

**А.И.Баженов, К.Л.Новоселов, Т.И.Полуэктова**

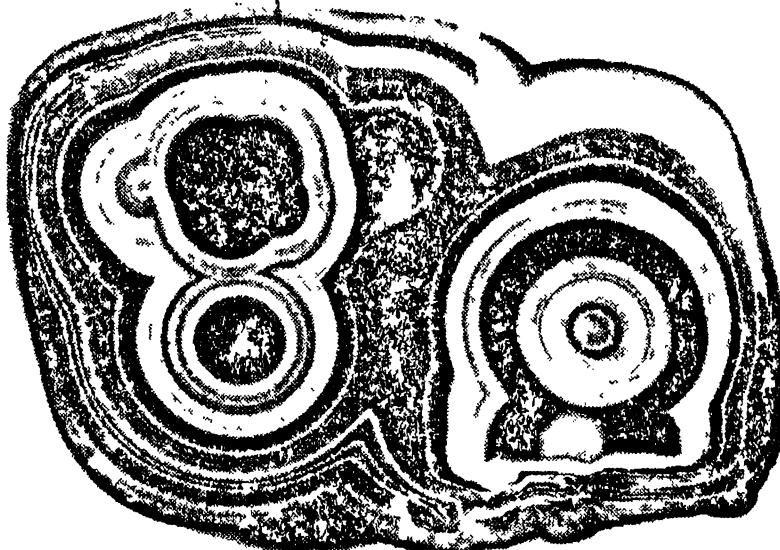
# **МИНЕРАЛОГИЯ**

**Часть I. ОБЩАЯ МИНЕРАЛОГИЯ**

**Часть II. ОПИСАТЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ**

**Самородные элементы, сульфиды,  
сульфосоли и их аналоги, галогениды,  
окислы и гидроокислы**

**Учебное пособие**



Министерство общего и профессионального  
образования Российской Федерации  
Томский политехнический университет

**А.И.Баженов, К.Л.Новоселов, Т.И.Полуэктова**

## **МИНЕРАЛОГИЯ**

**Часть I. ОБЩАЯ МИНЕРАЛОГИЯ**

**Часть II. ОПИСАТЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ**

**Самородные элементы, сульфиды,  
сульфосоли и их аналоги, галогениды,  
окислы и гидроокислы**

**Учебное пособие**



**Томск 2001**

Баженов А.И., Новоседов К.Л., Полуэктова Т.И. Минералогия (общая часть, описательная часть: самородные элементы; сульфиды, сульфосоли и их аналоги; галогениды, окислы и гидроокислы). Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001. - 120с.

Общая часть пособия содержит кристаллоструктурные и морфологические сведения о минералах, особенности их химического состава, физических свойств, условия образования в природе. Описательная часть посвящена общей характеристике типов, отдельных классов и групп минералов. Кристалломорфологические, физические свойства, генетические особенности и области применения минералов сведены в таблицы. Особое внимание уделено диагностике минералов, их парагенетической ассоциации. Учебное пособие подготовлено на кафедре минералогии и петрографии ТПУ, предназначается для бакалавров, обучающихся по направлению 553200 - Геология и разведка полезных ископаемых, а также для студентов других геологических специальностей очной и заочной форм обучения.

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Томского политехнического университета.

Рецензенты:

Строителев А.Д. - Зав. лаб. "Экспериментальной минералогии и геохимии" Томского государственного университета, канд. геол.-минер. наук.  
Добнер Г.А. - первый зам. председателя Комитета по природным ресурсам Томской области.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Впервые учебное пособие "Практическая минералогия" авторами было издано в 1981 г., явилось весьма удачным для лабораторных работ и самостоятельных занятий и быстро завоевало популярность у студентов, особенно заочной формы обучения. В настоящее время с появлением нового направления обучения - бакалавров геологии и разведки месторождений полезных ископаемых при отсутствии учебников по минералогии для этого направления, возникла острая потребность в издании нового учебного пособия.

Данное учебное пособие написано в соответствии с программой обучения бакалавров геологии, но методические особенности изложения материала, выработанные многолетним опытом работы со студентами, сохранены без изменения: детально рассматривается диагностика, для чего выделяются группы похожих минералов и приводятся их отличительные признаки, акцентируется внимание на наиболее часто допускаемых ошибках при определении минералов, химизме и парагенетических ассоциациях, генетических особенностях их, а справочные данные (морфология кристаллов, агрегатов, физические свойства) сведены в таблицы. Кроме того, учтены пожелания студентов, касающиеся более расширенного изложения общей части минералогии, в частности, процессов минералообразования, химического состава минералов, а также увеличения числа иллюстраций морфологии кристаллов минералов и их агрегатов.

По своему содержанию пособие включает три основные компоненты обучения бакалавров геологии федеральную (изучение главнейших минералов, знание которых необходимо для общепрофессиональной подготовки); региональную (подготовка обучающегося к производственно-технологической и природоохранной деятельности с расширенным изучением минералов руд месторождений регионов Сибири, Дальнего Востока, Казахстана); университетскую (обучение методам визуальной диагностики минералов, анализу их парагенетических ассоциаций).

В пособии приводятся многочисленные фотографии и рисунки образцов минералов из месторождений различных регионов России и зарубежных государств, широко представленных в минералогическом музее кафедры минералогии и петрографии ТПУ, а также использованы оригинальные фотографии из раз-

личных учебников и справочников по минералогии (Бетехтин, 1961; Булах, 1999; Годовиков, 1972, 1975). Авторы благодарны за предоставленные фотографии музейных экспонатов образцов минералов и полезные советы сотруднице минералогического музея ТГУ А.Г. Ананьевой. Компьютерный набор и компьютерная графика выполнены инженером-геологом Аршиновой О.Ю., и авторы весьма признательны за ее большой творческий вклад и профессионализм в оформлении пособия.

### К студентам

Минералогия занимает важное место в цикле геологических дисциплин, широко использует понятия и законы физики, общей, физической и коллоидной химии, кристаллографии, общей геологии, поэтому успешное изучение минералогии возможно при хороших знаниях основ этих наук. Для студентов I - II курсов минералогия - первая профессиональная дисциплина, знание которой лежит в основе изучения всех последующих геологических наук, и прежде всего петрографии, геохимии, месторождений полезных ископаемых. От других наук минералогия отличается своей спецификой и трудоемкостью, особенно на младших курсах: потребуется заучивание многочисленных химических формул минералов, физических свойств, парагенетических ассоциаций и т.д.; научиться диагностировать минералы, отличать внешне похожие группы минералов можно лишь при условии систематической самостоятельной работы студента на кафедре с учебной коллекцией минералов, с минеральным царством музея кафедры. Следовательно, самоорганизованность, уверенность в правильности избранной будущей профессии, целеустремленность, упорство, желание и любознательность обеспечат студенту успех в изучении данной науки.

В учебном пособии материал изложен достаточно просто и в доступной для понимания и работы форме, учтены наиболее часто допускаемые студентами ошибки в диагностике похожих минералов и приведены их отличительные признаки, и авторы выражают уверенность в том, что данное пособие окажется весьма полезным студенту для лабораторных занятий, самостоятельной работы, при подготовке к контрольным работам, зачету и экзамену.

Авторы с благодарностью примут все пожелания и предложения по содержанию пособия, которые будут учтены при подготовке следующих разделов дисциплины.

# ЧАСТЬ I. ОБЩАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

## ВВЕДЕНИЕ

**Минералогия** - наука о минералах. **Минералом называется гомогенное (однородное) природное химическое соединение, образовавшееся в результате различных физико-химических процессов.**

Среди минералов по особенностям внутреннего строения различают кристаллические и аморфные. В кристаллических телах элементарные материальные частицы распределены закономерно и образуют кристаллическую решетку. Кристаллическое тело, имеющее геометрически правильную форму и ограниченное плоскими гранями, ребрами и вершинами, называется кристаллом. Физические свойства (твёрдость, цвет и др.) кристаллических тел в не параллельных направлениях различны. Зависимость физических свойств от направления называется анизотропностью. Свойство анизотропии твёрдости особенно ярко проявляется на кристалле дистена - на грани пинакоида (100) параллельно оси С твёрдость равна 4.5-5, перпендикулярно оси С + 6.5.

В аморфных телах элементарные частицы распределены беспорядочно, вследствие чего физические свойства в них во всех направлениях одинаковые. Такое постоянство физических свойств называется изотропностью, а аморфные вещества - изотропными. К аморфным минералам, например, относятся опал  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , лимонит  $\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , и другие.

Аморфные вещества не стабильны, с течением времени они раскристаллизовываются и переходят в кристаллическое состояние. Так, аморфный опал самопроизвольно дегидратируется (теряет воду) и, раскристаллизовываясь, превращается в скрыто-кристаллический халцедон  $\text{SiO}_2$ .

В природе возможно превращение кристаллических тел в аморфное состояние под воздействием постороннего источника энергии, например, радиоактивного излучения. Такое превращение называется метамиктным распадом, а минералы, испытавшие распад, называются метамиктными. К ним относятся, в частности, разновидности циркона  $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$  - малакон и циртолит, характеризующиеся повышенным содержанием U, Th, редких земель, воды.

# 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ

Минерал, как ранее указывалось, представляет собой природное химическое соединение, состав которого выражается химической формулой. Формулы минералов могут быть эмпирическими, показывающими только химический состав, и структурными (кристаллохимическими), отображающими особенности строения кристаллической решетки минерала. В настоящее время химический состав минерала принято представлять структурной формулой, в которой выделяются катионные и анионные комплексы, характеризующие типы кристаллических структур. В сложных химических соединениях, каковыми являются силикаты, анионные комплексы отделяются от катионных квадратными скобками. Например, оливин  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ , топаз  $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$ .

## 1.1. МИНЕРАЛЫ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА

По химическому составу все минералы объединяются в две группы: 1) минералы *постоянного состава*; 2) минералы *переменного состава*. К первой группе относятся минералы, состав которых неизменен. Например, галит  $\text{NaCl}$  всегда содержит  $\text{Na} - 39.4\%$ ,  $\text{Cl} - 60.6\%$ , в составе галенита  $\text{PbS}$  содержание  $\text{Pb} - 86.6\%$ ,  $\text{S} - 13.4\%$ .

Минералы *переменного состава* рассматриваются как **изоморфные смеси** двух, трех и более компонентов. Так, вольфрамит  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$  представляет изоморфную смесь двух компонентов ферберита  $\text{FeWO}_4$  и губнерита  $\text{MnWO}_4$ . Наличие запятой в формуле вольфрамита показывает, что количества  $\text{Fe}$  и  $\text{Mn}$  в составе вольфрамита непостоянны. Изоморфные смеси (их же называют твердыми растворами или смешанными кристаллами) широко распространены в природе, особенно они характерны для силикатов. Образование изоморфных смесей обязано явлению **изоморфизма**.

**Изоморфизмом называется свойство атомов одного химического элемента замещать в узлах кристаллической решетки атомы другого химического элемента с образованием гомогенного (однородного) смешанного кристалла переменного состава.** В геохимии выделяют большое число типов изоморфизма, из которых к наиболее распространенным относятся следующие: **совершенный**, при котором воз-

можно образование смешанного кристалла любого промежуточного состава (например, от чистого ферберита до чистого губнерита); **несовершенный**, характеризующийся ограниченной смесимостью компонентов (например, в сфалерите  $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$  содержание  $\text{FeS}$  не может превышать 15%); **изовалентный** - в замещениях участвуют элементы одной и той же валентности (в вольфрамите происходит замещение  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{2+}$ ); **гетеровалентный** - в замещениях, обычно групповых, участвуют ионы разной валентности (в минералах группы плагиоклазов имеет место замещение группами ионов  $\text{Na}^+ \text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Ca}^{2+} \text{Al}^{3+}$ ). На возможность образования изоморфных смесей влияет две группы факторов - внутренних, обусловленных особенностями строения атомов (ионов), и внешних, характеризующих внешнюю среду - температуру, давление и концентрацию вещества. При изменении условий среды возможен распад смешанного кристалла на составляющие компоненты. Так, изоморфная смесь  $(\text{K}, \text{Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  существует при высокой температуре, но по мере понижения ее смесь распадается на составные компоненты, образуя перитовые вrostки альбита  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  в калиевом полевом шпата  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ . Изоморфные смеси широко используются для решения многих задач прикладной геологии. Подробно изоморфизм рассматривается в курсе геохимии.

## 1.2. ВОДА В МИНЕРАЛАХ

По содержанию воды в химическом составе выделяются минералы безводные и водосодержащие. Известны следующие типы воды в минералах: связанный, полу связанный, свободный.

