников (простое и перекрестное двойникование)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• породообразующие минералы кислых и щелочных магматических пород</li> <li>• пегматиты</li> <li>• высокотемпературные гидротермальные жилы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• используется в стекльной и керамической промышленности</li> <li>• амазонит является поделочным камнем</li> </ul>
<b>Плагиоклазы</b>					
<p><b>Альбит</b> <b>Na [AlSi3O8]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• кристаллы таблитчатого или призматически-таблитчатого облика</li> <li>• двойники по различным законам (особенно часты полисинтетические двойники по альбитовому закону)</li> <li>• зернистые (сахаровидные) агрегаты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• цвет белый, сероватый</li> <li>• черта белая</li> <li>• пл. 2,6–2,74</li> <li>• тв. 6–6,5</li> <li>• бл. стеклянный</li> <li>• сп. совершенная по {001} и средняя по {010}</li> <li>• угол между плоскостями спайности 86°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• выветриваются с образованием глинистых минералов</li> <li>• при гидротермальных процессах замещаются цоизитом, эпидотом, кальцитом и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• от щелочных полевых шпатов – по характеру двойников (на плоскостях спайности {001} часто видны параллельные двойниковые швы)</li> <li>• по углу между плоскостями спайности (86°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• породообразующие минералы магматических пород</li> <li>• пегматиты</li> <li>• регионально-метаморфическое</li> <li>• контактово-метасоматическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• используют в керамическом производстве</li> <li>• для украшений в форме плоских кабошонов</li> <li>используются образцы с оптическим эффектом иризации</li> <li>• в научных исследованиях применяется для определения степени метаморфизма</li> </ul>



1	2	3	4	5	6
<b>Анортит</b> <b>Ca[Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>ясно образованные кристаллы редки, имеют призматический или пластинчатый облик</li> <li>обычны отдельные зёрна и зернистые агрегаты</li> <li>часто встречаются зональные кристаллы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>цвет белый, сероватый, темно-серый, зеленоватый</li> <li>черта белая</li> <li>пл. 2,6–2,74</li> <li>тв. 6–6,5</li> <li>бл. стеклянный</li> <li>сп. совершенная по {001} и средняя по {010}</li> <li>угол между плоскостями спайности 86°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>выветриваются с образованием глинистых минералов</li> <li>при гидротермальных процессах замещаются цоизитом, эпидотом, кальцитом и др.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>от щелочных полевых шпатов – по характеру двойников (на плоскостях спайности {001} часто видны параллельные двойниковые швы)</li> <li>по углу между плоскостями спайности (86°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>породообразующие минералы магматических пород</li> <li>пегматиты</li> <li>регионально-метаморфическое</li> <li>контактово-метасоматическое</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>является основной составляющей концентратов, используемых в керамической промышленности</li> </ul>
<b>Фельдшпатоиды</b>					
<b>Нефелин</b> <b>KNa<sub>3</sub>[AlSiO<sub>4</sub>]<sub>4</sub></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>обособленные изоморфные кристаллы</li> <li>призматические кристаллы</li> <li>зернистые массы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>серый, грязно-зеленый, мясо-красный до бурого (элеолит)</li> <li>черта белая</li> <li>пл. 2,6–2,63</li> <li>тв. 5,5–6</li> <li>сп. несовершенная по {0001}</li> <li>бл. жирный, реже стеклянный</li> <li>изл. неровный</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>при гидротермальных процессах замещается полиминеральной смесью красного или белого цвета (гидронефелин или шпреуштейн)</li> <li>на поверхности легко выщелачивается и разрушается</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>от полевых шпатов отличается по спайности</li> <li>жирному блеску</li> <li>от кварца – по твердости</li> <li>белый «налет» на выветрелой поверхности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>в щелочных магматических породах и их пегматитах</li> <li>при щелочном метасоматозе (фениты и др.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>комплексное сырье для извлечения алюминия, изготовления соды, высококачественного цемента и др.</li> <li>попутно могут извлекаться редкие щелочные металлы и галлий</li> </ul>

Примечание. В таблице приняты следующие сокращения: тв. – твердость, сп. – спайность, бл. – блеск, изл. – излом, пл. – плотность.

## Вопросы к главе 1

1. Объект науки минералогии.
2. Что такое минерал и минеральные образования? Определение минерала.
3. Что такое минеральный индивид? Минеральный вид.
4. Что такое полиморфизм? Полиморфные модификации.
5. Что такое изоморфизм? Изоморфные ряды.
6. Генезис минералов. Генетическая минералогия.
7. Основные факторы минералообразования?
8. Эндогенные процессы минералообразования.
9. Экзогенные процессы минералообразования.
10. Ряд Боуэна.
11. Что такое кристаллы? Размер и форма кристаллов.
12. Габитус – что это такое?
13. Что такое двойники, какие бывают двойники, какие минералы имеют двойники?
14. Минеральные агрегаты. Размеры и форма.
15. Что такое друзы и щетки?
16. Что такое конкреции и секреции?
17. Что такое дендриты и псевдоморфозы?
18. Что такое оолиты и натечные формы?
19. Что такое диагностические свойства минералов?
20. Цвет, окраска минералов? Черта минерала?
21. Что такое блеск, прозрачность?
22. Что такое спайность и отдельность? Направления спайности.
23. Что такое твердость? Шкала Мооса.
24. Другие свойства минералов (плотность, хрупкость и т.д.).
25. Особые свойства минералов (вкус, запах и т.д.).
26. На чем основана классификация минералов? Перечислить все классы.
27. На какие подцарства делится царство минералов?
28. Какие классы минералов относятся к простым вещества?
29. Какие классы минералов относятся к соединениям?
30. Самый многочисленный класс минералов, на чем основано его деление на отделы? Перечислить.
31. Какие классы минералов имеют практическое значение (на чем основано и перечислить)?
32. Основные минералы руд – дать количественную и качественную характеристику.
33. Породообразующие минералы. Какие породообразующие минералы вы знаете?

## ГЛАВА 2. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

### 2.1. Что такое горные породы

**Горными породами** называются минеральные агрегаты определенного состава и строения, образовавшиеся в результате природных физико-химических процессов.

Горные породы состоят из одного (мрамор – из кальцита) или нескольких минералов (гранит – из полевых шпатов, кварца, слюды и иногда роговой обманки). В первом случае их называют *мономинеральными* (одноминеральными), во втором – *полиминеральными* (многоминеральными).

Относительно небольшая группа минералов, слагающая основную, подавляющую часть массы горных пород и определяющая их химический состав, называют *породообразующими* минералами. Из более 3000 известных минералов только около 100 породообразующих. Среди них наиболее распространены полевые шпаты, кварц, пироксены, кальцит и некоторые другие.

Второстепенные минералы называются *акцессорными* минералами, или акцессориями. Кроме того в породах, испытавших наложенные преобразования, выделяют наряду с первичными минералами *вторичные*, или эпигенетические, минералы.

Наука, занимающаяся изучением горных пород, называется *петрографией*. В настоящее время известно около 1000 видов различных горных пород.

**Петрография** (πέτρα – скала, камень, γραφή – пишу) отрасль геологии, изучает свойства горных пород. Петрография повсеместно считается физиографией горных пород и посвящена детальным изучениям их минерального состава, исследованиям особенностей структур и текстур, а также определению химического состава. Некоторые исследователи считают, что петрография синоним петрологии и различие обоих понятий необоснованно.

**Петрология** – понятие более широкое, чем петрография, так как кроме физиографических исследований горных пород, охватывает также их генезис как с экспериментальной, так и с теоретической стороны; находится в тесной связи с тектоникой (петрология структурная). Термин широко используется с XX в., распространяется все шире и находит признание во всем мире (Т.Ф. В. Барт, Д.Х. Грин, Ф.Ф. Гроут, У.Т. Хуан, А.Э. Рингвуд, А. Спри, Ф.Дж. Тернер, Дж. Ферхуген, Х.Г.Ф. Винклер, А.Н. Заварицкий и др.).

**Вулканология**, пирогеология (Вулкан – бог огня у древних римлян) – наука, изучающая строение, деятельность, происхождение, размещение, состав продуктов вулканизма и их использование. Целью вулканологии является исследование истории развития вулканической деятельности, в т.

ч. и в древние геологические эпохи (палеовулканология); с петрографией она связана общими интересами в области источников энергии и магматического вещества, его состава и глубинного строения вулканического аппарата.

**Литология** (*lithos* – камень; греч.) – наука об осадочных породах; понятие литологии охватывает химический и минеральный состав пород, их физические свойства, структуры и текстуры, информацию о стратиграфической принадлежности, генезисе с детальным рассмотрением среды седиментации осадочных пород, а также о позднейших диа- и эпигенетических изменениях, связанных с выветриванием. За рубежом используется синоним – седиментология.

Отметим связь науки о породах с естественными (география, ботаника, геология, физика, химия) и с гуманитарными науками (экология, история, экономика, социология). Как пример – использование в Аркаиме определенных типов пород для определенных целей.

## 2.2. Диагностические свойства пород

Важное классификационное и диагностическое значение имеют структура, текстура горных пород и форма залегания.

**Структурой** называются особенности внутреннего строения пород, которые определяются формой, абсолютным и относительным размером слагающих их минералов.

**Текстура** – особенности сложения горных пород, которые зависят от взаимного расположения их составных частей, а также характера и способа заполнения занимаемого пространства минеральным веществом.

**Форма залегания** – это форма объема, который занимает горная порода.

Наиболее распространенными структурами являются *полнокристаллическая* (порода полностью сложена кристаллическими зернами), *стекловатая* (порода состоит из нераскристаллизовавшегося стекловатого вещества), *обломочная* (порода состоит из обломков минералов и горных пород), *порфировая* (порода состоит из стекловатой или скрытокристаллической основной массы и отдельных кристаллов, называемых порфировыми вкраплениями).

Среди текстур различают следующие основные виды: *массивная* (равномерное расположение минералов в породе), *слоистая* (порода состоит из слоев разного состава и структуры), *сланцеватая* (порода имеет тонкую делимость, обусловленную ориентированным расположением чешуйчатых, листовых минералов), *полосчатая* (чередование полос различного цвета, строения или минерального состава), *пористая* (в породе имеются пустоты, поры), *миндалекаменная* (пустоты и поры заполнены вторичными минералами), *таксисовая* (в породе отдельные участки отличаются друг от друга по составу или структуре) и др.

Основные свойства и внешние признаки горной породы определяются в первую очередь условиями ее образования. Поэтому в петрографии принята **классификация горных пород по их происхождению**. Согласно этой классификации все горные породы подразделяются на *магматические, осадочные и метаморфические*.

**Магматические** горные породы образуются при кристаллизации жидкого силикатного расплава, называемого магмой (от греч. *magma* – тесто). Когда магматический расплав застывает и кристаллизуется в земной коре, не достигнув поверхности, образуются **интрузивные** (плутонические) породы. Если магматический расплав, выброшенный при вулканических извержениях, застывает на поверхности, образуются **эффузивные** (вулканические) горные породы. Различают также группу жильных магматических пород, образовавшихся при остывании магмы в трещинах земной коры. Магматические породы составляют 50 % от объема земной коры.

**Осадочными** называются горные породы, образующиеся на поверхности земли за счет накопления и некоторого преобразования продуктов разрушения ранее существовавших пород, а также при химическом осаждении в водных бассейнах с участием или без участия организмов. Осадочные породы в объеме земной коры составляют не более 5–8 %, в то же время занимают около 75 % площади земной поверхности.

**Метаморфические** горные породы образуются в результате преобразования (метаморфизма) исходных магматических или осадочных пород под воздействием температуры, давления и химически активных веществ. Под действием этих факторов происходит частичная или полная перекристаллизация минералов исходных пород, образуются новые (метаморфогенные) структуры и текстуры. Метаморфические породы составляют около 45 % объема земной коры.

### **2.3. Магматические горные породы**

Земная кора состоит преимущественно из продуктов многократного проявления магматической деятельности – вулканизма и плутонизма. Плутонические породы из семейства гранитов образуют непрерывные выходы на дневной поверхности континентальных щитов в пределах площадей в тысячи квадратных километров. Горные породы, возникшие при относительно молодых и современных эпизодах эффузивной и интрузивной деятельности, хотя и распространены прерывисто, тем не менее, в целом вносят внушительный вклад в продолжающую расти земную кору. О самих магматических процессах мы знаем меньше, чем об их продуктах – изверженных горных породах. В настоящее время, как и в прошлом, в различных более или менее случайно расположенных участках, несомненно, протекают плутонические процессы. В ряде случаев проявление плутонизма предполагаются на глубине ниже поверхностных

зон современной вулканической и сейсмической деятельности. Однако эти процессы не поддаются прямым наблюдениям. С другой стороны, вулканизм можно изучать непосредственно в процессе его проявления.

**Классификация и номенклатура.** В качестве классификационных признаков магматических пород используют их химический состав и условия залегания. По химическому составу, который во многом обусловлен содержанием кремнезема  $\text{SiO}_2$ , все магматические породы делятся на **кислые, средние, основные и ультраосновные** (табл. 4). Название «кислые породы» произошло от слова «кремнекислота», которым раньше обозначали  $\text{SiO}_2$ ; название «основные породы» – от слова «основание» (Ca, Mg, Fe и др.).

По содержанию других главных оксидов магматические породы подразделяются на породы **нормального** ряда и **щелочные**. Для пород нормального ряда характерно следующее соотношение содержаний главных оксидов:  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$ . Породы щелочного ряда встречаются крайне редко и составляют в природе не более 2% всей массы магматических пород.

Для первоначального (в полевых условиях) отнесения породы к одной из этих групп не обязателен химический анализ, так как химический состав пород отражается в их минеральном составе. Чем больше в породе кварца, тем она кислее; с возрастанием количества темноцветных минералов порода становится более основной, в ней увеличивается содержание железа, магния, кальция и уменьшается кремнезема. Для пород щелочного ряда характерно большое количество калиевого полевого шпата. В щелочных породах, как правило, присутствует нефелин и (или) лейцит (нефелин никогда не встречается вместе с кварцем). Надежным показателем кислотности породы являются плагиоклазы – чем в них меньше анортитовая составляющая, тем кислее порода. Хотя, макроскопически установить плагиоклаз бывает трудно.

По условиям образования магматические породы делятся на **интрузивные**, включающие **субвулканические и жильные** (полуглубинные, или гипабиссальные), и **эффузивные**. Интрузивные породы формировались на относительно больших глубинах, кристаллизация субвулканических и жильных пород происходила на небольшой глубине, эффузивные (излившиеся) породы затвердели непосредственно на дневной поверхности.

По степени вторичных изменений, эффузивные породы делятся на **кайнотипные** – «молодые», неизменные, и **палеотипные** – «древние», в той или иной степени измененные и перекристаллизованные главным образом под влиянием времени. Существенные вторичные изменения претерпевают полевые шпаты, биотит и амфиболы.

За редкими исключениями, эти изменения устанавливаются только при микроскопических исследованиях.

Таблица 4

**НОМЕНКЛАТУРА ГЛАВНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД**

Тип пород		Тип пород по содержанию кремнезема				
по щелочно сти	по условиям залегания	Ультраосновные (SiO <sub>2</sub> 33–44)	Основные (SiO <sub>2</sub> 44–52)	Средние (SiO <sub>2</sub> 52–64)	Кислые	
					(SiO <sub>2</sub> 64–70)	(SiO <sub>2</sub> 70–76)
Нормальной щелочности	Эффузивные (вулканические), субвулканические	Пикриты (ол, пи, ам, пл, хр) 0 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 1	Базальты (пи, пл, ам) 1.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 4.5	Андезиты, андезибазальты (пл, пи, ам, ол, би) 0 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 5–7.5	Дациты, риодациты (пл, кпш, кв, ам, би) 0 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 8	Риолиты (кв, пл, кпш, ам, би) 7 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 8
	Интрузивные (плутонические)	Перидотиты (ол, пи, ам) Оливиниты–Дуниты (ол, ма, хр) 0 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 1.5	Габбро (пл, пи, ол, ам) Пироксениты (пи, ол, ам, пл) 0.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 4	Диориты (пл, ам, пи, би, кв) 0 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 5–7.5	Гранодиориты (пл, кв, кпш, ам, би) 0 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 8	Граниты (кв, пл, кпш, му, би) 7 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 8
Щелочные	Эффузивные (вулканические), субвулканические	Щелочные пикриты (ол, пи, не, фл) 1.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 4 Кимберлиты (ол, ка, фл, гр, ал) 0.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 2	Трахибазальты (пи, ам, пл) 2.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 9.5 Лампроиты (пи, кпш, фл, ле, ол)	Трахиандезиты (пл, кпш, пи, ам, би) 5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 14 Трахиты (кпш, пл, пи) Фонолиты (кпш, не–ле, пи, би) 7.8 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O < 23	Трахидациты (кв, кпш, пл, ам, би) 7.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O Щелочные трахидациты (кв, кпш, пи, ам) 10 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Трахириолиты (кв, кпш, пл, би) 8 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O Комендиты (кв, кпш, пи, ам) 8.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O

Тип пород		Тип пород по содержанию кремнезема				
по щелочности	по условиям залегания	Ультраосновные (SiO <sub>2</sub> 33–44)	Основные (SiO <sub>2</sub> 44–52)	Средние (SiO <sub>2</sub> 52–64)	Кислые по щелочности	
					(SiO <sub>2</sub> 64–70)	(SiO <sub>2</sub> 70–76)
	Интрузивные (плутонические)	Мелилитолиты (ме, пи, не, ол) 2< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O <8.5 Ультраосновные фойдолиты (не, пи, ол) 2< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O <20	Основные фойдолиты (не, пи, кпш, ол) 4< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O <23 Лампрофירים (би, ам, пл, кпш)	Сиениты (пл, кпш, ам, би, пи) 5< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O <14 Щелочные сиениты (кпш, не, пл, ам, пи) Миасскиты и др. (кпш, не, би, ам) 7< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O <21	Кварцевые сиениты (кв, кпш, пл, пи, ам, би) 7.5 < Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O Щелочные кварцевые сиениты (кв, кпш, пл, ам, пи) 10< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Субщелочные граниты и лейкограниты (кв, кпш, пл, ам, би) 8< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O Щелочные граниты и лейкограниты (кв, кпш, ам, пи) 8.5< Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O

Примечания: 1) в скобках указаны главные и *второстепенные* породообразующие минералы: ал – алмаз, ам – амфибол, би – биотит, гр – гранат, ка – карбонат, кв – кварц, кпш – калиевые полевые шпаты (ортоклаз, микроклин, санидин), ле – лейцит, ма – магнетит, ме – мелилит, му – мусковит, не – нефелин, ол – оливин, пи – пироксен, пл – плагиоклазы (кислые – альбит, олигоклаз, средние – андезин, лабрадор, основные – битовнит, анортит), фл – флогопит, хр – хромит

Визуальное определение магматических горных пород не представляет больших трудностей, если внимательно отнестись к изучению их главных отличительных признаков. По этим признакам в первую очередь следует установить, является порода интрузивной или эффузивной.

Магматические породы по условиям образования, т.е. в зависимости от того, где они образуются при застывании магмы – внутри земной коры или на ее поверхности, как было сказано выше, подразделяются на интрузивные (плутонические) и эффузивные (вулканические). Интрузивные и эффузивные породы различаются по **структуре**, которая зависит от условий затвердевания магмы.

**Кристаллизационная способность** магматического расплава определяется двумя основными факторами – количеством возникающих центров кристаллизации и скоростью роста кристаллов. Если магма охлаждается очень **медленно** и температура ее долго держится вблизи точки плавления, то она может полностью закристаллизоваться вокруг редких центров кристаллизации, так и не достигнув области, где



количество центров возрастает. При этом образуются полнокристаллические крупнозернистые структуры. При **быстром** охлаждении магмы в области с малым числом центров кристаллизации этому процессу подвергается лишь незначительная часть расплава, затвердевание основной его части происходит в области с большим количеством центров кристаллизации, что и ведет к образованию мелкозернистых структур. При очень большом и быстром переохлаждении магма не кристаллизуется, а затвердевает в виде однородной изотропной массы – вулканического стекла. Если магма охлаждается неравномерно, сначала медленно, а затем быстро, то возникают порфиновые структуры, в которых крупные кристаллы являются продуктами кристаллизации, возникшими при медленном остывании магмы, а основная масса представляет собой быстро затвердевший сплав. Таким образом, для plutonic пород, образующихся, при незначительном переохлаждении магмы, характерны полнокристаллические крупнозернистые структуры, а для вулканических пород, формирующихся из сильно переохлажденных магм, – неполнокристаллические, порфиновые и стекловатые.

В результате различия условий кристаллизации магматических пород внутри коры и на ее поверхности plutonic и вулканические породы, образовавшиеся из одинаковой магмы, оказываются аналогичными по химическому составу, но резко различаются по структуре и отчасти по минеральному составу. Различие в минеральном составе объясняется двумя причинами. Первая состоит в том, что даже при одинаковом химическом составе не может быть полного совпадения минерального состава вулканической породы, не полностью раскристаллизованной и содержащей вулканическое стекло, и plutonic породы, сплошь состоящей из минеральных зерен. Вторая причина заключается в том, что условия кристаллизации часто определяют появление тех или иных минеральных видов.

**Структурные** признаки являются главными при диагностике магматических пород. Определяя структуру, образец вращают относительно источника света. При этом первостепенное внимание уделяют блеску – выясняют, блестит вся поверхность, блестят лишь отдельные зерна, или же поверхность матовая. Выделяют 3 типа структур магматических пород: по степени кристалличности, по абсолютному размеру кристаллов, по относительному размеру кристаллов. В свою очередь, типы структур делятся на виды.

По степени кристалличности:

- полнокристаллическая (вся порода сложена кристаллами, т. е. блестит) – характерна для интрузивов;

- неполнокристаллическая, порфировая (в однородно-матовом веществе блестят отдельные кристаллы) – характерна для эффузивов;
- стекловатая, или афировая (в породе нет кристаллов, т. е. порода матовая) – характерна для эффузивов.