**Связанная** вода входит в кристаллическую решётку минерала, и выделяется два вида ее: конституционная и кристаллизационная. Конституционная вода участвует в составе минерала в форме иона  $\text{H}^+$  или группы  $(\text{OH})^-$  (например, диаспор  $\text{HAIO}_2$ , гидрагиллит  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Кристаллизационная вода входит в состав минерала в виде молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , т.е. находится в кристаллогидратах (гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Удаляется связанный вода из минерала при температуре выше  $110^\circ\text{C}$ , при этом происходит перестройка кристаллической решётки и образуется новый минерал с иными физическими свойствами. Так, диаспор  $\text{HAIO}_2$ , ромбической сингонии, в результате дегидратации переходит в корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , тригональной сингонии. Физические свойства этих двух

минералов резко различаются.

**Полусвязанная вода** (шеолитная) входит в состав минералов группы цеолитов (например, один из минералов группы - натролит  $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), не занимает фиксированного положения в структуре минерала и находится в виде молекул  $\text{H}_2\text{O}$  в каналах или полостях кристаллической решетки. Дегидратация происходит при температуре выше  $110^\circ\text{C}$ , не вызывает нарушение структуры минерала, а сопровождается лишь изменением некоторых физических свойств, например, удельного веса, кристаллооптических.

**Свободная вода** не имеет кристаллохимической связи с кристаллической решеткой минерала, находится в межзерновых пространствах, трещинах минерала, порах и других дефектах. Свободная вода легко удаляется из минерала при температуре менее  $110^\circ\text{C}$ , не вызывая разрушения его или изменения физических свойств. К свободной воде относится пленочная, гигроскопическая, коллоидная и капиллярная.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определение минералогии как науки, объекты ее изучения.
2. Что называется минералом? Агрегатное состояние минерала.
3. Основные свойства кристаллических и аморфных веществ. Приведите примеры.
4. Что понимается под минералами постоянного и переменного химического состава? Приведите примеры.
5. Дайте определение изоморфизма.
6. Перечислите наиболее распространенные типы изоморфизма. Примеры изоморфных смесей.
7. Какие типы воды известны в минералах? Приведите примеры.

## 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Химический состав минерала, особенности строения кристаллической решетки придают ему определенный комплекс физических свойств. Диагностика минерала основывается на определении присущих ему специфических признаков.

Физические свойства минералов объединяются в три группы: оптические, механические и прочие свойства,

### 2.1. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Оптические свойства включают прозрачность, цвет, черту, блеск.

Под прозрачностью понимается свойство минерала пропускать сквозь себя свет. В зависимости от степени прозрачности среди кристаллов минералов выделяют прозрачные (горный хрусталь, топаз), полупрозрачные (апатит, сфалерит), непрозрачные (пирит, магнетит).

Цвет минерала обращает прежде всего на себя внимание при первом знакомстве с ним. Природа окраски многообразна, поэтому для целей диагностики минерала полагаться только на нее не следует. Выделяют три вида окраски минерала: идиохроматическая, аллохроматическая и псевдохроматическая.

Идиохроматическая («идиос» - в переводе с греческого - собственная) обусловлена особенностями структуры минерала (например, латунно-желтая окраска пирита) и присутствием в химическом составе его красящих элементов (хромофоров). К элементам-хромофорам относятся такие, как Cr, Mn, Fe, Co, Ni, V и др. Например, минералы, содержащие Mn (родохрозит  $MnCO_3$ , родонит  $MnSiO_3$ ), имеют розовый цвет, Fe - черный (магнетит  $Fe_3O_4$ ), Cr придает минералам интенсивно-красный (рубин), изумрудно-зеленый (изумруд) цвета.

Аллохроматическая («аллос» - посторонний) окраска обя-зана механической примеси другого минерала. Так, примесь тонкочешуйчатого красного гематита в белом барите придает последнему красноватый цвет.

Псевдохроматическая («псевдо» - ложный) окраска связана с оптическими явлениями, имеющими место внутри кристалла (например, иризация лабрадора, проявляющаяся в ярко-синем отливе при определенном положении кристалла). К псевдохроматизму относится побежалость - пестроокрашенная плен-

ка, развивающаяся при разложении минерала. По своему проявлению побежалость подобна иризирующему масляным пленкам (керосина, бензина) на поверхности воды.

**Черта** - цвет минерала в порошке. Для получения черты используют обломок фарфора (бисквит), по матовой поверхности которого проводят минералом. Черта является более надежным признаком минерала, чем его окраска. Например, гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  может иметь стально-серую, железо-черную или красно-бурую окраску, но черта его всегда вишнево-красная или красно-бурая.

**Блеск** - свойство минерала отражать падающие на него лучи света. Характеризуя минерал, различают блеск металлический и неметаллический. Металлическим блеском обладают минералы непрозрачные и, как правило, с темной чертой (пирит, никелин). Неметаллический включает блеск алмазный, стеклянный, восковый, жирный и матовый. При определении блеска минерала наибольшую трудность представляет отличие металлического и очень похожего на него алмазного. Металлическим блеском обладают минералы, которые своим цветом напоминают распространенные металлы или их сплавы (олово, свинец, сталь, латунь, бронзу и др.) Если этого нет, то блеск минералов характеризуют алмазным. Для некоторых минералов выделяют блеск полуметаллический + промежуточный между металлическим и алмазным. Отдельные минералы, кроме блеска, характеризуются отливом: шелковистым + у параллельно-волокнистых агрегатов минералов; перламутровым, типичным для минералов, сложенных тонкими параллельными пластинками.

## 2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К механическим свойствам минерала относятся твердость, спайность, излом, отдельность, хрупкость, ковкость, упругость, гибкость.

**Твердость** представляет собой важный диагностический признак минерала. Под твердостью понимается свойство минерала противодействовать царапающей деформации другого минерала. Для определения твердости используется шкала Мооса (впервые разработана Фридрихом Моосом, немецким минералогом), включающая 10 минералов-эталонов:

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

Кроме эталонных минералов шкалы можно использовать другие предметы, твердость которых соответствует цифрам Мозса: оконное стекло (5.5), стальной нож (5.5 - 6), ноготь пальца (около 2.5) и др.

**Спайность** - свойство минерала раскалываться с образованием плоской зеркальной поверхности параллельно существующим или возможным граням кристалла. Спайность может проявиться в одном направлении (параллельно граням пинакоида), двух (параллельно граням тетрагональной призмы), трех направлениях (параллельно граням куба, ромбододекаэдра). Максимально возможным количеством направлений спайности обладает сфalerит, у которого оно равно 6 (параллельно граням ромбододекаэдра).

Выделяются четыре степени совершенства спайности.

1. **Весьма совершенная** минерал расщепляется вдоль плоскости спайности под действием усилия ногтя. Такой спайностью обладают слюды.

2. **Совершенная** минерал при ударе раскалывается на спайные обломки, ограниченные плоскостями спайности (например, кальцит, галенит).

3. **Средняя (ясная)** - распространена у немногих минералов, при ударе обломки частично имеют неправильные поверхности излома, частично ограничены плоскостями спайности (например, арсенопирит, кобальтин).

4. **Несовершенная** - на обломках отсутствуют зеркальные поверхности (например, кварц, пирит).

Свойство спайности связано со строением кристаллической решетки минерала: силы сцепления между узлами в одних направлениях оказываются резко ослабленными по сравнению с силами сцепления в других направлениях. Аморфные минералы, как известно, не образуют кристаллической решетки, поэтому явление спайности в них отсутствует.

**Излом** - поверхность скола минерала, прошедшего не по спайности. Излом и спайность взаимосвязаны: чем совершеннее спайность, тем хуже проявляется излом, и наоборот. Обычно распространены у минералов раковистый излом, реже - ровный

занозистый, а самородные металлы имеют крючковатый излом.

**Отдельность** - свойство по проявлению близкое к спайности. В отличие от спайности отдельность не связана со строением кристаллической решетки, а обусловлена внешними причинами: давлением, двойникованием, особенностями роста кристалла и др. Отдельность, например, характерна для группы корунда, группы пироксенов.

**Хрупкость, ковкость, гибкость, упругость** свойства весьма характерны для ряда минералов. Под хрупкостью понимается способность минерала крошиться при проведении остринем стекла или ножа царапины на его поверхности. При этом образуется царапина с порошком по краям. Например, данное свойство наблюдается у блеклых руд. При царапании ковких минералов, таких как, халькозин, самородные металлы (золото, медь, серебро) получается ровный блестящий след. Гибкость - способность минерала изгибаться, менять свою форму под воздействием деформирующих сил. Например, гибкостью характеризуются листочки талька, хлоритов и др. Упругость - способность минерала восстанавливать свою первоначальную форму при снятии напряжения. Упругие, например, листочки слюд (биотита, мусковита).

### 2.3. ПРОЧИЕ СВОЙСТВА

Из прочих свойств, используемых для определения минералов, отметим удельный вес, магнитность, радиоактивность, растворимость в воде и кислотах, запах, горючесть, люминесценцию, электрические свойства.

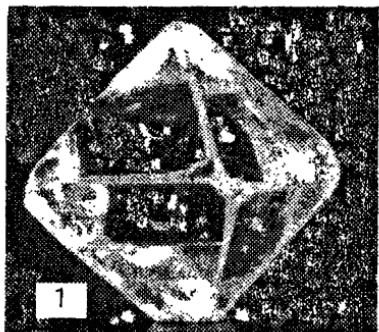
По удельному весу минералы разбиваются на 3 группы: легкие - до 2,5; средние - от 2,5 до 3,5; тяжелые - более 3,5. Магнитными свойствами обладают немногие минералы - магнетит  $Fe_3O_4$ , ильменит  $FeTiO_3$ , пирротин  $FeS$ . Эти минералы притягивают магнитную стрелку компаса; для определения магнитности минерал необходимо подносить к стрелке компаса сбоку на расстояние 2 - 5 мм. Радиоактивные минералы обычно окружены желто-бурым ореолом, возникающим в результате воздействия продуктов радиоактивного распада на кристаллическую решетку вмещающего минерала. Особенно четко такой ореол образуется в полевых шпатах.

### 3. МОРФОЛОГИЯ КРИСТАЛЛОВ И АГРЕГАТОВ МИНЕРАЛОВ

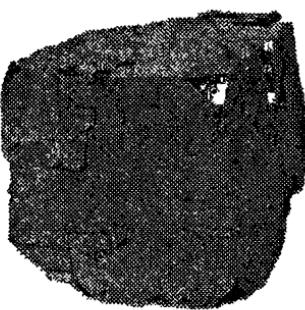
Под морфологией кристаллов и агрегатов минералов понимается форма проявления минералов в природе. Формы кристаллов, симметрия, классификация их на классы симметрии и сингонии детально рассматривались в курсе «Геометрическая кристаллография» (Полуэктова, Новоселов, 1998), поэтому здесь ограничимся сведениями о морфологии природных кристаллов.

#### 3.1. МОРФОЛОГИЯ КРИСТАЛЛОВ МИНЕРАЛОВ

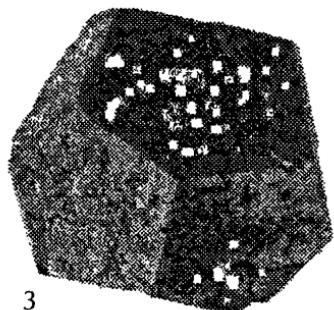
Многие минералы встречаются в виде кристаллов, образуют закономерные сростки, имеют скульптурные грани. Расшифровка морфологии кристалла имеет важное диагностическое значение. Симметрия природных кристаллов, в зависимости от условий их роста, часто искажена, поэтому морфологию кристаллов принято характеризовать *обликом* (*габитусом*) их - внешний вид кристаллов, определяемый преобладающим развитием тех или иных простых форм. Выделяется следующий облик кристаллов.