Признаки *полнокристаллической* структуры следующие.

- Контрастно блестящая поверхность скола. На неподвижной поверхности блестят разрозненные кристаллы. Соседние с ними участки затенены и не блестят. При легком повороте образца прежде бывшие темными участки вспыхивают, а ранее блестящие – наоборот, тускнеют.

- Выраженность морфологических элементов кристаллов: прямолинейных ребер, остроугольных вершин, плоских блестящих граней.

*Стекловатая* структура проявляется в отсутствии блеска – вещество лишено кристаллов. Единственным исключением из этого правила является обсидиан (вулканическое стекло) – афировая порода со стеклянным или восковым блеском. Однако излом у обсидиана раковистый, поэтому при повороте образца блестящая полоса плавно скользит по поверхности, не ограничиваясь острыми углами и прямыми линиями.

*Неполнокристаллическая*, или порфировая структура отличается тем, что на матовом фоне выделяются отдельные блестящие кристаллы. Форма порфировых кристаллов бывает идиоморфной (угловатой, с выраженной кристаллической огранкой) и ксеноморфной (округлой, изометричной, обусловленной растворением вершин и ребер кристаллов).

В полнокристаллических породах определяют еще два структурных признака: по абсолютному и по относительному размеру кристаллов.

По абсолютному размеру кристаллов (их наибольшей протяженности):

- гигантокристаллическая (крупнее 10 мм);
- крупнокристаллическая (10–3 мм);
- среднекристаллическая (3–1 мм);
- мелкокристаллическая (1–0,5 мм);
- тонкокристаллическая (менее 0,5 мм).

По относительному размеру кристаллов:

- равномернокристаллическая – характерна для абиссальных пород;
- неравномернокристаллическая (порфировидная) – характерна для гипабиссальных пород.

*Равномерная* кристалличность означает равновеликость кристаллов – они принадлежат либо к одной группе по абсолютному размеру, либо к двум соседним. *Порфировидная* структура отличается большой разницей диаметров кристаллов – от мелких до гигантских.

**Текстуры** магматических пород представлены следующими видами.

- Массивная – составные части породы расположены хаотично (возможна у интрузивов и эффузивов).

- Пятнистая и полосчатая – разноцветные кристаллы образуют пятна или полосы (только интрузивы).

- Пузыристая (пористая, ноздреватая) – в стекловатом или порфировом образце видны пустоты (только эффузивы).

- Миндалекаменная – крупные поры стекловатой породы заполнены овальными включениями гипергенных или гидротермальных минералов: кальцита, халцедона (только эффузивы).

- Флюидальная – в стекловатом или порфировом образце видны изгибы, заливы разноокрашенных потоков застывшей лавы (только эффузивы).

- Пегматитовая – кристаллы формируют неповторимый рисунок на каждой стороне образца (только интрузивные жильные породы).

Таким образом, пегматитовая, пятнистая и полосчатая текстуры обычно свидетельствуют об интрузивном происхождении породы; пузыристая, миндалекаменная и флюидальная – об эффузивном происхождении.

**Отдельность** магматических пород возникает при остывании расплава. При этом порода покрывается сетью закономерных ориентированных трещин, и разделяется на массивы определенной формы. Выделяют отдельности глыбовую, параллелепipedальную, матрацевидную, столбчатую, шаровую. Отдельность помогает диагностировать условия застывания расплава, а также химический и минеральный состав породы.

*Глыбовая (или плитообразная, пластовая), параллелепipedальная и матрацевидная* отдельности присущи крупным интрузиям. Медленно остывающие интрузивные тела рассекаются трещинами по периферии, параллельно контактам с окружающими породами – возникает отдельность глыбовая. Если трещины пересекают друг друга перпендикулярно, то возникает параллелепipedальная отдельность. Глыбовые и параллелепipedальные отдельности характерны для интрузивов основного и среднего состава (габбро, сиенитам, диоритам). Выветривание сглаживает вершины и ребра параллелепipedов – образуется матрацевидная отдельность, присущая интрузивам кислого состава (гранитам и гранодиоритам).

*Столбчатая и шаровая* отдельности свойственны эффузивам. Внутри быстро остывающих лавовых потоков и покровов возникают вертикальные системы трещин, разбивающие породу на параллельные столбы (призмы) – так возникает столбчатая отдельность. Столбчатая отдельность присуща эффузивам основным (базальтам), в меньшей степени – средним (андезитам). Базальты рассекаются трещинами на пяти- или шестигранные вертикальные столбы (трещины ориентируются перпендикулярно охлаждающейся поверхности). На дне океана расплав основного состава остывает быстро, стягиваясь к разрозненным центрам. Вокруг таких центров возникают сферические трещины – формируется шаровая (или

подушечная) отдельность, в которой каждый шар покрыт скорлуповатыми корками.

Для эффузивных пород характерные **формы залегания** – потоки, купола, покровы (рис. 2.1). *Потоки* – застывшие лавовые реки протяженностью до 80 км. *Купола* – погребенные или современные конуса вулканов. Высота куполов от сотен до первых тысяч метров. *Покровы* – плащеобразные тела, образующиеся при заполнении лавой площадей в сотни и тысячи квадратных километров.

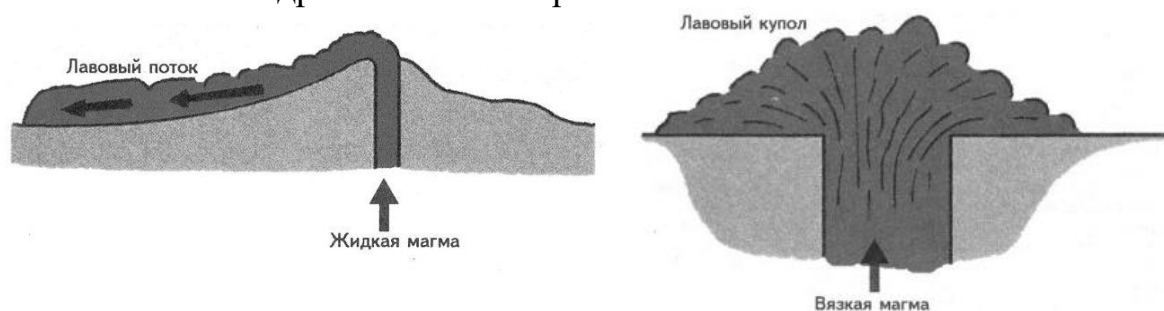


Рис. 2.1. Формы залегания эффузивных пород

Наиболее распространенные **формы залегания** интрузивных пород – батолиты, штоки, лополиты, лакколлиты, силлы, дайки, жилы (рис. 2.2). *Батолиты* – куполообразные тела огромных размеров (более 100 км<sup>2</sup>). *Штоки* имеют ту же форму, что и батолиты, но их площадь менее 100 км<sup>2</sup>. *Лополиты* – согласные, межпластовые интрузии блюдцеобразной формы, залегающие в синклиналях и мульдах. Размеры лополитов в диаметре могут достигать десятков километров, а мощность — многих сотен метров. *Лакколлиты* – магматические тела грибообразной формы, образующиеся при проникновении магмы в межпластовые трещины и выдавливании вверх вышележащих пластов. Мощность лакколлитов может достигать 3000 м. *Силлы* представляют собой пластообразные тела, залегающие согласно между слоями осадочных пород. *Дайки* – линейно вытянутые вертикальные или круто падающие магматические тела, образовавшиеся за счет заполнения магмой трещин с относительно параллельными стенками. Мощность даек колеблется от миллиметров до нескольких километров. *Жилы* – геологические тела, сложенные горными породами, заполнившими трещины. Жилы не выдержаны ни по мощности, ни по простиранию.

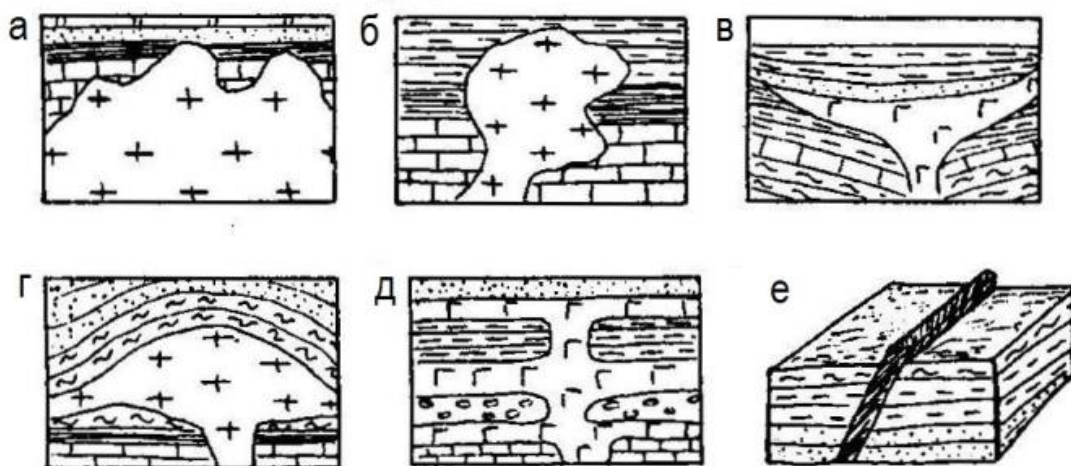


Рис. 2.2. Формы залегания интрузивных пород: а – батолит, б – шток, в – лополит, г – лакколит, д – силлы, е – дайка

Как упоминалось выше, основой для классификации магматических горных пород является их химический состав.

Кислые породы. Они широко распространены в земной коре. На территории России их выходы составляют около 47 % всех магматических пород. Кислые породы состоят из полевых шпатов (70 %), кварца (25%), слюд и роговой обманки (5 %).

Кислые plutonic породы – граниты и гранодиориты, их вулканические аналоги – риолиты и дациты. К вулканическим аналогам кислых пород относятся также обсидиан и пемза.

Цвет *гранитов* светло-серый, розовый или красный. К этому основному названию обычно добавляется определение, которое дают по преобладающему темноцветному минералу: биотитовые, роговообманковые, пироксеновые граниты и др. По внешнему виду это массивные породы с мелко-, средне- или крупнозернистой структурой. Светлоокрашенные граниты, не содержащие цветных минералов, называют *алюскитами*. Жильные гранитные породы с зернами размером более 25 мм называют *пегматитами*. Они отличаются от гранитов гигантозернистой структурой, наличием крупных кристаллов редких минералов (берилла, турмалина и др.) и зональным строением. С пегматитами бывают связаны месторождения слюд и рудных полезных ископаемых (O, V, Mo, Sn и др.). Разновидностью биотитовых или биотит-роговообманковых гранитов являются *рапакиви*, в которых калиево-натриевый полевой шпат образует крупные округлые фенокристаллы (овоиды), окруженные оболочкой зеленого олигоклаза. Интересную разновидность пироксеновых гранитов представляют собой *чарнокиты* – гиперстен-биотитовые граниты (гиперстен – минерал из группы пироксенов). Граниты залегают в форме батолитов, штоков, даек.