1



2

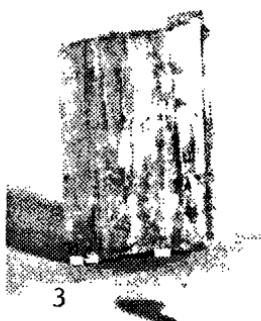
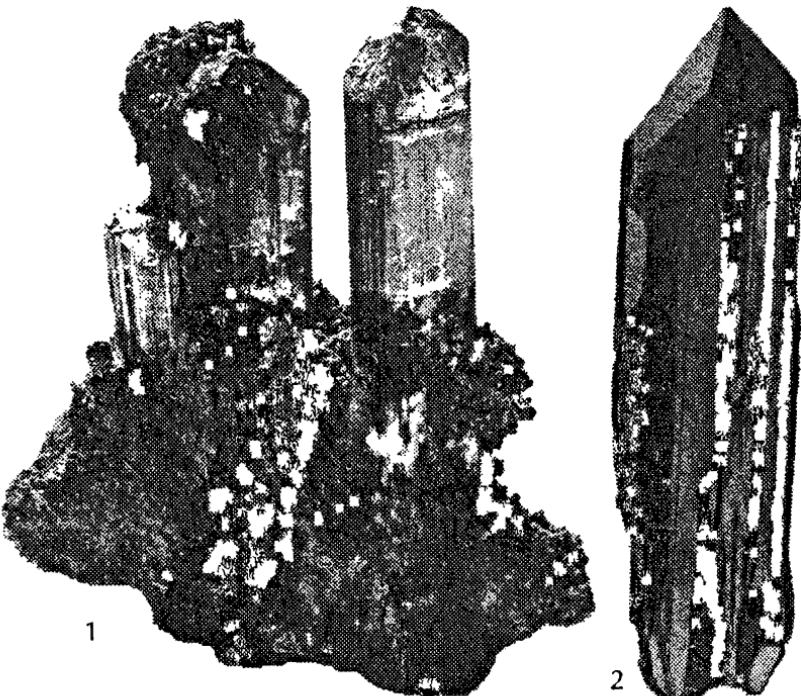


3

Рис. 1. Изометрический облик кристаллов:

- 1 - октаэдрический кристалл алмаза;
- 2 - кубический кристалл галенита;
- 3 - пентагонодекаэдрический кристалл кобальтина

**1. Изометрический** - кристаллы характеризуются одинаковым или почти одинаковым развитием в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Таким обликом обладают кристаллы высшей (кубической) сингонии. Например, облик минералов может быть кубическим (пирит, галит), октаэдрическим (магнетит, шпинель, алмаз), пентагондодекаэдрическим (кобальтин), ромдо-декаэдрическим (гранаты), тетраэдрическим (сфалерит, блеклые руды) (рис.1).



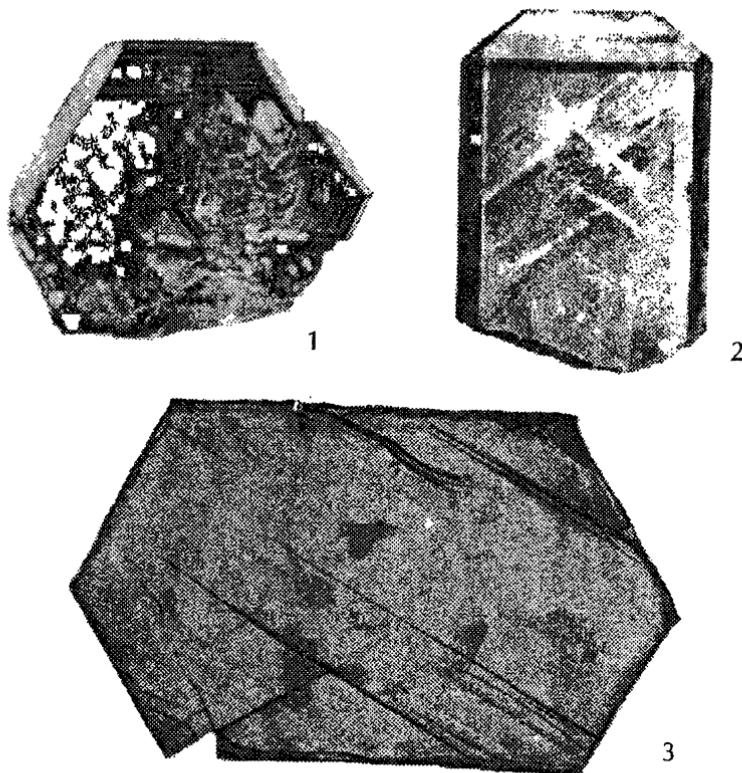
*Рис. 2. Вытянутый, призматический облик:*

- 1 - кристаллы турмалина;
- 2 - кристалл антимонита;
- 3 - кристалл берилла

**2. Вытянутый в одном направлении** призматические, с голбчатые, шестоватые, игольчатые. Подобный облик имеют кристаллы средних сингоний (тетрагональной, гексагональной, тригональной). Например, призматическим обликом характеризуются берилл, апатит, турмалин; столбчатым - скаполит, андалузит, арсенопирит; игольчатым - рутил, гидроборазит (рис.2).

**3. Уплощенный** вытянутый в двух направлениях при сохранении третьего короткого; облик характерный для кристаллов низших сингоний (ромбическая, моноклинная, триклиническая). Например, облик таблитчатый (барит, монацит, пирротин), пластинчатый (слюда, молибденит, графит) (рис.3).

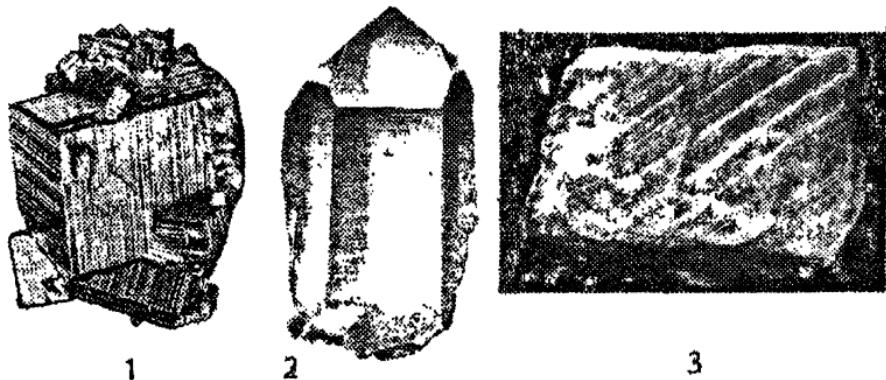
Многие минералы встречаются в виде закономерных срас-



*Рис. 3. Уплощенный облик кристаллов:*  
1,2 - таблитчатые кристаллы гематита (1) и барита (2);  
3 - пластинчатый кристалл слюды



*Рис. 4. Двойниковые срастания:*  
 1 - двойник гипса типа «малосточкин хвост»;  
 2 - двойник кварца;  
 3 - крестообразный двойник прорастания ставролита;  
 4 - коленчатый двойник касситерита



*Рис. 5. Морфология граней кристаллов:*  
 1 - штриховка в трех взаимно перпендикулярных направлениях на гранях кристалла пирита;  
 2 - поперечная штриховка на гранях кристалла кварца;  
 3 - двойниковые швы на плоскости спайности кальцита

таний, которые носят название двойников, тройников. Для отдельных минералов двойники весьма типичны, и диагностика минералов значительно облегчается при их наличии. Например, двойники типа «ласточкина хвоста» гипса, коленчатые двойники рутила и кассiterита, крестообразные двойники ставролита, двойники по шпинелевому закону магнетита или шпинели (рис.4).

Скульптурные усложнения граней кристаллов (штриховка, ямчатость, бугорки и др.) для ряда минералов являются постоянными свойствами и служат дополнительными диагностическими признаками. Например, поперечная штриховка на гранях призмы кварца, вертикальная штриховка на гранях призмы турмалина, пересекающаяся под углом 60° штриховка на гранях пинакоида корунда, гематита, ильменита, бугорки, ямки, прерывистая штриховка на гранях призмы везувиана и др. Природа штриховатости граней различна: комбинационная, обусловленная многократным повторением наростов узких вицинальных граней (турмалин); двойниковая, обусловленная полисинтетическим двойникованием (плагиоклазы, кальцит) (рис.5).

### 3.2. МОРФОЛОГИЯ АГРЕГАТОВ МИНЕРАЛОВ

Морфология минеральных агрегатов также может иметь большое значение для определения минералов. Принято различать агрегаты мономинеральные (сложены одним минералом) и полиминеральные (сложены несколькими минералами).

В природе распространены следующие виды агрегатов.

1. **Зернистый** наиболее часто встречающийся агрегат, сложенный кристаллическими зернами. Среди зернистых различают агрегаты в зависимости от формы, размеров зерен, расположения последних в пространстве.

По форме зерен выделяют:

- собственно зернистые - образованы изометрическими зернами;
- призматико-зернистые, игольчатые, волокнистые - сложены зернами, вытянутыми в одном направлении;
- чешуйчатые и листоватые - состоят из чешуек и листовых индивидов.

По взаимному расположению зерен в пространстве среди игольчатых и волокнистых агрегатов выделяются лучис-

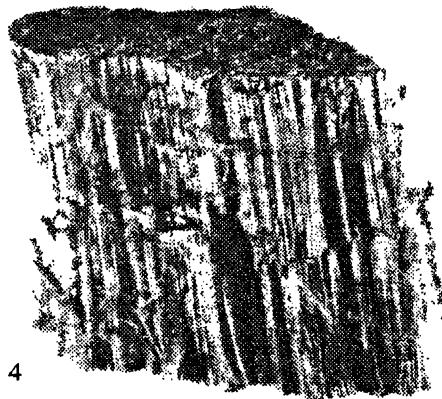
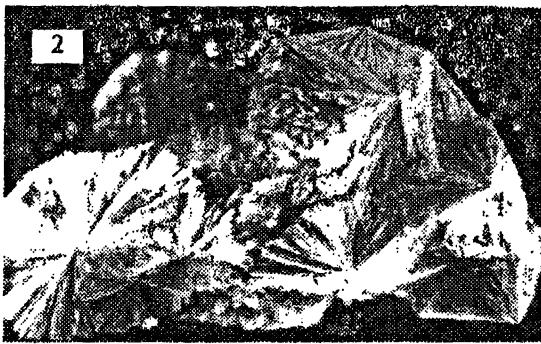
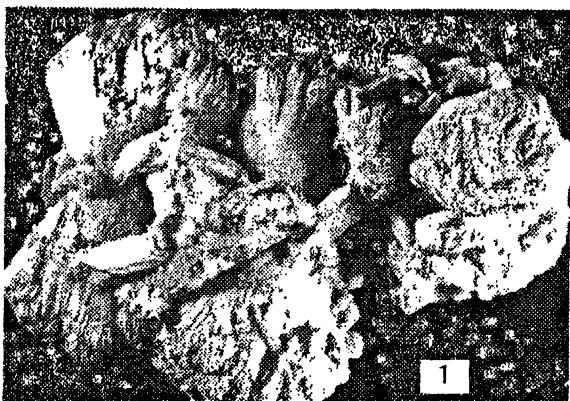


Рис. 6. Морфология зернистых агрегатов:  
1 - сноловидный агрегат десмина;  
2 - радиально-лучистый агрегат гидроборасита;  
3, 4 - параллельно-волокнистый агрегат хризотил-асбеста;  
5 - лучистый агрегат арагонита

ые, радиально-лучистые, споповидные, параллельно-волокнистые звездчатые (рис.6).

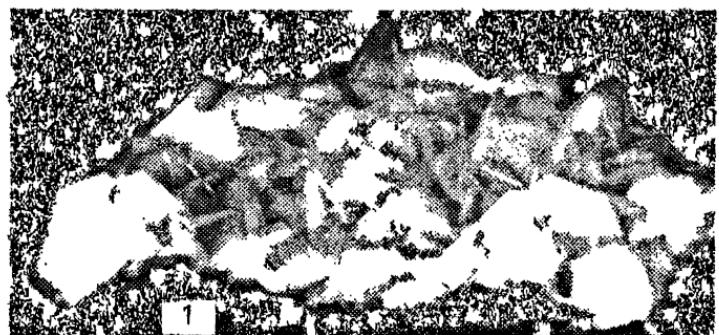
В зависимости от величины зерен зернистый агрегат классифицируется на мелкозернистый (< 1 мм), среднезернистый 10 мм), крупнозернистый (> 10 мм).

Если размер зерен очень невелик, и макроскопически не устанавливаются границы между ними, то такой агрегат называется **плотным, скрытокристаллическим**.

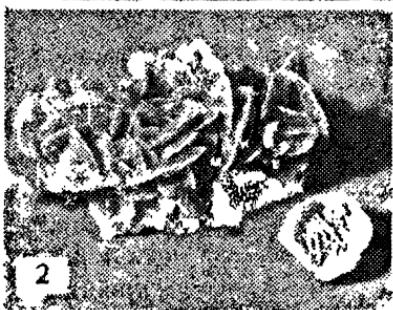
**2. Друза** - незакономерные срастания кристаллов, наростивших на поверхность каких-либо пустот в породе. Обычно кристаллы хорошо образованы, и в зависимости от условий их роста, величины пустот могут достигать значительных размеров. Если сростки кристаллов располагаются параллельно друг другу, то их называют **кристаллическими щетками**. В минералогическом музее ТПУ широко представлены друзы разнообразных кристаллов минералов из различных месторождений Сибири, Дальнего Востока и зарубежных стран. Назовем лишь некоторые из них: друзы кристаллов данбурита (рис.7.3.), пластинчатых кристаллов кальцита (рис.7.1.), кубо-октаэдрических кристаллов галенита в срастании с тетраэдрами сфалерита, друзы призматических кристаллов антимонита, размером 32x12x10 см, из прославившегося этим замечательным творением природы месторождения Японии (о.Шикоку): грани удлиненно-призматических кристаллов несут тонкую вертикальную штриховку, плоскости пайности (100) + четкую поперечную двойниковую штриховку, на фоне свинцово-серой окраски минерала проявляется радужная побежалость в синих и фиолетовых тонах, и естественно, что фотографии и описание друз этого минерала обошли страницы практически каждого учебника и справочника по минералогии (рис.7.4.).

**3. Секреция** образуется в результате заполнения веществом пустоты (часто близкой к округлой форме) в породе. Секреция растет от периферии к центру, при этом пустота может быть выполнена полностью или частично. Для секреции характерно концентрически-зональное строение, зоны нередко окрашены в различные цвета или оттенки. В центральной части секреции часто заполнены друзой мелких кристаллов или радиально-волокнистыми агрегатами. Крупные секреции (> 10 мм) называются **жеодами**, мелкие (< 10 мм) - **миндалинами** (рис.8).

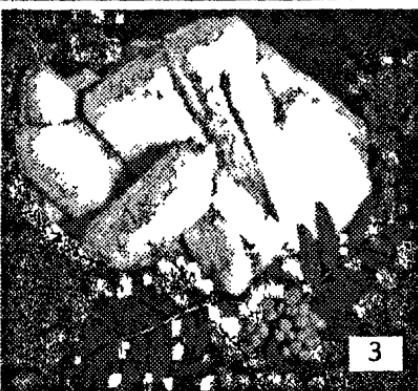
**4. Конкремция** представляет собой стяжение минерального вещества вокруг какого-то центра (песчинки, органического ве-



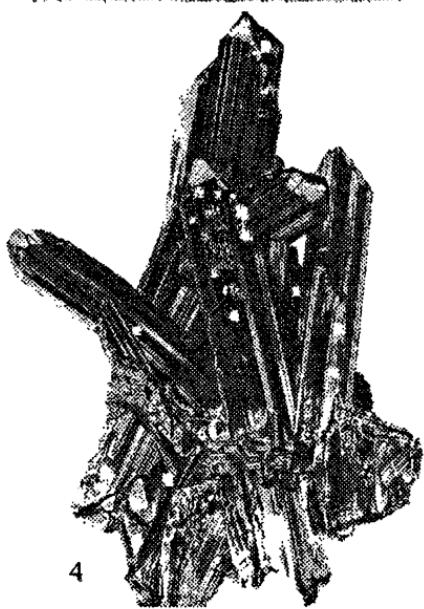
1



2



3



4



5

Рис. 7. Друзы пластинчатых кристаллов кальцита (1); пластинчатых кристаллов гипса (2); призматических кристаллов данбурита (3); длинно-призматических кристаллов антимонита (4); кварца (5)

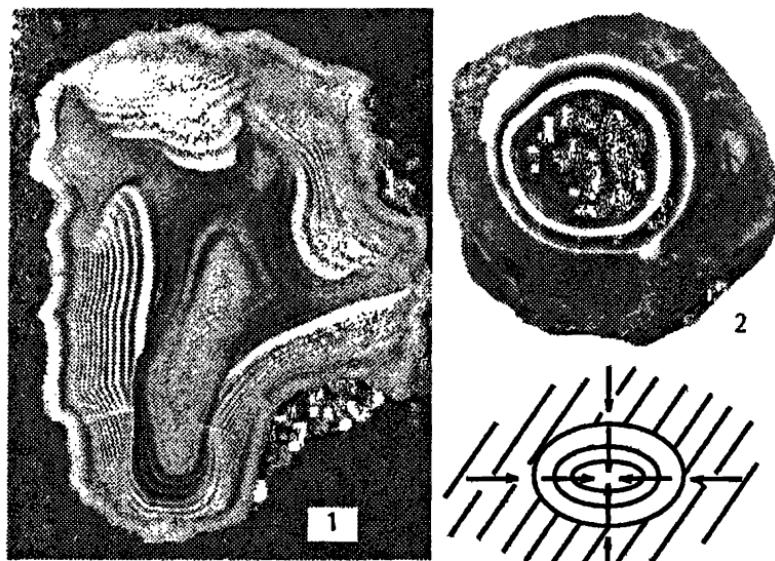


Рис. 8. Секреции:

- 1 - зональный агат;
- 2 - концентрически-зональный оникс;
- 3 - жеода агата, центральная часть выполнена друзой кварца;
- 4 - схема роста секреции (направление стрелок)

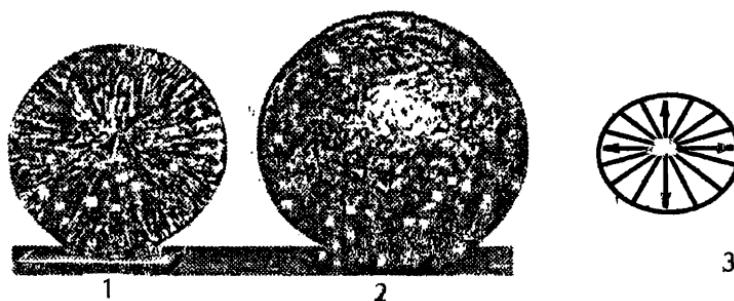


Рис. 9. Конкремции фосфорита:

- 1 - конкремция в изломе с радиально-лучистым строением;
- 2 - шарообразная поверхность конкремции;
- 3 - схема роста конкремции (направления стрелок)

шества и др.) в рыхлых породах. Конкремция имеет сферическую или близкую к ней форму, в разрезе часто наблюдается радиально-лучистое строение. В отличие от секреции конкрекция разрастается от центра к периферии. Конкремции особенно характерны для фосфорита, марказита (рис.9).

5. **Оолиты** - скопления мелких сферических образований, формирующихся в водной среде. Оолитовые стяжения обладают скорлуповатым, концентрически-слоистым строением. В соответствии с размерами оолитов выделяются разновидности - икриной, гороховый камни. Оолиты, не имеющие скорлуповатого строения, называются бобовинами (псевдо-оолитами). Оолитовый агрегат, например, характерен для арагонита (рис.10).

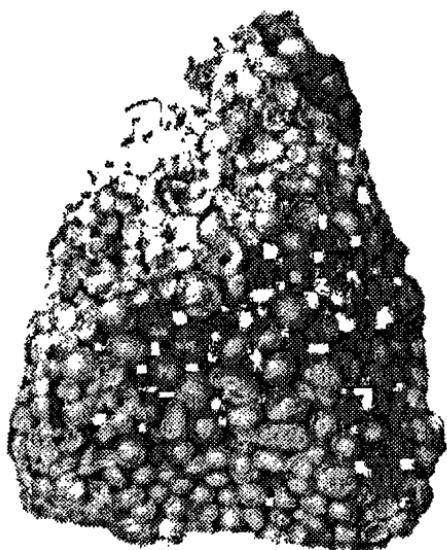


Рис. 10. Оолитовый агрегат арагонита

родные минералы (медь, золото, серебро), гидроокислы марганца (псиломелан) и некоторые другие (рис.11).

7. **Налеты и примазки** представляют собой тонкие пленки на поверхности кристаллов или агрегатов. По составу пленки чаще представлены гидроокислами железа (лимонит), карбонатами меди (малахит, азурит).

8. **Выщеты** сложены растворимыми в воде минералами (например, водные сульфаты), периодически появляющиеся на поверхности почвы в сухое время года и исчезающие в дождливый сезон.



Рис. 11. Дендрит самородной меди

9. Землистые, рыхлые, порошковатые массы, среди которых по окраске различают сажистые (черные), ржавистые (ржаво-бурые),

10. Псевдоморфозы - минеральные индивиды, обладающие чуждой для них внешней кристаллографической формой. Например, аморфный лимонит, замещая кристаллы пирита, приобретает несвойственную для него кубическую форму,

11. Натечные формы весьма разнообразны: *сталактиты* и *сталагмиты*, *почковидные*, *гроздевидные*, *шарообразные* и *шишкообразные*, *ветвистые* и *древовидные* (рис.12).

Формирование сталактитов и сталагмитов, как известно из курса общей геологии, хорошо наблюдается в пещерах карбонатных пород. Сталактиты свисают с потолка, т.е. растут сверху вниз, и имеют заостренную сосульковидную форму, сталагмиты разрастаются от почвы к потолку пещеры, т.е. растут снизу вверх, и имеют столбообразную форму. Натечные агрегаты округлой формы нередко характеризуются гладкой зеркально блестящей поверхностью, и для отдельных минералов имеют свои названия: *красная стеклянная голова* (гематит), *черная стеклянная голова* (псиломелан). В поперечном разрезе подобные образования имеют радиально-лучистое, параллельно-волокнистое

тое строение.

В отличие от кристаллических агрегатов минералов, кристаллизующихся из истинных растворов или расплавов, натечные формы появляются из коллоидных растворов и механизме формирования коллоидных минералов,

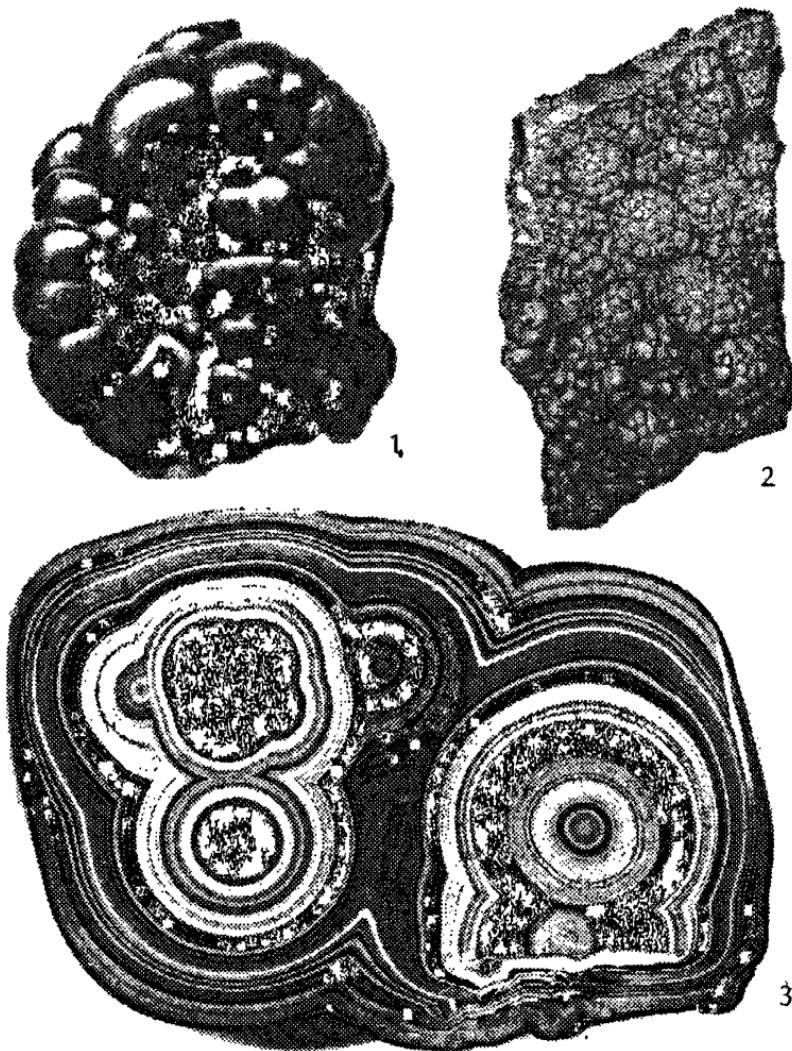
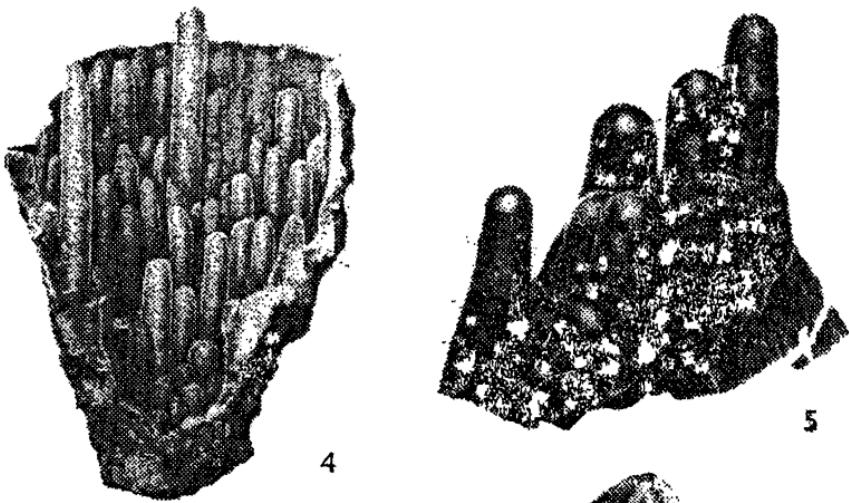