С гранитами тесно связаны *гранодиориты*, содержащие по сравнению с гранитами меньше кварца и значительно меньше калиевого полевого

шпата. Наиболее распространенными разновидностями гранодиоритов являются *плагιοграниты* (если принять количество полевых шпатов в породе за 100 %, то в этих породах количество калиевого полевого шпата не будет превышать 10 %), *собственно гранодиориты* (количество калиевого полевого шпата 10–30 %) и *адамеллиты* (гранодиориты щелочного ряда с количеством калиевого полевого шпата до 60 %).

К эффузивным породам кислого состава относятся *риолиты* (устар. – липариты, риолитовые или кварцевые порфиры и др.). Структура этих пород, как правило, порфировая, вкрапленники представлены кварцем (присутствует постоянно), калиевым полевым шпатом и кислым плагиоклазом. Вкрапленники кислых вулканитов обычно характеризуются четким идиоморфизмом граней и часто образуют скелетные формы. В основной массе кислых вулканитов кайнотипного облика нередко отмечается стекло, вкрапленники часто сложены водяно-прозрачной разновидностью калиевого полевого шпата – санидином. Стекло палеотипных вулканитов полностью раскристаллизовано в мелкозернистый агрегат, среди минералов группы калиевых полевых шпатов встречаются преимущественно ортоклаз или микроклин. Визуальное определение степени развития вторичных изменений кислых эффузивов затруднено.

Вулканические стекла кислого состава, отвечают по составу риолитам – *обсидианы* – похожи на обычное стекло, окрашенное в различные, часто очень темные (до черного) цвета. К стеклам относятся также *пехштейн*, имеющий жирный смоляной блеск, и *пемза*, легкая, очень пористая порода. Пемза образуется при подводных излияниях вязкой кислой лавы, насыщенной газами, обычно окрашена в серые, желтоватые, бурые тона.

Средние породы. Средние породы, занимающие промежуточное положение между основными и кислыми, состоят из средних плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и роговой обманки, реже авгита и биотита; кварца. Плутонические породы представлены диоритами, их вулканические аналоги – андезитами, андезибазальтами.

Породы группы *диоритов* состоят из плагиоклазов (около 65 %) и роговой обманки (35 %). Из второстепенных минералов присутствуют калиевый полевой шпат, кварц, слюда и пироксены. Диориты светло-серого или зеленовато-серого цвета, структура полнокристаллическая, зернистая, текстура массивная. Плагиоклазы встречаются в виде зерен таблитчатой формы серой или светло-зеленой окраски. Роговая обманка в виде удлиненных кристаллов темно-зеленых или черных. По содержанию второстепенных минералов диориты бывают *биотитовыми*, *кварцевыми* и *пироксеновыми*. Присутствие в диоритах кварца и калиевого полевого шпата сближает породу с гранитами, а пироксенов – с основными породами (габбро). Диориты залегают в форме штоков, даек.

*Андезиты* – вулканические аналоги диоритов. Цвет темно-серый до черного. По цвету они иногда трудно отличимы от основных эффузивных пород – базальтов. В этих случаях прибегают к микроскопическим методам определения. Андезиты имеют скрытокристаллическую порфиловую структуру, текстура пористая, реже – миндалекаменная. Вкрапленники представлены средним плагиоклазом светлой окраски, реже роговой обманкой, авгитом, биотитом. Форма залегания андезитов – потоки, купола.

Основные породы. Главные минералы основных пород: плагиоклазы – 55 %, пироксены – 45 %. Второстепенные минералы представлены оливином, роговой обманкой, биотитом. Глубинные породы основного состава называют габбро, излившиеся – базальтами.

К основным плутоническим породам относится *габбро*. Это темные, средне- и крупнокристаллические породы, с массивной, полосчатой, такситовой текстурой, в состав которых входит пироксен (50 %) и средний или, чаще, основной плагиоклаз (50 %). Поэтому на темном фоне выделяются более светлые зерна плагиоклазов. По содержанию второстепенных минералов, габбро бывает *оливиновым*, *биотитовым*. *Анортозиты* – породы из группы габбро, состоящие почти целиком, из основного плагиоклаза. Очень красивой разновидностью основных интрузивных пород является *лабрадорит*. Крупные темно-серые кристаллы лабрадора при определенных поворотах к свету начинают иризировать – светиться чистым синим цветом. Лабрадориты – ценный облицовочный материал.

Вулканические породы основного состава распространены в земной коре очень широко, слагают глубокие части дна океанов и некоторые океанические острова. *Базальты* – породы с четко выраженной порфировой структурой, более темные, чем андезиты, вкрапленники базальтов на почти черном фоне основной массы выделяются очень резко, будучи представлены плагиоклазом и темноцветными минералами (пироксенами, напр., авгитом, или роговой обманкой). Структура основной массы скрытокристаллическая, мелкозернистая. *Долеритами* называют базальты с долеритовой структурой, для которой характерны относительно крупные вытянутые таблички (лейсты) плагиоклаза в основной массе.

*Диабазы* – преимущественно жильные породы, по минеральному составу аналогичны базальтам и габбро. Это яснозернистые породы, состоящие из основного плагиоклаза и пироксена. В основной массе диабаза встречаются хорошо различимые удлиненные кристаллы серого плагиоклаза или темного авгита, образующие как бы войлок минералов (офитовая структура). Базальты, содержащие кислый плагиоклаз (альбит) за счет альбитизации первичного основного плагиоклаза и образовавшиеся при подводных излияниях, о чем свидетельствует наличие в них

подушечной отдельности, называются *спилитами*. Базальты образуют мощные покровы площадью в десятки тысяч квадратных километров.

Ультраосновные породы (гипербазиты). Встречаются довольно редко и образуют массивы – небольшие батолиты и штоки. Состоят преимущественно из пироксенов и оливина. Как оливин, так и пироксен могут составлять до 100 % всей массы породы. Второстепенные минералы представлены *плагноклазом* и *роговой обманкой*. Наибольшим распространением в земной коре пользуются плутонические ультраосновные породы: дуниты и перидотиты. Вулканические их аналоги (пикриты, меймечиты и коматииты) очень редки.

*Дуниты* – массивные темно-зеленые до черного породы, состоящие из оливина, структура полнокристаллическая мелко- и среднезернистая, массивная или полосчатая текстура. Дуниты содержат (до 3%) магнетит и хромит, иногда платину. Дунит, содержащий пироксены (авгит), называется *перидотитом*. Перидотиты нередко содержат хромит, магнетит, ильменит.

*Пироксениты* – темно-серые, почти черные, часто мелкозернистые тяжелые породы, состоящие главным образом из пироксена. Для минералов ультраосновных пород, особенно для оливина, характерна серпентинизация («зеленокаменное перерождение») – замещение (частично или полностью) оливина и других минералов серпентином и хлоритом в процессе диагенеза или метаморфизма.

К вулканическим и субвулканическим породам ультраосновного состава, относятся пикриты, меймечиты и коматииты.

*Пикриты* состоят из оливина и пироксена, выделяющихся в виде порфирированных вкрапленников. Промежутки между кристаллами оливина и пироксена заполнены измененным вулканическим стеклом, превращенным в серпентинизированную и хлоритизированную массу.

*Меймечиты* – это богатые оливином эффузивные или субвулканические пикриты с порфирированной структурой и миндалекаменной текстурой.

*Коматииты* – это ультраосновные вулканические породы архейского возраста. Для них характерна закалочная структура «спинифекс», обусловленная развитием скелетных кристаллов оливина и пироксена в плотной афанитовой, обычно серпентинизированной основной массе.

### Щелочные породы

В природе эти породы распространены незначительно, на них приходится всего около 1 % магматических пород. Эффузивные щелочные породы очень редки, жильные – тоже редки и имеют специфический состав. Более распространены интрузивные аналоги щелочных пород.

Главные представители щелочных пород – *нефелиновые сиениты*, светло-серого, розового, зеленоватого до черного цвета. Нефелиновые



сиениты – бескварцевые породы, состоящие в основном из калиевого полевого шпата, кислого плагиоклаза, нефелина и одного или нескольких цветных минералов (обычно роговой обманки, реже биотита или авгита). Окраска сиенитов светлая, розоватая. Структура полнокристаллическая среднезернистая, текстура массивная, однородная. Залегают в форме батолитов, штоков.

*Трахиты* – излившиеся аналоги сиенитов. Окраска светло-желтая, желтовато-серая. Структура порфировая с вкрапленниками калиевого полевого шпата и темноцветных минералов (роговой обманки, пироксена).

*Фонолиты* – экструзивные аналоги сиенитов. Структура порфировая, во вкрапленниках нефелин, амфибол, основная масса имеет специфическую эвтакситовую структуру, текстура флюидальная. Эвтакситовая структура характеризуется тем, что в результате роста фенокристы (порфиновые вкрапленники) «сталкиваются» микролиты и обуславливают их параллельное расположение по отношению к своим граням.

К ультраосновным щелочным породам относятся *кимберлиты* – породы, имеющие порфировую структуру и брекчиевидную текстуру. Материал, слагающий кимберлитовые тела, представляет собой обычно брекчии от мелкообломочных до крупнообломочных разностей преимущественно серой и зеленой окраски. Среди разнородных включений в составе кимберлитов обязательно присутствуют ультраосновные породы (перидотиты, пироксениты), свидетельствующие о глубинном происхождении материала кимберлитов.

## 2.4. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы образуются в условиях земной поверхности в результате накопления и цементации обломочного материала, выпадения различных веществ из растворов или под воздействием жизнедеятельности организмов.

В составе осадочных горных пород различают: 1) обломки ранее существовавших горных пород или слагавших их минералов (наиболее распространенными являются кварц, полевые шпаты, слюды, пироксены, амфиболы); 2) цементы, связующие между собой отдельные обломки пород и минералов. Чаще встречаются цементы, состоящие из углекислого кальция и магния (известковый и доломитовый цементы), аморфных разностей кремнезема (кремнистый цемент), водных оксидов железа (железистый цемент) или глинистых частиц (глинистый цемент). Часто цемент имеет комбинированный состав (известково-глинистый, железисто-кремнистый и др.); 3) минералы, образующиеся в процессе химического разложения (например, полевых шпатов, слюд) – каолинит, гидрослюды, глауконит, нонтронит и др.; 4) минералы, кристаллизующиеся при выпадении из водных растворов различных солей или оксидов кремнезема,

– гипс, каменная и калийная соли, халцедон, опал и др.; 5) остатки организмов и растений; 6) конкреции, представляющие собой стяжения вещества, отличающиеся обычно по составу от окружающей среды. Например, конкреции пирита в глинах, фосфорита в различных осадочных породах и т.д.

Главными признаками, определяющими осадочные горные породы, являются состав осадка, степень диагенеза, цвет, текстура, структура, пористость, плотность и форма залегания.

**Состав осадка** зависит от способа его образования: это могут быть обломки горных пород и минералов, органогенное вещество или продукты химических реакций. В соответствии с этим породу следует относить к обломочной, органогенной или хемогенной.