Рис. 12. Формы натечных агрегатов

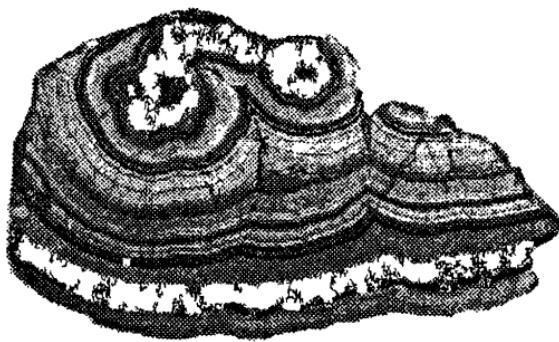


4

5

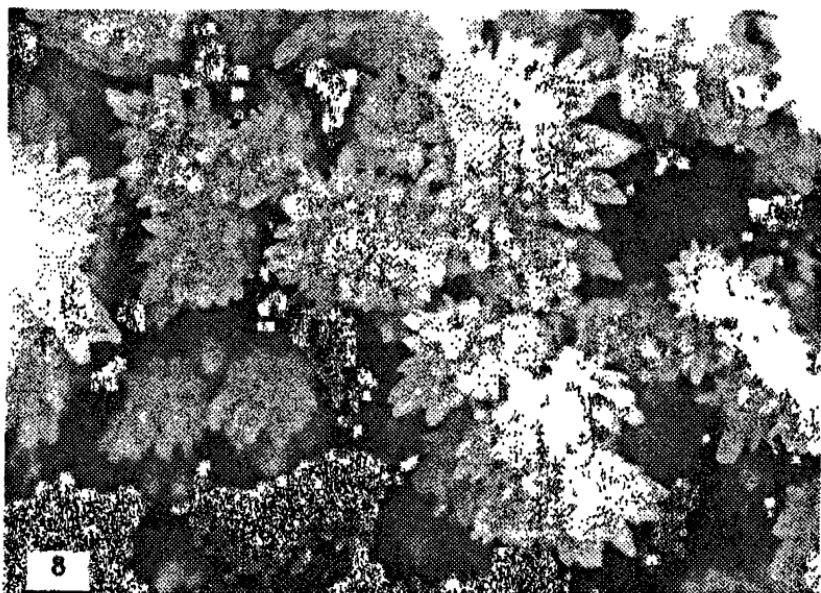


6

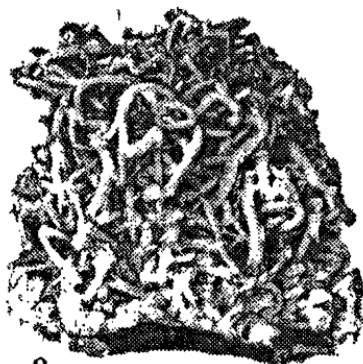


7

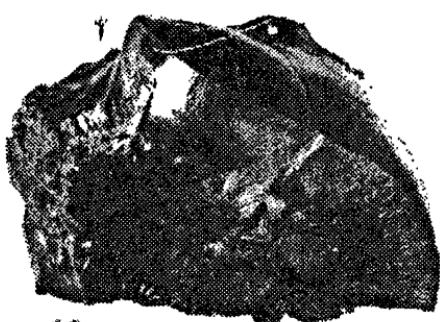
Продолжение рис. 12



8



9



10

- Продолжение рис. 12:*
- 1 - почковидный агрегат малахита;
  - 2 - почковидный агрегат хальцедона;
  - 3 - почковидный агрегат малахита в разрезе, с концентрическим зональным строением;
  - 4 - сталактиты хальцедона;
  - 5 - сосулькообразный гетит;
  - 6 - натечный агрегат самородной серы;
  - 7 - колломорфный полосчатый агрегат сфалерита;
  - 8, 9 - ветвистые агрегаты арагонита (железные цветы);
  - 10 - почковидный агрегат гетита.

# I.3. КОЛЛОИДНЫЕ РАСТВОРЫ И КОЛЛОИДНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Коллоидные растворы широко распространены в природе, они образуются во всех эндогенных и экзогенных процессах, однако особенно они характерны для последних. Коллоидный раствор представляет гетерогенную (разнородную) систему, состоящую из дисперсионной среды, играющей роль растворителя, и дисперсной фазы, играющей роль растворенного вещества. Размер частиц дисперсной фазы (мицелл) колеблется от  $10^{-8}$  до  $10^{-7}$  см. Если размер частиц менее  $10^{-7}$  см, то раствор называется истинным, а если более  $10^{-5}$  см, гетерогенная система относится к извessям. Коллоидные растворы могут быть золями и гелями. В золях резко преобладает дисперсионная среда над дисперсной фазой, в гелях, наоборот, преобладает дисперсная фаза. Золь представляет макроскопически однородную систему, но в отличие от истинных растворов, в ней четко проявляется известный в физике эффект Тиндаля, обусловленный рассеянием светового луча мицеллами. Этот эффект, например, можно наблюдать при проектировании кинофильма на экран в зрительном зале. Дисперсная фаза и дисперсионная среда в природе могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Твердые называются кристалловолями, в них дисперсионной средой является кристаллическое вещество. Жидкие носят название гидрозоли или гидрогели, дисперсионная среда в них представлена водой, а дисперсная фаза может быть различной. Газообразные дисперсионная среда и дисперсная фаза называются аэрозолями воздух, содержащий взвешенную пыль, обуславливающую эффект Тиндаля. К наиболее распространенным коллоидным системам относятся гидрозоли и гидрогели, в которых формируются коллоидные минералы.

Мицеллы всегда электрически заряжены, причем мицеллы одного и того же вещества имеют одинаковый заряд и потому они могут находиться во взвешенном состоянии длительное время. Так, например, мицеллы гидратов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$  имеют положительный заряд, а  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}_4$ , тинистые,  $\text{As}$ ,  $\text{PbS}$ ,  $\text{Si}_2\text{S}_3$ ,  $\text{MnO}_2$  - отрицательный. Если электрический заряд нейтрализуется, то происходит слипание частиц, их агрегация, и они скакдаются. Такой процесс перехода золя в гель называется коагуляцией. В органических коллоидах возможен обратный переход геля в золь (пептизация геля), так всем известный столярный клей может многократно быть и золем (жидкий клей) и гелем.

(высохший клей). В неорганических коллоидах пептизация невозможна. Образующийся в результате коагуляции осадок, гель, стареет, что выражается в его обезвоживании (дегидратации) и раскристаллизации. Так, типичный гель представляет собой минерал опал  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  - дегидратируется, раскристаллизовывается и превращается в скрытокристаллический агрегат халцедона  $\text{SiO}_2$ . В природе нейтрализация зарядов мицелл может быть обусловлена несколькими причинами, в том числе перемешиванием золей, мицеллы которых несут противоположный заряд, вынос растворов в среду, богатую электролитами (приусьтевые насти рек, впадающих в морской бассейн), спонтанная (самоизвестная) коагуляция, обусловленная потерей дисперсионной среды, например, вследствие испарения, и другими причинами.

В результате коагуляции золей формируются специфические минеральные агрегаты, называемые колломорфными. К ним относятся различные натечные формы, приобретающие вследствие раскристаллизации радиально-лучистое или параллельно-волокнистое строение. Особенно характерны колломорфные агрегаты для экзогенных концентраций железа, марганца, алюминия. Для минералов коллоидного происхождения типично высокое содержание примесных элементов, что обусловлено их сорбцией коллоидным веществом. Это явление объясняется высокой поверхностной энергией мицелл, имеющих очень большую суммарную поверхность. Показать зависимость суммарной поверхности мицелл можно таким примером. Площадь 1 кубического сантиметра вещества равна 6  $\text{cm}^2$ , однако, если раздробить его до размера мицелл коллоида, то их суммарная поверхность будет составлять 6000  $\text{m}^2$  при общем объеме массы 1  $\text{cm}^3$ . В колломорфных образованиях алюминия всегда отмечается высокое содержание галлия, а в аналогичных образованиях железа - ванадия, марганца, кобальта.

К коллоидным производным относятся полосчатые агрегаты цинковых руд, сложенных сфалеритом  $\text{ZnS}$  (рис.12.7), руд олова, представленных кассiterитом  $\text{SnO}_2$ . В экзогенных условиях широко распространены коллоидные образования обычных и лечебных грязей, сапропели и др.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите причины окраски минералов. Какие выделяются виды окраски минералов? Приведите примеры.
2. Что понимается под чертой минерала? Как она определяется?
3. Какие виды блеска известны у минералов?
4. Как определяется твердость минерала? Назовите минералы шкалы Мооса.
5. Что называется спайностью? Чем отличается спайность от отдельности?
6. Назовите особенности морфологии природных кристаллов минералов. Перечислите известный Вам облик природных кристаллов.
7. Перечислите наиболее распространенные в природе агрегаты минералов.
8. Что понимается под зернистым агрегатом минералов? Приведите его разновидности.
9. Что понимается под друзой кристаллов? Чем отличается друзья от двойниковых срастаний кристаллов?
10. Назовите разновидности натечных агрегатов, условия их образования.
11. Чем конкреция отличается от секреции?
12. Назовите примеры образования минералов из коллоидных растворов.

## 4. ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

По источнику энергии все природные процессы минералообразования объединяются в две группы: 1) эндогенные - источник энергии находится в глубинах Земли; 2) экзогенные - источником энергии является лучистая энергия Солнца.

### 4.1. ЭНДОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Эндогенные процессы протекают в условиях повышенных температур и давлений в глубоких частях планеты. Все они в той или иной степени связаны с эволюцией магматического расплава и ее продуктами, поэтому эти процессы называют магматогенными. Мagma представляет силикатный расплав, спонтанно образующийся в глубоких частях планеты в области так называемого первичного очага. Она содержит такие петрогенные элементы, как Si, Al, Ca, Mg, Fe, Ti, K, Na, летучие компоненты - Cl, F, H<sub>2</sub>O, B, S и др., незначительные количества тяжелых металлов Cu, Pb, Zn, Mo, As, Sb, Ta, Nb, U и др. Своеобразна роль летучих компонентов, наличие которых снижает вязкость магмы, делает ее более подвижной и снижает температуру кристаллизации, т.е. удлиняет продолжительность кристаллизации. Под воздействием тектонических напряжений магма может быть выжата из первичного очага, при этом при интенсивных напряжениях она может быть выжата на поверхность Земли. Здесь она теряет летучие компоненты, и магма, лишенная летучих, называется лавой. Быстро затвердевая, лава образует излившиеся горные породы, или эфузивы, а процесс этот называется эфузивным. Если тектонические напряжения невелики, то магма остается в литосфере в области вторичного магматического очага, где она медленно охлаждается и проходит через несколько этапов эволюции. Схематически процесс эволюции магмы показан на рис.13.

К эндогенным процессам относятся следующие: 1. Собственно магматический. 2. Пегматитовый. 3. Гидротермальный. 4. Контактовый. 5. Региональный метаморфизм. Первые четыре процесса связаны непосредственно с деятельностью магмы. Региональный метаморфизм принципиально отличается от всех эндогенных процессов, и логично описание его привести после характеристики экзогенных процессов, т.к. наиболее типично он проявляется в продуктах экзогенных процессов.

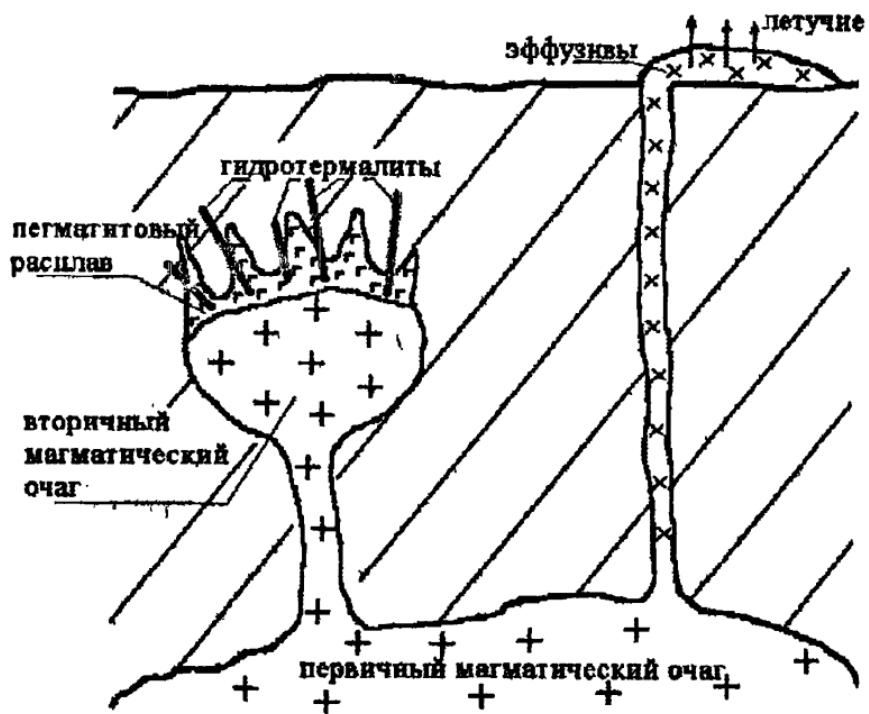


Рис. 13. Схема эволюции магматического расплава

#### 4.1.1. МАГМАТИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Магматический процесс включает в себя отмеченный выше эффициентный (поверхностный) и интрузивный (глубинный), связанный с эволюцией магмы во вторичном магматическом очаге. Интрузированная магма взаимодействует с вмещающими породами, вследствие чего в результате асимиляции (усвоения и плавления) последних может изменяться химический состав магмы. Такой расплав называется **контаминированным**. Кристаллизация его приводит к формированию контаминированных пород, содержащих необычные для данной породы минералы (например, дистен в граните) или гибридные породы, обладающие своеобразным минеральным составом. До начала кристаллизации в магме может развиваться процесс увеличения удельного веса с глубиной, который называется **гравитационной дифференциацией** и протекает в тектонически спокойных условиях. Температура интрузированной магмы выше температуры пород вмещающей рамы, поэтому магма медленно остывая

отдает тепло вмешающим породам. По мере охлаждения в расплаве начинается кристаллизация наиболее тугоплавких минералов (ширкон, окислы, оливин и др.). Выкристаллизовавшиеся минералы движутся вниз, при этом они или могут накапливаться на дне камеры, или же, попадая в более прогретые части, вновь расплавляются и изменяют химический состав расплава. Такое изменение состава магмы называется *кристаллизационной дифференциацией*. В результате кристаллизации магмы образуются интрузивные горные породы, многие ценные минералы – платиноиды, алмаз, а также пентландит, халькопирит, пирротин, магнетит, хромшпинелиды и др. Интрузивные горные породы по содержанию  $\text{SiO}_2$  классифицируются на 4 группы: ультраосновные (30-45%), основные (45-53%), средние (53-64%), кислые (64-78%). По окончании магматического процесса в магматической камере накапливается остаточный силикатный пегматитовый расплав, обогащенный газообразными летучими компонентами, которые придают расплаву достаточную подвижность и приводят к развитию следующего процесса – пегматитового.

#### 4.1.2. ПЕГМАТИТОВЫЙ ПРОЦЕСС

Пегматитовый процесс связан с кристаллизацией остаточного силикатного расплава, формирующегося по мере кристаллизации магмы. Поскольку остаточный расплав обогащен летучими ( $\text{H}_2\text{O}$ , F, Cl, B, S, P,  $\text{CO}_2$  и др.), не вошедшими в породообразующие минералы, кристаллизация продолжается достаточно длительное время, в условиях более низких температур, и образуются своеобразные породы – пегматиты. Генетически пегматиты связаны со всеми группами магматических пород, однако наиболее распространены пегматиты кислых пород (гранитные) и щелочных (нефелиновые), причем доминируют гранитные пегматиты.

На образование гранитных пегматитов существует две группы гипотез. Согласно первой все химические элементы имеются в остаточном (пегматитовом) расплаве, поэтому минеральный состав пегматитов обусловлен химизмом расплава. Вторая группа гипотез генезис пегматитов объясняет как результат метасоматической переработки материнских пород специфичными флюидами.

Пегматитовый расплав накапливается в апикальной (верх-

и) части магматической камеры. Формирование пегматитовых тел может происходить «*in situ*», т.е. в пределах области его скопления, если тектонические условия были спокойными, или расплав может быть выжат во вмещающие породы, если на данном участке земной коры имели место тектонические подвижки.

В зависимости от характера взаимодействия остаточного расплава с вмещающими породами выделяют два типа пегматитов: 1) пегматиты чистой линии; 2) пегматиты линии скрещивания. Первый тип пегматитов формируется в условиях отсутствия асимиляции расплавом вмещающих пород, и минеральный состав их близок к материнской породе. Пегматиты линии скрещивания отличаются специфическим минеральным составом, обусловленным влиянием химизма асимилированных пород вмещающей рамы. Типичными представителями их являются десилицированные пегматиты, залегающие в обедненных кремнеземом породах (ультраосновные, карбонатные), лишенные кварца и содержащие полевой шпат, корунд.

Своеобразие пегматитов, как гранитных, так и щелочных, заключается, во-первых, в величине слагающих их кристаллов и, во-вторых, в разнообразии видового состава минералов.

Значительные размеры кристаллов являются характернейшей чертой пегматитов. Благодаря обилию летучих компонентов, в первую очередь  $H_2O$ , наличию в пегматитах пустот («занорышей»), а также благоприятным физико-химическим условиям кристаллизации, в пегматитах вырастают крупные, иногда достигающие



Рис.14. Призматический кристалл кварца, минералогический музей ТГУ

гигантской величины совершенные кристаллы как одиночные, так и в форме друз. В минералогическом музее ТПУ среди многочисленных экспонатов привлекают внимание крупные кристаллы из различных месторождений пегматитов России и зарубежных стран. Призматический кристалл кварца серовато-белого цвета с идеально развитыми гранями трапециэдра и ромбозадра, размер его 70x20 см, вес около 20 кг, доставлен из месторождения пегматитов Северного Урала (рис.14);



параллельный сросток призматических кристаллов с общей головкой тригональной пирамиды полихромного турмалина, окраска которого изменяется по удлинению и в поперечном сечении от густо-малиновой, бледно-розовой, бесцветной до зеленой, размер сростка 20x5 см, доставлен из пегматитов Шерловая гора (ЮВ Забайкалье) (рис.15). Среди кристаллов-гигантов известны, например, кристаллы сподумена весом около 100 т, пластины слюды до 5-7 кв.м, кристаллы берилла весом до 18т и многие другие.

Рис.15. Призматический сросток кристаллов полихромного турмалина, минералогический музей ТПУ

Видовой состав минералов пегматитов весьма разнообразен, что обусловлено концентрацией в остаточном расплаве,

кроме летучих, различных химических элементов, не вошедших в состав минералов магматического происхождения. К ним, например, относятся такие, как Mo, Sn, Zr, Ti, Li, Rb, Be, Th, U и другие. Число минералов в транитных пегматитах превышает 300, среди которых многочисленные редкие минералы - циркон, пирохлор, фенакит, топаз, турмалин, берилл, сподумен, редкие рудные - колумбит-танталит, редкоземельные минералы.

#### 4.1.3. ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

По окончании пегматитового процесса в магматической камере концентрируются перегретые водяные пары и другие соединения, в том числе тяжелых металлов - Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, As, Sb, Hg и т.д. По имеющимся трещинам вмещающих пород газы образные соединения движутся в область более низкого давления (и более низких температур), по мере охлаждения конденсируются и превращаются в горячие водные растворы, которые на-

зываются гидротермальными. Гидротермальные растворы (гидротермы) содержат химические элементы, вынесенные из магматической камеры, а также вышелоченные из вмещающих пород в процессе их циркуляции. Состав воды гидротерм неоднороден, т.к. содержит разнообразные по происхождению виды воды: 1) магматическую (ювенильную); 2) метеорную (водозовую) - поверхностную воду, мигрирующую в глубокие части планеты, где она прогревается и выщелачивает часть химических элементов вмещающих пород; 3) метаморфогенную воду (природа этой воды рассматривается в главе региональный метаморфизм); 4) захороненную (коровую) в осадочных толщах. Следовательно, и состав воды гидротермальных растворов, и состав растворенного в них вещества гетерогенны.

По мере движения гидротермы остывают и из них происходит отложение минералов, которые заполняют трещины пород и формируют гидротермальные жилы. По температуре образования среди гидротермальных минералов выделяют высокотемпературные (гипотермальные) (более 350°C), среднетемпературные (мезотермальные) 200° - 300°C, низкотемпературные (эпигермальные) 200° - 50°C. К высокотемпературным минералам относится серый кварц, вольфрамит, кассiterит и др., к среднетемпературным - галенит, сфалерит, гематит, сульфосоли, молочно-белый кварц, барит, флюорит и др., к низкотемпературным - халцедоновидный кварц, антимонит, киноварь, аурипигмент, реальгар, алунит и др. В зависимости от химического состава магмы и вмещающих пород формируются многочисленные ассоциации жильных и рудных минералов, выделяемых под названием минеральных формаций (или парагенетических ассоциаций). Они характеризуют весь диапазон температур от высоко- до низкотемпературных условий.

Иногда этот процесс называют пневматолитогидротермальным или даже выделяют стадию пневматолиза. Это обусловлено тем, что отделению перегретых водных растворов предшествует очень краткий этап выделения летучих, сопровождающийся формированием обогащенных летучими компонентами минералов, например, мусковита, турмалина, топаза, скаполита и др. В этих условиях в зальбандах таких пневматолитовых тел, залегающих в гранитах, образуются грейзеновые оторочки, сложенные кварц-мусковитовым агрегатом, иногда содержащим турмалин, берилл и его разновидность изумруд, топаз, молибденит, флюорит и другие минералы. Грейзены слагают заль-

банды (боковые поверхности вмещающих пород) высокотемпературных кварцевых жил. Вследствие кратковременности пневматолиза и незначительной его продуктивности вряд ли целесообразно выделять самостоятельный этап эволюции магматического расплава, тем более, что нет надежных критериев диагностики пневматолитовых и высокотемпературных гидротермальных минералов (например, кассiterита, турмалина, молибдита).

#### 4.1.4. КОНТАКТОВЫЙ ПРОЦЕСС

Под контактовым процессом понимается взаимодействие магмы с вмещающими породами (с породами рамы). Контактовый процесс развивается в узких зонах вокруг изверженного тела и поэтому относится к локальному, протекающему в пределах контактовой зоны (или контактового ореола). Породы различают эндоконтактовые, сформировавшиеся за счет изверженной (материнской), и экзоконтактовые + сложены измененными породами вмещающей рамы. Мощность контактowego ореола колеблется в широких пределах - от нескольких сантиметров до первых километров и зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются следующие: размер изверженного тела и, следовательно, запас тепловой энергии; характер контакта - в случае крутопадающего контакта мощность ореола небольшая, пологопадающий контакт благоприятствует развитию мощной зоны; петрографический состав вмещающей рамы + карбонатные и известковистые породы слагают мощный ореол, в то время как кремнистые породы испытывают незначительные изменения.

Различают два типа контактowego процесса: 1) контактовый метаморфизм; 2) контактовый метасоматоз (метасоматизм).

**Контактовый метаморфизм** протекает в условиях отсутствия обмена веществом между контактирующими породами (в условиях так называемой закрытой физико-химической системы), т.е. изменение изохимическое + изменяется минеральный состав породы при сохранении или очень мало изменяющемся химическом составе. В результате имеет место раскристаллизация аморфного известняка и превращение его в кристаллический мрамор, кластические породы превращаются в роговики. Главный фактор этого процесса + высокая температура инъициированной магмы.

Сложнее протекает **контактовый метасоматоз**, обусловленный обменом веществом как магматического расплава, так и мешающих пород, т.е. протекающий в условиях открытой физико-химической системы.

В начальной стадии этого процесса из магматической камени во вмещающие породы поступают такие избыточные компоненты как  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и др., пропитывающие и реагирующие с породами рамы. В результате вокруг изверженного тела, также как и при контактовом метаморфизме образуется непрерывная зона измененных пород. В случае метамата образуется зона **доскарновых метасоматических роговиков**, обычно имеющих светлую окраску. В зависимости от физико-химических условий минеральный состав такого ореола изменяется. Преобладающие минералы этих роговиков альбит, клиноцизит, гроссуляр, диопсид, кварц, актинолит и др. Сли вмещающие породы представлены доломитом или магнезиолитом, то в этих условиях формируются так называемые **магнезиальные скарны магматической стадии**, содержащие форстенит, шпинель, серпентин, диопсид и другие магнезиальные минералы.