**Степень диагенеза** (лат. *diagenesis* – перерождение) – признак, который показывает, какие изменения произошли в осадке после его образования в процессе превращения в горную породу. Иногда видимых признаков диагенеза нет: например, встречаются пески, которые, образовавшись миллионы лет назад, так и остались песками. В таких случаях осадок следует считать горной породой, если он перекрыт более молодыми отложениями. Оставаясь на поверхности, он сохраняет название осадка, даже если окружающие условия изменились, например морские условия сменились континентальными. Диагенез связан с обезвоживанием (дегидратацией) осадка, перекристаллизацией, старением коллоидов и др. Образование цемента в обломочных породах – один из мощных факторов диагенеза.

**Цвет** породы не относится к главным диагностическим признакам, но часто может способствовать ее определению. Окраска осадочных пород включает все известные цвета и оттенки. Ее появление зависит от многих причин, главными из которых являются окраска обломков и минералов, слагающих породу, а также цвет цемента. Так, белыми или светлоокрашенными бывают породы, содержащие карбонаты, сульфаты, галоиды, кремнистое вещество или кварц, железистый цемент придает породе различные оттенки коричневого цвета, зеленый цвет связан с окраской зерен глауконита, хлоритов, эпидота и т. п.

**Текстура** осадочных пород разнообразна. Наиболее часто встречаются *слоистые* текстуры, когда в породе четко различаются слои, *полосчатые*, когда слои различаются и по цвету, *массивные*, когда нельзя установить закономерности в положении составных частей (иногда такую текстуру называют беспорядочной), *пятнистые*, когда отдельные составные части породы образуют обособления в виде пятен.

Слоистая текстура свойственна большинству осадочных пород. При этом слои могут быть гигантскими и микроскопическими, параллельными и перекрестными, горизонтальными и косыми, волнистыми и т. д. На

границах слоев нередко можно заметить следы ряби, течений, отпечатки следов донных животных, дождя, града и др. Для диагностики осадочных горных пород слоистость малопригодна, так как тип слоистости практически не связан с составом породы, а в одной и той же породе можно наблюдать самые различные ее типы. Несмотря на это, во всех случаях, когда это возможно, слоистость следует подробно описывать, поскольку она, как правило, дает возможность правильно определить генезис осадка.

**Структура** осадочных пород во многом зависит от их принадлежности к той или иной генетической группе. Обломочные породы имеют соответственно *обломочные*, или *кластические* структуры. Различают следующие кластические структуры: псефитовые (обломки более 2 мм диаметром), псаммитовые (от 2 до 0,1 мм), алевритовые (от 0,1 до 0,01 мм) и пелитовые (частицы менее 0,01 мм). Структуры глинистых пород – *пелитовые* (греч. *peles* – глина), хемогенных – часто *кристаллические* или *аморфные*, органогенных – либо *биоморфные*, если порода состоит из целых раковин или других остатков скелетов, либо *детритусовые* (лат. *detritus* – перетертый), когда остатки организмов оказываются перетертыми или дробленными.

**Пористость** – характерный признак для многих осадочных пород. Она оценивается по размеру пор, их количеству и способу образования (пористость межзерновая, кавернозная и др.).

**Плотность** также является важным диагностическим признаком, будучи связанной с большинством рассмотренных свойств осадочных пород. Определение плотности, даже сделанное приближенно, может облегчить диагностику, например, похожие гипс и ангидрит легко различаются по этому признаку, плотность этих минералов соответственно 2400 и 2900 кг/м<sup>3</sup>.

Основные **формы залегания** осадочных пород – слой (пласт), линза и прослой. *Слой (пласт)* – плитообразное тело, ограниченное параллельными плоскостями. *Линза* – небольшой пласт, выклинивающийся по краям. *Прослой* – тонкий слой, залегающий в толще мощных пластов (рис. 2.3).

В основу классификации осадочных пород положено, с одной стороны, их происхождение, а с другой, химический и минеральный состав (табл. 5). Так, по способу накопления осадков различают породы обломочные, химические и органогенные. В особую группу выделены глинистые породы. Существенным отличием глинистых пород от обломочных является не только чрезвычайная измельченность частиц, но и условия их образования: частицы глинистых пород являются не механическими обломками, а продуктами разложения других минералов.

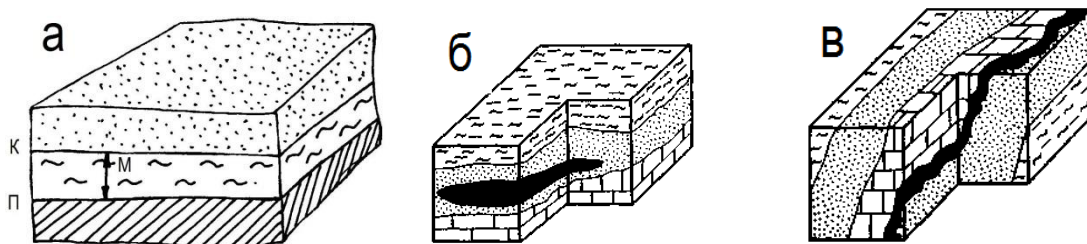


Рис. 2.3. Формы залегания осадочных пород: а – слой (К – кровля, П – подошва, М – мощность), б – линза, в – прослой

### Обломочные породы

Среди грубообломочных пород (псефитов) различают нецементированные (или рыхлые) и цементированные породы. *Глыбы, щебень, и дресва* – скопления угловатых неокатанных обломков размером от 100 (глыбы) до 2 мм (дресва). Их образование связано с механическим разрушением горных пород. *Валуны, галечники и гравий* – округлые обломки горных пород тех же размеров. Они образуются при окатывании обломков водами рек, морей, озер, ледников, т. е. имеют речное, морское, озерное или ледниковое происхождение. Могут использоваться в строительстве как бутовый камень и для приготовления бетона.

Цементированные грубообломочные породы представлены *брекчиями, конгломератами и гравелитами*. Брекчии – крупнообломочные осадочные породы, состоящие из неокатанных обломков (глыб, щебня, дресвы) различных пород, скрепленных цементом. Особого внимания заслуживают рудные брекчии, в цементе которых нередко присутствуют промышленные скопления руд меди, свинца, цинка и других металлов.

Таблица 5

### **Классификация осадочных горных пород**

Группы пород		Осадки и рыхлые породы		Цементированные породы	
		окатанные обломки	угловатые обломки	окатанные обломки	неокатанные обломки
Обломочные	Грубо обломочные (псефиты)	Валуны, галечник, гравий	Глыбы, щебень, дресва	Конгломераты, гравелиты	Брекчии
	Песчаные (псаммиты)	Пески		Песчаники	
	Пылеватые (алевриты)	Алевриты, лесс		Алевролиты	
Глинистые (пелиты)		Глины		Аргиллиты, глинистые сланцы, углисто-глинистые сланцы	

Группы пород		Осадки и рыхлые породы		Цементированные породы	
		окатанные обломки	угловатые обломки	окатанные обломки	неокатанные обломки
Химические и органические		Известковые глины		Мергели, известково-глинистые сланцы	
	Железистые и марганцевые	Глауконитовые пески, рыхлые осадки гидроксидов железа и марганца		Глауконитовые песчаники, бурые железняки, марганцевые руды	
	Глиноземистые			Бокситы	
	Фосфатные			Фосфориты	
	Кремнистые			Трепелы, опоки	
	Карбонатные			Известняки, мел, доломит	
	Галоидные			Каменная соль	
	Сернокислые			Гипс, ангидрит	
	Каустобиолиты	Сапропель, гумусовые отложения		Сапропелиты, горючие сланцы, ископаемые угли	

Брекчии образуются при обвалах, оползнях, в зонах разрывных тектонических нарушений, а также при вулканических извержениях. Конгломераты и гравелиты – осадочные горные породы, состоящие из цементированного галечника и гравия. Имеют речное, морское, озерное, ледниковое происхождение.

Песчаные породы, или псаммиты, делятся на нецементированные (рыхлые) – пески и цементированные – песчаники. Они состоят из обломков зерен и подразделяются на грубозернистые (2–1 мм), крупнозернистые (1,0–0,5 мм), среднезернистые (0,5–0,25 мм) и мелкозернистые (0,25–0,1 мм).

Структура в зависимости от крупности и подбора зерен бывает *равномернозернистой*, *разнозернистой*. Текстура преимущественно *слоистая*.

*Пески и песчаники* подразделяются по минеральному составу на мономинеральные, состоящие из одного минерала (чаще всего кварцевые, глауконитовые и др.), олигомиктовые, образованные двумя минералами (кварц и полевой шпат, кварц и глауконит) и полимиктовые, состоящие из нескольких минералов. Среди полимиктовых песков и песчаников различают: аркозовые, сложенные в основном полевыми шпатами, кварцем, слюдой; граувакковые, состоящие из темноцветных минералов и пород; туфогенные, обогащенные обломочными продуктами извержения вулканов. В песках встречаются месторождения золота, платины, алмазов и других полезных ископаемых. Пески широко используются для производства стекла, силикатного кирпича, в качестве строительного материала.

Песчаники могут иметь карбонатный, кремнистый, глинистый и другой цемент. Происхождение песчаников может быть морским и континентальным. Среди последних различают речные, озерные, ледниковые, эоловые (ветровые) и т.д. Песчаники используются в строительстве как бутовый камень и для изготовления щебенки.

Тонкозернистые пылеватые породы алевроитовой размерности так же встречаются в виде несцементированных (рыхлых) разностей – алевроитов и сцементированных – алевролитов.

По минеральному составу *алевроитовые* породы разделяются на мономинеральные, олигомиктовые и полиминеральные. Аркозы и граувакки встречаются редко. По внешнему виду алевроитовые породы напоминают песчаные, хотя их зернистость заметна только в лупу. Происхождение алевроитов морское, озерное, эоловое. К алевроитам относится лесс, представляющий собой неслоистую тонкообломочную породу. Цвет лесса светло-желтый, палевый, в его состав входят кварц, глинистые минералы, карбонаты.

*Алевролиты* – плотные тонкослоистые породы серой, темно-серой, буроватой, зеленовато-серой, пестрой окраски. При ударе раскалываются на плитки. В отличие от алевроитов алевролиты не размокают в воде. Залегают алевролиты в виде прослоев и пластов. Применяются в строительстве.

Породы пелитовой размерности в несцементированном (рыхлом) виде относятся к глинам, а в сцементированном – к аргиллитам. Глинистые породы широко распространены в природе, составляя более 50 % всех осадочных пород. По происхождению различают *глины континентального и морского генезиса*. Среди континентальных глин выделяют первичные и вторичные образования. Первичные, или остаточные, глины образуются при химическом разрушении горных пород. Для этих глин характерно отсутствие ясной слоистости и наличие неразложившихся, более устойчивых к разрушению минералов (кварца и др.). Вторичные, или переотложенные, глины образуются в результате осаждения из воды тонковзмученного глинистого материала, который был вынесен текучими водами с места разложения материнских пород. Для этих глин характерна тонкая слоистость и меньшая однородность глинистого состава. Те и другие глины, как правило, содержат некоторое количество (до 50%) обломочного материала – алевроита, песка любого состава. Минеральный состав глин смешанный, чистых мономинеральных глин обычно мало. В мелкодисперсной фракции глин (< 0,001 мм) присутствуют каолинит, монтмориллонит, гидрослюды и др., в более грубой фракции (> 0,001 мм) – кварц, полевые шпаты, реже слюды. Во влажном состоянии глины пластичны. При обжиге теряют пластичность и спекаются в каменистую массу. Залегают в виде пластов, линз, прослоек. Применяются для

производства фарфора, фаянса, керамических изделий, используются для производства огнеупорного кирпича (температура плавления до 1780 °С).