Вторая стадия контактowego метасоматоза начинается после того, когда в эндоконтактной зоне закристаллизовалась магма и появились твердые горные породы (граниты, гранодиориты). В спокойных тектонических условиях в области контакта формируется зона повышенной трещиноватости, которая контролирует поступление из глубоких частей магматического очага специфических скарнирующих растворов, содержащих  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Скарнирующие растворы, взаимодействуя с изверженной породой, образуют эндоскарны (автокарны), реагируя с вмещающими - экзоскарны (аллоскарны). Карты сложены темными тяжелыми силикатами - андрадитом, еденбергитом, эпидотом, везувианом и др. **Скарны** не образуют непрерывного ореола вокруг интрузивного тела. Их форма, положение в пространстве определяется тектонической трещиноватостью скарнируемых пород. С формированием скарнов связанны некоторые месторождения вольфрама (шебелитовые), однако, многие рудные месторождения (железа, меди и др.) обязаны заложенному более позднему гидротермальному процессу.

На генезис скарнов имеется и другая гипотеза, предложенная Д.С.Коржинским и получившая название **биметасоматоза**. Согласно этой гипотезе скарнирующие растворы способствуют

банды (боковые поверхности вмещающих пород) высокотемпературных кварцевых жил. Вследствие кратковременности пневматолиза и незначительной его продуктивности вряд ли целесообразно выделять самостоятельный этап эволюции магматического расплава, тем более, что нет надежных критериев диагностики пневматолитовых и высокотемпературных гидротермальных минералов (например, кассiterита, турмалина, молибдита).

#### 4.1.4. КОНТАКТОВЫЙ ПРОЦЕСС

Под контактовым процессом понимается взаимодействие магмы с вмещающими породами (с породами рамы). Контактовый процесс развивается в узких зонах вокруг изверженного тела и поэтому относится к локальному, протекающему в пределах контактовой зоны (или контактового ореола). Породы различают эндоконтактовые, сформировавшиеся за счет изверженной (материнской), и экзоконтактовые - сложены измененными породами вмещающей рамы. Мощность контактowego ореола колеблется в широких пределах - от нескольких сантиметров до первых километров и зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются следующие: размер изверженного тела и, следовательно, запас тепловой энергии; характер контакта - в случае крутопадающего контакта мощность бреола небольшая, пологопадающий контакт благоприятствует развитию мощной зоны; петрографический состав вмещающей рамы - карбонатные и известковистые породы слагают мощный ореол, в то время как кремнистые породы испытывают незначительные изменения;

Различают два типа контактового процесса: 1) контактовый метаморфизм; 2) контактовый метасоматоз (метасоматизм).

**Контактовый метаморфизм** протекает в условиях отсутствия обмена веществом между контактирующими породами (в условиях так называемой закрытой физико-химической системы), т.е. изменение изохимическое + изменяется минеральный состав породы при сохранении или очень мало изменяющемся химическом составе. В результате имеет место раскристаллизация аморфного известняка и превращение его в кристаллический мрамор, кластические породы превращаются в роговики. Главный фактор этого процесса - высокая температура инъектированной магмы,

Сложнее протекает **контактовый метасоматоз**, обусловленный обменом веществом как магматического расплава, так и вмещающих пород, т.е. протекающий в условиях открытой физико-химической системы.

В начальной стадии этого процесса из магматической каменистые во вмещающие породы поступают такие избыточные компоненты как  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и др., пропитывающие и реагирующие с породами рамы. В результате вокруг изверженного тела, также как и при контактовом метаморфизме образуется непрерывная зона измененных пород. В случае метасоматоза образуется зона доскарновых метасоматических роговиков, обычно имеющих светлую окраску. В зависимости от физико-химических условий минеральный состав такого ореола изменяется. Преобладающие минералы этих роговиков альбит, клиноцизит, гроссуляр, диопсид, кварц, актинолит и др. Если вмещающие породы представлены доломитом или магнезитом, то в этих условиях формируются так называемые магнезиальные скарны магматической стадии, содержащие форстерит, шпинель, серпентин, диопсид и другие магнезиальные минералы.

Вторая стадия контактового метасоматоза начинается после того, когда в эндоконтактной зоне закристаллизовалась магма и появились твердые горные породы (граниты, гранодиориты). В неспокойных тектонических условиях в области контакта формируется зона повышенной трещиноватости, которая контролирует поступление из глубоких частей магматического очага специфических скарнирующих растворов, содержащих  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Скарнирующие растворы, взаимодействуя с изверженной породой, образуют эндоскарны (автоскарны), реагируя с вмещающими - экзоскарны (аллоскарны). Скарны сложены темными тяжелыми силикатами - андрадитом, геденбергитом, эпидотом, везувианом и др. Скарны не образуют непрерывного ореола вокруг интрузивного тела. Их форма, положение в пространстве определяется тектонической трещиноватостью скарнируемых пород. С формированием скарнов связаны некоторые месторождения вольфрама (шеелитовые), однако, многие рудные месторождения (железа, меди и др.) обязаны наложенному более позднему гидротермальному процессу.

На генезис скарнов имеется и другая гипотеза, предложенная Д.С.Коржинским и получившая название биметасоматоза. Согласно этой гипотезе скарнирующие растворы способствуют

взаимной метасоматической реакции контактирующих пород, причем реакционные свойства химических элементов нёодинаковы, вследствие чего выделяют инертные и подвижные элементы, составляющие ряд подвижности. Таким образом, предложен иной механизм формирования скарнов, однако, конечные продукты этого процесса остаются теми же самыми.

В зависимости от петрографического состава вмещающих пород изменяется минеральный состав скарнов. В тех случаях, когда породы рамы представлены известняком (или мрамором), формируются известковые скарны, сложенные андрадитом, диопсидом, геденбергитом, везувианом, эпидотом и другими силикатами. Если же вмещающие породы представлены доломитом, магнезитом и другими богатыми Mg минералами, то продолжается отмеченное выше образование магнезиальных скарнов со специфическим парагенезисом минералов. Однако, в заключение скарнирования на магнезиальные скарны, как правило, накладывается стадия известковых скарнов, маскирующая наличие первых.

## 4.2. ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Как отмечено выше, экзогенные процессы развиваются в условиях небольших температур и давлений поверхности Земли, источником энергии которых служит лучистая энергия Солнца. К экзогенным процессам относятся: 1. Процессы выветривания, 2. Процессы седиментации.

### 4.2.1. ПРОЦЕССЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Процессы выветривания протекают в своеобразных физико-химических условиях, и специфика их состоит в том, что они непрерывны. Все остальные процессы дискретны (прерывисты). В результате выветривания формируется зона выветрелых пород, называемая корой выветривания, мощность которой зависит от многих причин - климатических условий, минерального состава пород, тектоники района, рельефа. В благоприятных условиях мощность коры выветривания может достигать нескольких сот метров и даже первых километров; в горных районах и в условиях нивального (арктического) климата она может отсутствовать.

Процессы выветривания объединяются в две группы; 1) фи-

**ическое выветривание; 2) химическое выветривание.**

Иногда кроме физического и химического типов выделяют граническое, связанное с жизнедеятельностью организмов, однако, в этом нет необходимости, т.к. их деятельность частично ходит в физическое (дезинтеграция пород и минералов корнеи системой растения) и частично - в химическое выветривание (действие органических кислот, выделяемых растениями).

**Физическое выветривание** происходит под воздействием одного из главного фактора - изменения температуры замерзания и оттаивания воды в трещинах горных пород. В результате физического выветривания происходит дезинтеграция породы без изменения её химического состава. Так, например, гранит превращается в рыхлый зернистый агрегат кварца и полевого шпата, называемый гранитной дресвой, плотный жильный кварц трансформируется в кварцевый песок. В тех случаях, когда физическому выветриванию подвергаются эндогенные месторождения, сложенные устойчивыми минералами, образуются россыпные месторождения (россыпи) золота, циркона, ильменита и других тяжелых, механически стойких минералов.

**Химическое выветривание** развивается под воздействием многих факторов - воды, как универсального растворителя, кислотности-щелочности среды, ее окислительно-восстановительных условий, воздействия гумусовых кислот,  $\text{CO}_2$  и т.д. Сущность химического выветривания заключается в том, что эндогенные минералы, образовавшиеся в условиях повышенных температур и давлений, становятся неустойчивыми в экзогенных условиях, поэтому они разлагаются и трансформируются в новые, устойчивые в новых условиях. Широко распространены карбонатизация, гидратация продуктов выветривания, почти на 50% увеличивается их объем и соответственно уменьшается объемный вес образующихся минералов.

К химическому выветриванию относится **зона окисления сульфидных месторождений**, которая представляет своеобразную кору выветривания, формирующуюся на выходах на дневную поверхность сульфидных тел в условиях интенсивных процессов окисления, восстановления, растворения и переотложения. Схема окисления сульфидного месторождения представлена на рис.16.

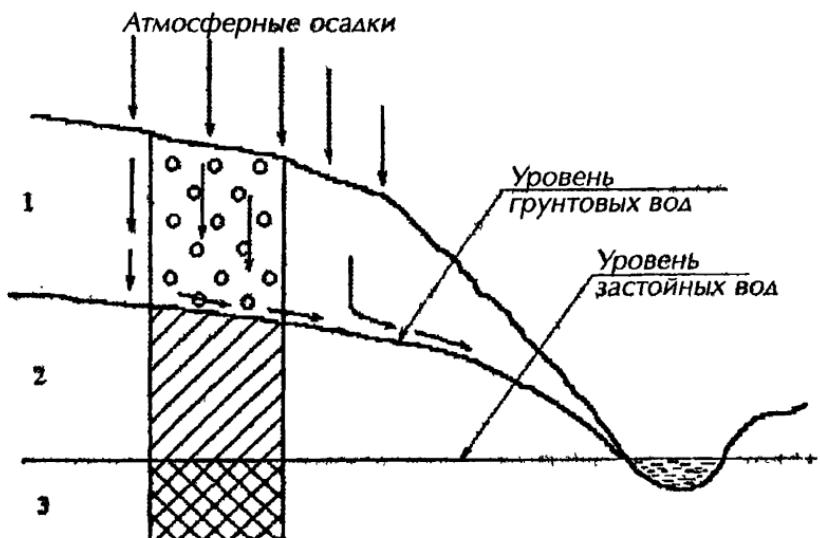


Рис.16. Строение зоны окисления сульфидного месторождения:

- 1 - собственно зона окисления;
- 2 - зона вторичного сульфидного обогащения (зона цементации);
- 3 - зона первичных неокисленных руд

В вертикальном разрезе выделяют три зоны: 1 - собственно зона окисления; 2 - зона вторичного сульфидного обогащения (зона цементации); 3 - зона первичных неокисленных руд. Граница между 1 и 2 зонами определяется уровнем грунтовых вод, а между 2 и 3 зонами - уровнем застойных вод.

**Зона 1**, верхняя, располагается близко к дневной поверхности, нижней ее границей является уровень грунтовых вод, представляющий верхний горизонт ненапорных подземных вод, дренаж которых контролируется местным базисом эрозии (уровнем воды в реке). В пределах этой зоны имеющиеся полости заполнены кислородом и углекислотой воздуха, поэтому здесь интенсивно протекают процессы окисления. Сульфиды, неустойчивые в окислительной обстановке, частично или полностью переходят в сульфаты, водные или безводные окислы. Например, реакция окисления галенита  $PbS$ , сфалерита  $ZnS$ :  $PbS + 2O_2 = PbSO_4$ ,  $ZnS + 2O_2 = ZnSO_4$ . Пирит  $FeS_2$ , пройдя ряд промежуточных реакций, превращается в лимонит  $HFeO_2 \cdot nH_2O$ . Метеорные

ки в пределах зоны движутся вертикально вниз, промывают растворяют и выносят вглубь растворимые сульфаты (например  $ZnSO_4$ ,  $CuSO_4$ ), а трудно растворимые в воде соединения, первичные минералы, так и вновь образованные (например, эзит  $PbSO_4$ ), остаются на месте. Поэтому описываемая часть ода рудного тела называется *собственно зоной окисления*. Широко распространенный лимонит пропитывает и рудное о, и вмещающие породы, поэтому она часто называется же-ной шляпой (в разрезе эта часть месторождения напоминает ревернутую шляпу).

**Зона 2** располагается ниже уровня грунтовых вод, а ни-ей ее границей является уровень застойных вод (расположен-ный ниже местного базиса эрозии). Свободных пустот здесь нет,

они заполнены водой, свободный кислород отсутствует, по-тому здесь сохраняется *восстановительная обстановка*, в оторой устойчивы первичные сульфиды. Рудничные воды пер-вой зоны, достигнув уровня грунтовых вод, меняют свое направ-ление движения на горизонтальное и движутся к местному бази-эрозии. Вторичные сульфаты, достигнув второй зоны, стано-ятся неустойчивыми и трансформируются во вторичные суль-фиды, которые цементируют имеющиеся в этой зоне первичные льфиды. Например,  $CuSO_4 \rightarrow CuS + 2O_2$ . Эта часть место-рождения наиболее богата рудными минералами, т.к. здесь име-ются и первичные и вторичные сульфиды. Последние представ-ены, главным образом, сульфидами меди, такими как халькозин  $Cu_2S$ , ковеллин  $CuS$ , борнит  $Cu_5FeS_4$ . Описываемая зона, обога-щенная вторичными сульфидами, называется *зоной вторично-го сульфидного обогашения (или зоной цементации)*.