*Аргиллиты* – сцементированные и уплотненные глинистые породы слоистой и неслоистой текстуры, серой, темно-серой, зеленовато-серой, бурой, пестрой окраски. В воде не размокают. По минеральному составу они часто соответствуют гидрослюдистым и полиминеральным глинам. Кроме глинистых частиц, в аргиллитах всегда присутствуют кварц, слюда, полевые шпаты, карбонаты и т. д. Многие аргиллиты содержат значительное количество органического вещества.

Химические, или хемогенные, породы образуются при выпадении солей из насыщенных водных растворов или в результате химических реакций, происходящих в земной коре и на ее поверхности.

Органогенные, или биогенные, породы образуются целиком или частично из остатков животных и растительных организмов. Часто хемогенный и биогенный процессы протекают в природе одновременно, и тогда образуются биохимические породы (многие железистые породы, некоторые фосфориты).

К химическим и органогенным породам относятся кремнистые, карбонатные, железистые и марганцевые породы, бокситы, фосфориты, галоидные и сернокислые соединения, а также каустобиолиты.

*Кремнистые породы* почти целиком сложены кремнеземом химического или биохимического происхождения и скелетами кремниевых организмов. К кремнистым породам относятся радиоляриты, диатомиты, трепелы, опоки, яшмы, кремни, гейзериты, или кремнистые туфы.

*Яшма* состоит из халцедона, кварца, реже опала. В качестве примесей в ней встречаются соединения железа, хлорит и органическое вещество. Примеси окрашивают яшмы в бурый, красный, зеленый и темно-серый цвета. Текстура яшм разнообразна. Наиболее распространены полосчатые, пятнистые и узорчатые текстуры. Яшма применяется как декоративный и облицовочный камень.

*Карбонатные породы* – известняки, доломиты, мергели – широко распространены среди осадочных пород. Известняки состоят главным образом из зерен кальцита или кальцитизированных скелетных остатков организмов. Они могут содержать примесь алевритового или глинистого материала, гидроксидов железа. Окраска известняков меняется от светлых тонов до темных. Все известняки бурно реагируют (вскипают) с разбавленной соляной кислотой. По происхождению различают известняки хемогенные, органогенные (биогенные), обломочные. Они залегают в виде пластов или линз. Применяются в качестве флюсов в металлургии, для получения извести, цемента.

К хемогенным карбонатным породам относят *известковый туф* (травертин), образующийся на месте выхода горячих и холодных минеральных источников. Макроскопически травертин светло-бурый, иногда белый или серый, пористый (ячеистый), образует натечные формы и часто содержит раковины наземных организмов.

К органогенным карбонатным породам относят *песчий мел*. Это порода белого цвета, состоящая на 70–80 % из остатков одноклеточных известковых водорослей и их фрагментов, а также мелких раковин. Мел применяется для изготовления извести, цемента, как побелочный материал.

*Доломиты* по внешнему виду похожи на известняки. Это желтовато-белые, иногда с буроватым оттенком, плотные, скрытокристаллические породы. Доломиты образуются как за счет замещения в известняке кальция магнием, так и путем химического выпадения из раствора при большом содержании в воде магния. В отличие от известняка порошок доломита слабо вскипает при действии на него 10 %-ного раствора соляной кислоты. Применяются в металлургии, при производстве цемента.

*Мергели* – известково-глинистые породы. В зависимости от преобладания глинистых минералов или карбоната кальция намечается ряд: глинистые известняки – мергели – известковистые глины. Цвет мергелей серый, встречается пестрая окраска. Они вскипают при действии соляной кислоты, оставляя после реакции темное пятно. Образуются в морских и озерных условиях. Применяется для изготовления цемента.

*Железистые осадочные породы* образуются при разложении магматических и метаморфических пород, богатых железосодержащими минералами. В результате химического разложения минералов железо переходит в гидроксидные соединения и выносится водами в виде механической взвеси и коллоидов. Иногда перенос осуществляется в сульфатной или бикарбонатной форме. Осаждение железа происходит в прибрежно-морских и озерно-болотных условиях (бобовые руды) путем хемогенного осаждения, а иногда с участием бактерий. Железистые породы образуются также на суше в зоне окисления сульфидных месторождений, причем возникают так называемые «железные шляпы».

Образование *марганцевых осадочных пород* происходит в результате разрушения кристаллических пород и выноса марганца водами в основном в виде гидроксидов, часто вместе с железом. Осаждение марганца происходит в мелководных морских, прибрежно-морских и озерно-болотных условиях и хемогенным путем при активном участии бактерий.

*Глиноземистые породы*, или бокситы, являются рудой на алюминий (при содержании глинозема не менее 28 %). Породообразующими минералами бокситов являются гиббсит, бемит, диаспор, гидрогетит, лимонит, каолинит. Бокситы – тонкодисперсные мягкие или плотные



породы белого, серого, желтого цвета, чаще – красного и темно-красного оттенка (в зависимости от содержания железа). Структура оолитовая (бобовая). Текстура массивная, реже слоистая. Иногда встречаются бокситы, похожие на глинистые породы.

*Фосфатные породы*, сложенные аморфными или микрокристаллическими фосфатами кальция с примесью глинистого или песчаного материала, называются фосфоритами. Обычно к фосфатным относятся породы, содержащие не менее 10 %  $P_2O_5$ . Фосфориты по цвету обычно черные и серые породы, с массивной, желваковой, зернистой или конгломератовой структурой. Текстура слоистая, натечная. Фосфориты часто образуют пласты, внешне похожие на известняки, песчаники, или образуют скопления зерен, желваков, конкреций. Применяются для производства сельскохозяйственных удобрений.

*Галоидные и сернокислотные соединения* – типичные хемогенные осадочные породы, состоящие из минералов класса сульфатов и хлоридов. Среди них различают сульфатные, сложенные гипсом и ангидритом, и хлоридные: каменная соль (в основном галит), карналлитовая порода (карналлит 50–80 %, галит 20–50 %), сильвиновая порода (галит 25–60 %, сильвин 15–40 %) и др. В виде примеси в них присутствуют глинистые, алевроитовые и песчаные частицы. Структура пород в основном кристаллическая, натечная, текстура массивная, слоистая и др. Соли залегают в виде крупных пластовых залежей, прослоев, линз, иногда слагают ядра соляных куполов. Мощность крупных соляных залежей может достигать 500 м, распространение по площади – десятки и сотни квадратных километров. Образование солей происходит в прибрежно-морских, лагунных, озерных (бессточных) водоемах в условиях жаркого климата, когда испарение в несколько раз превышает количество выпадающих осадков.

*Каустобиолиты* – горючие ископаемые, горные породы органического происхождения. К каустобиолитам относятся торф, ископаемые угли, горючие сланцы, нефть и нефтяные битумы.

*Торф* представляет собой бурую, темно-бурую полуразложившуюся массу, состоящую из растительных остатков и углеводородных соединений.

*Ископаемые угли* представляют собой органическую горную породу и относятся к твердым горючим ископаемым. Исходным материалом для них послужили высшие и низшие (в основном водоросли) растения, а также простейшие организмы, богатые жирами. В зависимости от исходного материала различают угли гумусовые, или гумиты, образовавшиеся из остатков растительных тканей высших растений, и сапропелевые, или сапропелиты, образовавшиеся из остатков водорослей и простейших организмов. В формировании углей различают две стадии: 1)

оторфования, или гумификации, и 2) углефикации. В первую стадию образуются торф и сапропель, а во вторую из торфа и сапропеля – ископаемые угли. При этом торф и сапропель сначала превращаются в бурый, а затем в каменный уголь и – при благоприятных условиях – в антрацит. Бурый уголь представляет собой горючую ископаемую породу, имеющую черную, коричневую или темно-бурую окраску, матовый блеск и бурую черту. Содержание углерода составляет в среднем 65–75 %. Каменный уголь внешне отличается от бурого большей твердостью, более плотным сложением, постоянным черным цветом и черной чертой. Содержание углерода составляет 75–90 %. Антрацит – однородный плотный и блестящий уголь черного цвета, обычно с раковистым изломом. Содержание углерода 90–97.5 %.

*Горючие сланцы* – это глинистые, известковистые, песчанистые породы, содержащие органическое вещество. В зависимости от его происхождения выделяют следующие природные типы горючих сланцев: битуминозные (пропитанные нефтяными битумами), гумусовые (за счет разложения растений), сапропелевые (за счет разложения низших растений и простейших организмов).

*Нефть* – природная горючая маслянистая жидкость, состоящая из смеси углеводородов, кислородных, азотистых и сернистых соединений. Основную часть нефти составляют углеводороды (около 96–98 %). По окраске нефть желтовато-темнокоричневая, реже бесцветная или черная.

*Асфальт* является продуктом окисления нефти, состоит из 80 % углерода, 10 % водорода, 10 % кислорода. Окраска буро-черная, блеск смолистый. Асфальт мягкий; легко плавится и горит; имеет своеобразный запах. Озокерит (горный воск) образуется за счет естественной перегонки нефти. Состоит из углерода (84 %) и водорода (16 %). Окраска зеленовато-коричневая, черно-бурая. Блеск жирный; мягкий; жирный на ощупь. Легко плавится и горит.

## 2.5. Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы образуются в результате минерального и структурно-текстурного преобразования ранее существовавших осадочных и магматических пород под воздействием внутриземного тепла и химически активных веществ. Их делят на *первично осадочные* и *первично магматические*.

Метаморфические изменения включают перекристаллизацию, сегрегацию, метаморфическую дифференциацию, которые ведут к образованию новых минералов в результате перераспределения атомов (ионов), протекающие без существенного изменения химического состава породы.

Степень изменения первичных горных пород может быть различной, в связи с чем можно говорить о рядах метаморфических горных пород,

начиная от исходных и кончая глубокометаморфизованными породами, например: аргиллит → глинистый сланец → филлит → слюдяной сланец → гнейс.

Метаморфические породы от магматических и осадочных отличаются по их минеральному составу, а также структурным и текстурным особенностям (табл. 6).

Метаморфические породы состоят лишь из минералов, устойчивых в условиях высоких температур и давления. К ним относится большинство минералов магматических пород – кварц, альбит и другие плагиоклазы, калиевый полевой шпат (микроклин), слюды – мусковит и биотит, амфиболы (роговая обманка), эпидот, пироксен (авгит), магнетит, гематит, а также характерный минерал осадочных пород – кальцит. Кроме того, в метаморфических породах распространены минералы, типичные только для них – серицит, хлорит, актинолит, тальк, серпентин, гранат, графит и др.

Метаморфические породы характеризуются следующими **структурами**: *кристаллической (кристаллобластической)*, возникшей в результате перекристаллизации (бластеза). При этом особенно характерны *листоватая, чешуйчатая, игольчатая и таблитчатая* формы зерен, реже породы бывают *зернисто-кристаллические*. Имеются также слабометаморфизованные скрытокристаллические и переходные разновидности, содержащие участки первичных пород некристаллического строения. Остаточные структуры первичных пород называются *реликтовыми*.

Таблица 6

**Свойства важнейших метаморфических пород**

Минеральный состав	Текстура	Внешний вид, структурные особенности	Название
Серицит, хлорит, кварц	Сланцеватая, иногда плейчатая	Зеленая, светло- или темно-серая микрочешуйчатая порода, кварц заметен плохо, слабый шелковистый блеск	Филлит
Биотит, мусковит, кварц, иногда гранат, графит и др.	– \ \ –	Средне или крупночешуйчатая порода с очень большим количеством слюды, кварц заметен плохо	Слюдяной сланец
Кварц и слюда (биотит, мусковит)	– \ \ –	Светлоокрашенная крепкая порода с шелковистым блеском на плоскостях сланцеватости, нередко плитчатая	Слюдяно-кварцевый сланец

Минеральный состав	Текстура	Внешний вид, структурные особенности	Название
Хлорит, кварц, примесь слюды и др	– \ –	Чешуйчатая или листовая порода зеленого цвета, кварц заметен плохо	Хлоритовый сланец
Хлорит, актинолит, альбит, эпидот	– \ –	Мелкозернистая зеленая довольно массивная порода с шелковистым блеском	Зеленый сланец
Тальк	– \ –	Чешуйчатая масса талька	Тальковый сланец
Серпентин, магнетит	Массивная или сланцеватая	Тонкочешуйчатая серозеленая порода с пятнами темно-зеленого, белого, черного цвета и гладкими зеркально-эмалевыми поверхностями	Змеевик (серпентинит)
Роговая обманка, плагиоклаз	– \ –	Зернисто-кристаллическая темно-зеленая или черная порода, иногда тонкополосчатая, нередко заметен белый плагиоклаз	Амфиболит
Кварц, микроклин, биотит, иногда роговая обманка, пироксен, гранат	Массивная, гнейсовая	Зернисто кристаллическая серая или желтоватая порода, иногда с полосчатой, очковой или сланцевой текстурой	Микроклиновый гнейс
Плагиоклаз, кварц, роговая обманка, биотит, пироксен	– \ –	То же, что и у микроклинового гнейса, но цвет чаще серый, более темный	Плагиоклазовый гнейс
Кварц	Массивная	Мелкозернистая, иногда сливная (отдельные зерна нельзя различить), белая, желтая, красноватая порода, блестящая на изломе, иногда сланцеватая, плитчатая	Кварцит
Кальцит, реже доломит, иногда примесь графита и др.	– \ –	Зернисто-кристаллическая белая, светло-серая, реже красноватая или желто-бурая порода, изредка со сланцеватой или неясно волнисто-полосчатой текстурой	Мрамор

Минеральный состав	Текстура	Внешний вид, структурные особенности	Название
Кварц, биотит, магнетит, иногда полевой шпат, гранат	Массивная беспорядочная	Мелкозернистая крепкая серая, буровато-серая, иногда розовато-серая порода	Биотитовый роговик
Плагиоклаз, амфибол, пироксен	Массивная беспорядочная	Мелкозернистая, очень крепкая темно-серая, темно-зеленая или черная порода	Амфиболовый роговик
Гранат, пироксен, плагиоклаз, эпидот, карбонат, рудные минералы, актинолит	– \ \ –	Внешний вид очень разнообразен, структура от мелко- до крупнокристаллической, часто неравномерно зернистая	Скарн
Кварц, светлая слюда, иногда турмалин	– \ \ –	Крупнокристаллическая белая или светло-серая порода	Грейзен

По величине зерен различают крупнокристаллическую структуру (диаметр частиц  $>1$  мм), средне- (0,25–1 мм) и мелкокристаллическую ( $<0,25$  мм).

**Текстурные особенности** относятся к важнейшим отличительным признакам метаморфических пород. По взаимному расположению и типам зерен выделяются следующие текстуры: *сланцеватая* – с параллельным расположением чешуйчатых или таблитчатых минералов; *гнейсовая* – с параллельным расположением таблитчатых минералов при малом содержании чешуйчатых частиц; *пятнистая* – при наличии в породе участков, пятен, отличающихся составом и окраской; *полосчатая* – с чередованием полос различной толщины и различного минерального состава; *волокнистая* – с вытянутыми примерно в одном направлении волокнистыми и игольчатыми минералами; *очковая* – с рассеянными в породе более крупными овальными зернами или агрегатами, обычно выделяющимися по цвету; *плойчатая* – в случае присутствия в породе очень мелких складок; *беспорядочная* – с неориентированным расположением зерен обычно неправильной формы; *массивная* – в случае прочного сложения породы при плотном, связанном соединении минеральных зерен.

**Формы залегания** метаморфических пород обычно соответствуют формам залегания исходных осадочных и магматических пород.

По преобладанию тех или иных факторов в ходе преобразования выделяется несколько различных типов метаморфизма:

**1. Региональный метаморфизм** вызывается высоким неравномерным давлением и высокой температурой и охватывает большие пространства.

Этот процесс сопровождается перекристаллизацией и развитием новых минералов в условиях расплющивания и пластического течения горных пород, что приводит к появлению наиболее характерной для метаморфических образований ориентированности (параллельному расположению) минеральных частиц. Таково происхождение большинства метаморфических пород.

Породы регионального метаморфизма. В зависимости от состава и структуры исходных пород при региональном метаморфизме возникают определенные виды метаморфических пород, которые по мере увеличения температуры и давления претерпевают закономерные изменения состава, структуры и текстуры. При этом формируются характерные ряды пород, представляющих собой последовательные этапы преобразования исходной породы.

Особенно значительные изменения испытывают глинистые породы. Еще в процессе диагенеза глины уплотняются, обезвоживаются и превращаются в *аргиллиты*, отличающиеся от глин тем, что они не размокают в воде. На начальной стадии метаморфизма в условиях низких температур под воздействием тектонического давления аргиллиты претерпевают рассланцевание (динамометаморфизм) и превращаются в *аргиллитовые сланцы*. Изменения выражаются в появлении тонкосланцеватой текстуры. В глинистом материале возникают скопления мельчайших зерен кварца, микроскопические чешуйки слюды (серицита) и хлорита, кристаллы пирита, углистые частицы. Сланцы обычно сохраняют окраску исходных глин. Они легко раскалываются по сланцеватости на ровные плитки с матовой поверхностью. При возрастании количества кристаллических частиц порода твердеет, превращаясь в *кровельные*, или *аспидные сланцы*.

Дальнейшее усиление метаморфизма, связанное с повышением температуры, приводит к полной перекристаллизации глинистого вещества с образованием *филлитов*. Это микрозернистые полнокристаллические породы с тонкосланцеватой, иногда плейчатой текстурой. Внешне они сходны с аргиллитовыми сланцами, но имеют шелковистый блеск. Филлиты состоят из тонкочешуйчатой массы серицита, хлорита и кварца. Окраска их связана обычно с цветом господствующего минерала, однако нередко бывает унаследованной (черные филлиты с углистым материалом). Иногда она обусловлена примесями (красноватые и фиолетовые филлиты с тонкораспыленным гематитом).

При повышении температуры и дальнейшем увеличении давления филлиты переходят в *кристаллические сланцы*. В зависимости от состава исходных глин и температурного режима это могут быть слюдяные, хлоритовые или хлорит-сланцевые сланцы. Они отличаются сильным шелковистым блеском и наличием хорошо различимых чешуек минералов. Структура в основном средне-, реже крупнокристаллическая. Породы обладают хорошо развитой сланцеватой или плейчатой текстурой, состоят из кварца и слюды (мусковит, биотит) или хлорита; встречаются двуслюдяные разновидности. Кристаллические сланцы часто содержат также гранаты, графит, образующийся из углистого вещества, и другие минералы (дистен, амфибол, ставролит, силлиманит). Цвет этих пород обусловлен окраской господствующих минералов, реже связан с минеральными примесями (красный – гематит, черный – графит).

На самой высшей стадии метаморфизма глинистые породы превращаются в *гнейсы*. Эти образования обладают массивной гнейсовой (полосчатой), реже сланцеватой или очковой текстурой. Структура их зернисто-кристаллическая, средне- или крупнозернистая. Вместо хлорита и слюды, которая сохраняется в небольшом количестве, в гнейсах преобладают полевые шпаты – микроклин и плагиоклаз, широко развит кварц, присутствуют биотит и мусковит, иногда амфиболы, пироксены, гранаты. По минеральному составу гнейсы близки к гранитам, от которых отличаются ориентированной гнейсовой текстурой.

Существенно иные породы формируются при метаморфизме песчаников. Кварцевые песчаники с кремнистым цементом при метаморфизме превращаются в *кварциты*. Они состоят целиком из неправильных зерен кварца, которые иногда почти неразличимы (сливные кварциты). Это крепкие массивные породы, нередко с раковистым изломом; редко в них наблюдается сланцеватая текстура. Кварциты, обогащенные гематитом и магнетитом, называются железистыми кварцитами. Тонкополосчатые яшмовидные разновидности железистых кварцитов называются джеспилитами. Кварцевые песчаники с глинистым цементом преобразуются в *сланцево-кварцевые сланцы* с тонкими прослойками слюды по сланцеватости. Аркозовые песчаники, богатые зернами полевого шпата, переходят сначала в *кварцевидные песчаники*, а при высокой степени метаморфизма – в гнейсы, отличающиеся более равномерной зернистостью и повышенным содержанием кварца. Гнейсы и сланцы, образующиеся при метаморфизме осадочных пород (глин и песчаников), называются *парагнейсами и парасланцами*.

Известняки или доломиты при перекристаллизации переходят в *мраморы*. Последние состоят из кальцита, имеют зернисто-кристаллическую структуру и обычно массивную, иногда неясную полосчатую текстуру, реже наблюдается сланцеватость. Характерна белая

или светло-серая окраска. Примеси (графит, тальк, слюда, амфиболы и др.) придают ему серый, голубоватый, розоватый оттенки.

Кремнистые породы – опоки, яшмы – преобразуются в *мелкозернистые кварциты*, отличающиеся весьма равномерной слаборазличимой зернистостью.

В результате метаморфизма кислых и средних магматических пород – гранитов, диоритов и других – формируются гнейсы и слюдяные сланцы. В отличие от аналогичных пород, возникающих при метаморфизме осадочных образований, они носят название *ортогнейсов и ортосланцев*.

Продуктами изменения габбро и базальтов на низшей стадии метаморфизма являются *зеленые сланцы*, сложенные хлоритом, эпидотом, актинолитом и альбитом. Далее они переходят в *амфиболиты* – зернисто-кристаллические крепкие породы сланцеватой или тонко-полосчатой текстуры темно-серого (до черного) цвета, состоящие из роговой обманки и плагиоклаза. На высшей ступени метаморфизма амфиболиты переходят в *гранатовые амфиболиты и эклогиты*. Главные минералы последних – гранат и пироксен. Эклогиты образуются при очень высоких давлениях, поэтому они характерны для глубоких зон метаморфизма.

Ультраосновные породы (дуниты, перидотиты) превращаются в *змеевики* (серпентиниты) и *тальковые сланцы*. Змеевики состоят из серпентина и присутствующих в виде примеси магнетита и хлорита, слагающих микрочешуйчатую темно-зеленую массу с пестрыми пятнами. Тальковые сланцы сложены чешуйчатой массой талька.

К этой группе примыкают *мигматиты* – смешанного типа породы, образующиеся при проникновении, пронизывании гранитной магмой метаморфических горных пород или за счет частичного их расплавления (ультраметаморфизм). В зависимости от формы гранитоидных образований выделяются морфологические разновидности мигматитов – полосчатые, линзовидные, «очковые», ветвистые и др.

**2. Контактный метаморфизм** обусловлен действием высокой температуры, паров и растворов, связанных с внедрением магматического расплава. Он проявляется в узких зонах вдоль границ магматических тел и имеет местное значение в преобразовании вмещающих пород, изменении их структуры, текстуры и состава.

Породы контактового метаморфизма. При контактовом метаморфизме образуются роговики, скарны и грейзены.

Как сказано выше, контактный метаморфизм выражается преимущественно в интенсивной перекристаллизации пород, протекающей без заметного участия давления. Поэтому для возникающих в ходе этого процесса пород, носящих название *роговиков*, типично отсутствие сланцеватых и вообще ориентированных текстур. Роговики – очень крепкие мелкозернистые породы массивной текстуры с раковистым



изломом. Песчано-глинистые породы переходят в *биотитовые роговики*, состоящие из кварца и биотита, а также полевого шпата, магнетита, граната и др. Основные и средние породы на контакте с гранитными интрузиями преобразуются в *амфиболовые роговики*, сложенные амфиболом и плагиоклазом. Карбонатные породы превращаются в *известково-силикатные роговики*. Они содержат гранат, пироксен, плагиоклаз, а также волластонит, скаполит и др. Карбонатные породы могут переходить и в *мраморы*, если метаморфизм протекает без привноса вещества. Цвет роговиков определяется окраской господствующих минералов. Обычно они серые, черные или темно-зеленые.

*Скарнами* называются контактово-метаморфические породы, состоящие из граната (гроссуляр–андрадит), пироксенов и некоторых других известково-железистых силикатов, возникшие за счет преобразования карбонатных и реже силикатных пород. Внешний вид их очень разнообразен, структура от мелко- до крупнокристаллической, часто неравномернозернистая, текстуры пятнистые, неоднородные. Со скарнами часто ассоциируют месторождения железа, меди, свинца и цинка, олова, вольфрама и др.

*Грейзены* образуются за счет гранитизации песчано-глинистых пород. Они имеют крупнокристаллическую структуру, состоят из мусковита, кварца, турмалина, флюорита и других минералов, связаны с поздними стадиями формирования гранитных интрузий. Часто содержат берилл, молибденит, вольфрамит и другие ценные минералы.

**3. Динамометаморфизм** (катакластический метаморфизм) возникает под воздействием давления в условиях невысоких температур и заключается в интенсивном дроблении горных пород и минеральных зерен без существенной их перекристаллизации.

Породы динамометаморфизма возникают в зонах смятия и разломов, к ним относятся тектонические брекчии, катаклазиты и милониты.

*Тектонические брекчии* образованы узловатыми или линзовидными обломками раздробленных первичных пород самой различной величины, сцементированными мелкораздробленным материалом тех же пород. Для них характерно отсутствие слоистости и однообразие состава обломков. Обычно обладает пятнистой текстурой.

*Катаклазит* характеризуется неполным разрушением материала, в нем можно видеть реликты исходных пород, в той или иной степени деформированных.

*Милонит* представляет собой тонко измельченную массу, образующую породу, часто обладающую сланцеватой, очковой или линзовидно-полосчатой текстурой.

Породы, претерпевшие после дробления или одновременно с ним перекристаллизацию, называются *бластомилонитами*.

**4. Пневматолитовый и гидротермальный метаморфизм** развивается при интенсивном привносе в породу новых веществ горячими водными растворами и газовыми эманациями, поднимающимися из остывающего магматического очага. При этом происходит изменение не только минерального, но и химического состава пород.

При очень интенсивном привносе новых веществ и замещении первичных минералов химически активными веществами возникает особый вид метаморфизма – **метасоматоз**. Основным условием метасоматоза является химическая неравновесность исходных пород и протекающих сквозь них растворов. Разновидностями метасоматоза являются: гранитизация, заключающаяся в привносе щелочей, в меньшей мере алюминия и кремния; базификация – привнос Fe, Mg и Ca; кислотное выщелачивание – вынос щелочных и щелочноземельных элементов. Кроме того выделяют метасоматические процессы по минералам, приобретающим господствующее значение в породе; хлоритизация – замещение железисто-магнезиальных минералов хлоритом; серицитизация – замещение полевых шпатов серицитом; серпентинизация – замещение железисто-магнезиальных минералов серпентином и др. Особое место занимает рудный метасоматоз, приводящий к концентрации железа, меди, полиметаллов, редких элементов и др.

## Вопросы к главе 2

1. Что такое горная порода? Основные генетические типы пород.
2. Какая порода называется мономинеральной полиминеральной? Приведите примеры.
3. Какие минералы называются породообразующими, второстепенными (акцессорными), вторичными? Приведите примеры.
4. Как называется наука о горных породах? В чем различие между петрографией и петрологией?
5. Основные диагностические свойства горных пород.
6. Дайте определение структуры. Какие структуры горных пород наиболее распространены?
7. Дайте определение текстуры. Какие текстуры горных пород наиболее распространены?
8. Что такое магматическая горная порода?
9. На чем основана классификация и номенклатура магматических горных пород?
10. Как делятся магматические горные породы по условиям образования?
11. Как делятся магматические горные породы по степени вторичных изменений?
12. Как кристаллизационная способность магмы отражается на структурных особенностях пород?
13. Основные типы структур магматических горных пород.

14. Основные типы текстур магматических горных пород
15. Что такое отдельность? Какие виды отдельности магматических горных пород вы знаете?
16. Формы залегания эффузивных горных пород.
17. Формы залегания интрузивных горных пород.
18. Классификация магматических пород по химическому составу.
19. Кислые магматические горные породы (эффузивные и интрузивные).
20. Средние магматические горные породы (эффузивные и интрузивные).
21. Основные магматические горные породы (эффузивные и интрузивные).
22. Ультраосновные магматические горные породы (эффузивные и интрузивные).
23. Щелочные магматические горные породы (эффузивные и интрузивные).
24. Что такое осадочная горная порода?
25. Из чего состоят осадочные горные породы?
26. Основные диагностические свойства осадочных горных пород.
27. Что такое степень диагенеза? Признаки диагенеза осадочных горных пород.
28. Основные структуры осадочных горных пород.
29. Основные текстуры осадочных горных пород.
30. Основные формы залегания осадочных горных пород.
31. Какие осадочные горные породы относят к обломочным? Группы обломочных горных пород.
32. Что такое хемогенные осадочные горные породы? Группы хемогенных горных пород.
33. Что такое органогенные осадочные горные породы? Группы органогенных горных пород.
34. Применение осадочных горных пород в промышленности и строительстве.
35. Каустобиолиты и их практическое значение.
36. Что такое метаморфическая горная порода?
37. Что включают метаморфические изменения первично магматических или осадочных горных пород? Степень их изменения.
38. Типичные минералы метаморфических пород.
39. Структурные особенности метаморфических горных пород.
40. Тектурные особенности метаморфических горных пород.
41. Основные типы метаморфизма.
42. Породы регионального метаморфизма.
43. Породы контактового метаморфизма.
44. Породы динамометаморфизма.
45. Породы пневматолитового и гидротермального метаморфизма.
46. Условия метасоматоза. Основные метасоматические процессы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изложенные в учебном пособии данные позволяют студентам геологического и машиностроительного факультета, обучающимся по направлениям «Геология» и «Строительство», самостоятельно освоить знания по минеральному и вещественному составу земной коры.

Основными итогами данного курса по дисциплинам «Общая геология» и «Геология» является получение сведений, необходимых для определения минералов и горных пород по их диагностическим свойствам, умение применять эти знания в практической деятельности как при прохождении учебной практики, так и при камеральной обработке полевой документации.

В дальнейшем сведения в области минералогии и петрографии студенты пополнят знаниями, полученными ими в специальных курсах «Минералогия» и «Петрография».

Развитие дисциплины «Общая геология» в рамках общего цикла геологических дисциплин подразумевает сбор и актуализацию информации, постоянно обновляемой и пополняемой из различных источников, доступных современному студенту, как, например, электронные ресурсы, опубликованные материалы научных и научно-практических конференций, учебные и учебно-методические пособия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетехтин, А.Г. Курс минералогии: учебное пособие / А.Г. Бетехтин. – М.: КДУ, 2008. – 735 с.
2. Бондарев, В.П. Геология. Лабораторный практикум: учебное пособие / В.П. Бондарев. – М.: ФОРУМ: ИНФРА–М, 2002. – 190 с.
3. Булах, А.Г. Общая минералогия: учебник / А.Г. Булах, В.Г. Кривовичев, А.А. Золотарев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2008. – 416 с.
4. Булах, А.Г. Минералогия: учебник / А.Г. Булах. – М.: Академия, 2011. – 288 с.
5. Гущин, А.И. Практическое руководство по общей геологии: учебное пособие / А.И. Гущин, М.А. Романовская, А.Н. Стафеев и др. – М.: Академия, 2004. – 160 с.
6. Добровольский, В.В. Геология: учебник / В.В. Добровольский. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 320 с.
7. Короновский, Н.В. Практическое руководство по общей геологии: учебное пособие / Н.В. Короновский. – М.: Академия, 2004. – 160 с.
8. Короновский, Н.В. Общая геология: учебник / Н.В. Короновский. – 3-е изд. – М.: КДУ, 2012. – 525 с.
9. Сустанов, С.Г. Физические свойства и определение минералов по внешним признакам: учебно-методическое пособие / С.Г. Сустанов. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2007. – 119 с.
10. Шарфман, В.С. Методика изучения структур, текстур и отдельности при проведении полевых исследований / В.С. Шарфман. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 66 с.
11. Шарфман, В.С. Петрология. Щелочные вулканические породы основного и ультраосновного состава: учебно-методическое пособие / В.С. Шарфман. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 92 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Глава 1. Минералы .....	4
1.1. Что такое минералы .....	4
1.2. Генезис минералов .....	5
1.3. Формы нахождения минералов в природе .....	9
1.4. Диагностические свойства минералов .....	14
1.5. Классификация минералов .....	22
Вопросы к главе 1 .....	49
Глава 2. Горные породы	
2.1. Что такое горные породы .....	50
2.2. Диагностические свойства пород .....	47
2.3. Магматические горные породы .....	54
2.4. Осадочные горные породы .....	68
2.5. Метаморфические горные породы .....	75
Вопросы к главе 2 .....	81
Заключение .....	83
Библиографический список .....	84