В зоне 3, расположенной ниже уровня застойных вод, со-храняется восстановительная обстановка, т.е. устойчивы первичные сульфиды. Зона называется *зоной первичных руд*.

Такой разрез зоны окисления характерен для условий ста-бильности уровня грунтовых вод. Однако, если этот уровень по-нижается, то снижается и нижняя граница собственно зоны окисления и окислению подвергается верхняя часть зоны цемен-тации, вследствие чего формируется зона *вторичного окисно-го обогашения*. Типичные минералы ее - самородная медь, ку-прит  $Cu_2O$ , тенорит  $CuO$ .

## 4.2.2. ПРОЦЕССЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ

Эти процессы часто носят названия процессов аккумуляции или седиментации. Они включают в себя две стадии - стадию переноса (транспорта) продуктов выветривания и стадию накопления осадков. Транспортировка может осуществляться на разные расстояния, иногда эта стадия может отсутствовать, а продукты выветривания остаются на месте и они называются элювием. Однако, подавляющая часть продуктов выветривания участвует в переносе к месту аккумуляции (накопления). Такой перенос может происходить в воздушной и, главным образом, в жидкой среде как на поверхности суши, в отрицательных формах рельефа, так и, преимущественно, в водных бассейнах - морях, океанах, озерах, реках. Выветривание, транспорт и аккумуляция осадков благоприятствует выработке равновесной формы планеты, называемой геоидом.

Все продукты седиментации объединяются в четыре группы:  
1) механические осадки; 2) химические осадки; 3) биогенные;  
4) инфильтрационные.

**Механические осадки** представляют продукты физического выветривания и сложены устойчивыми в условиях выветривания минералами - кварцем, магнетитом, ильменитом, монацитом, цирконом и другими. К ним относятся как устойчивые породообразующие минералы коры выветривания (кварц, полевые шпаты), так и рудные минералы зоны окисления сульфидных месторождений.

К механическим осадкам относятся галечник, гравий, пески. Механические осадки, содержащие механически прочные и химически стойкие минералы, ценные в промышленном отношении, называются *rossыпями*. Примеры минералов россыпей золото, платина, серебро, алмаз, кассiterит, циркон, монацит и другие. В процессе транспортировки происходит дифференциация (разделение) продуктов выветривания по их удельным весам, что способствует обогащению осадков тяжелыми минералами. Интенсивность обогащения зависит от многих факторов - разности удельных весов рудных инерудных минералов (чем выше такая разница, тем полнее дифференциация), размеров обломков (чем крупнее обломки, тем выше степень концентрации тяжелых минералов), скорости движения воды, биоклиматических условий и т.д. При изменении физико-географической обстановки ранее отложенные осадки могут повторно перемывать-

и вследствие чего перемытые и переотложенные осадки (глины, ски) отличаются своей отсортированностью и минеральной истотой.

**Химические осадки** в генетическом отношении представляют продукты химического выветривания и подразделяются на коллоидные осадки и кристаллические осадки.

Образование коллоидных осадков обязано коагуляции коллоидного раствора, обусловленной нейтрализацией электрического заряда частиц дисперсной фазы (мицелл). Такая нейтрализация может быть обусловлена несколькими причинами, к которым относятся перемешивание коллоидных систем, мицеллы которых несут противоположные заряды, попадание коллоидного раствора в среду, богатую электролитами (в морской бассейн, вода которого всегда обогащена электролитами), спонтанная самопроизвольная коагуляция, связанная с потерей дисперсионной среды («растворителя»). Для коллоидных осадков характерны, как указывалось ранее, колломорфные, натечные, агрегаты - конкреции, оолиты, которые в результате последующей раскаристаллизации часто имеют радиально-лучистое строение. К этой подгруппе относятся гидроокислы железа, алюминия, марганца, частично фосфориты.

В морском осадочном профиле наблюдается следующее пространственное распределение аморфных коллоидных осадков. Ближе всего к береговой линии формируются гидроокислы железа, затем на большем удалении от берега, но близ зоны осадков железа - гидроокислы марганца, и в более глубоководной области - гидроокислы алюминия. По мере удаления от берега все большую роль играет углекислота, вследствие чего образуются карбонаты, например, сидерит  $\text{FeCO}_3$ .

**Кристаллические химические осадки** образуются в условиях сухого жаркого климата в замкнутых водных бассейнах - бессточных озерах, отшнурованных от моря замкнутых лагунах, заливах (типа залива Кара-Богаз-гол в Каспийском море). С течением времени в условиях интенсивного испарения концентрация растворенных веществ в водоемах увеличивается, и в них начинается кристаллизация таких галоидных соединений как галлит, сильвин, карналлит. В других условиях подобным образом образуются бораты, гипс, ангидрит, частично кальцит, доломит.

**Биогенные осадки** связаны с жизнедеятельностью организмов, которые в своем жизненном цикле накапливают некото-

рые химические элементы и их соединения. Так, известны железобактерии, концентрирующие соединения железа, серные бактерии, накапливающие серу. После отмирания организмов аккумулированные вещества накапливаются на дне водоема. Таковы месторождения самородной серы Шор-Су (Средняя Азия). Часть биогенных осадков представляет собой скопление скелетов, накопившихся на дне бассейна после отмирания организмов (частично мел, известняк, радиолярии). К биогенным образованиям относятся раковины, жемчуг, перламутр.

Формирование **инфилтратионных осадков** обусловлено инфильтрацией водных растворов, генезис которых обязан участию метеорных, грунтовых и других вод в гравитационном поле Земли, выщелачивающих компоненты кор выветривания, в том числе зон окисления сульфидных месторождений, и транспортирующих их в более глубокие части планеты. Здесь они могут реагировать или с химически более активными минералами (обычно карбонатами), или с минералами, обладающими высокими сорбционными свойствами (глинистые минералы + каолинит, монтмориллонит, иллит). К типичным минералам, генезис которых обязан механизму инфильтрации, относятся некоторые бораты (ашарит), многие минералы зоны вторичного сульфидного обогащения (ковеллин, тенорит, смитсонит, частично халькоцин).

### 4.3. РЕГИОНАЛЬНЫЙ МЕТАМОРФИЗМ

По термодинамическим условиям и источнику энергии процесс регионального метаморфизма относится к эндогенным и связан с глубокими погружениями больших участков литосферы, в пределах которых формируются водные бассейны, аккумулирующие продукты выветривания. По мере накопления осадков более древние перекрываются толщей молодых. Однако, с глубиной возрастает температура (геотермический градиент 30°/км глубины) и литостатическое давление (в среднем 278 атм/км). Вследствие этого экзогенные минералы оказываются неустойчивыми и трансформируются в новые минералы стабильные в новой термодинамической обстановке. Этот процесс получил название **регионального динамотермального метаморфизма**, протекающего в условиях отсутствия жидкой силикатной фазы. При наличии последней процесс называется **ультраметаморфизмом (палингенезом или анатексисом)**. Ус-

ожняет метаморфизм воздействие бокового давления - стресс, ледствие которого развивается параллельная ориентировка некоторых метаморфогенных минералов - слюд, амфиболов и др. Процесс этот может иметь место и в эндогенных образованиях, но проявляется он значительно слабее, т.к. такие минералы образовались в условиях повышенных температур и давлений. Принципиальное отличие регионального метаморфизма от других эндогенных процессов состоит в том, что метаморфизуемые породы попадают в среду с избытком свободной энергии, вследствие чего образующиеся минералы должны связывать этот избыток тепловой энергии. В других эндогенных процессах термодинамическая установка диаметрально противоположная, т.е. магма и продукты ее эволюции (остаточный силикатный расплав, горячие водные растворы) отдают свою тепловую энергию более холодным породам вмещающей рамы.

В зависимости от температуры и давления формируются специфичные парагенетические ассоциации минералов, называемые метаморфические фации (фация зеленых сланцев, кристаллических сланцев и т.д.). В результате дегидратации пород выделяется метаморфогенная вода, выносящая за пределы области метаморфизма избыточное тепло и растворимые соединения. Своебразными образованиями являются жилы альпийского типа, минеральный состав которых аналогичен составу вмещающих их пород. Таковы, например, белые прожилки кальцита в известковых толщах или кварцевые жилы с горным хрусталем, рутилом, гематитом в гранитных массивах. Метаморфогенная вода со своим содержимым обычно входит в состав гидротермальных растворов и может участвовать в формировании месторождений полезных ископаемых.

#### 4.4. НЕКОТОРЫЕ ПОНЯТИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МИНЕРАЛОГИИ

**Генезис** – происхождение минерала. Например, генезис сульфидов – гидротермальный, оливина – магматический и т.д.

**Парагенезис** – совокупность одновременно или близко одновременно образовавшихся минералов из одной порции расплава или раствора. Группа минералов, генезис которых обязан одному процессу, образуют парагенетическую ассоциацию. Следовательно, парагенетический анализ дает возможность представить физико-химические условия формирования мине-

ралов. Знание парагенетических ассоциаций имеет важное значение для диагностики многих минералов. Так, близкие по внешнему виду галенит  $PbS$  и антимонит  $Sb_2S_3$  легко различаются своим парагенезисом: галенит встречается в ассоциации со сфалеритом  $ZnS$ , антимонит — с киноварью  $HgS$ . В минералогии употребляется также понятие запрещенного парагенезиса, указывающего на невозможность совместного образования двух или нескольких минералов при данных условиях. Например, невозможно совместное нахождение нефелина и кварца, оливина и кварца, пентландита и кварца и др.

**Генерация минералов** — неоднократное образование одного и того же минерала в пределах одного и того же месторождения из различных порций раствора. Одни и те же минералы различных генераций отличаются морфологией кристаллов или агрегатов этого же минерала, окраской или иными особенностями, что обусловлено физико-химическими различиями среды минералообразования.

**Типоморфность минерала** — особенности минерала (химический состав, облик кристаллов, агрегаты, окраска и др.), позволяющие реконструировать физико-химические условия среды минералообразования. Приведем некоторые примеры типоморфных минералов. Флюорит  $CaF_2$  образует кубические кристаллы, если в гидротермальном растворе концентрации  $Ca$  и  $F$  были близкими, а если концентрация кальция резко превышала содержание фтора, то флюорит приобретает облик октаэдра. Сфалерит  $ZnS$ , образовавшийся в высокотемпературном гидротермальном процессе, имеет примесь  $Fe$  и характеризуется темно-бурым (до черного) цветом, низкотемпературный сфалерит обычно не содержит  $Fe$  и имеет бледно-желтую окраску.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите эндогенные и экзогенные процессы минералообразования, их принципиальные отличия по источнику энергии.

2. В чем заключается магматический процесс? Что понимается под гравитационной и кристаллизационной дифференциацией?

3. Как образуются пегматиты? Особенности минерального состава пегматитов и морфологии кристаллов пегматитов. Приведите примеры.

4. Каковы источники воды и рудного вещества в гидротермальных растворах?
5. Что такое грейзены?
6. В чем заключается контактовый процесс минералообразования?
7. В чем отличие контактового метаморфизма от контактового метасоматоза?
8. Что называется скарном? Условия образования известкового и магнезиального скарна?
9. Сущность процессов выветривания. Перечислите виды выветривания минералов и горных пород.
10. В чем отличие физического и химического выветривания?
11. Что называется корой выветривания? От чего зависит интенсивность выветривания и мощность коры выветривания?
12. Приведите пример строения зоны окисления сульфидного месторождения.
13. В чем сущность физико-химических процессов собственно зоны окисления, зоны вторичного сульфидного обогащения?
14. В чем отличие механических и химических осадков? Пример механических осадков.
15. Раскройте механизм образования коллоидных и кристаллических осадков.
16. Что называются биогенными и инфильтрационными осадками?
17. Суть процесса регионального метаморфизма.
18. Что понимается под парагенезисом, парагенетической ассоциацией и генерацией минералов? Приведите примеры.
19. Что такое типоморфизм? Приведите примеры типоморфных минералов.

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МИНЕРАЛОВ

В процессе обучения студент должен овладеть умением уверенно определять минералы, что необходимо для успешной работы будущего специалиста. Такой навык вырабатывается в процессе изучения учебных коллекций. Еще двести лет тому назад русский минералог В.М.Севергин говорил: "Чтобы знать минералы, их надо видеть и видеть часто". Известно, что академик Ферсман А.Е. всю жизнь два дня в неделю работал в минералогическом музее, а академик Смирнов С.С., крупный специалист по геологии рудных месторождений, - один день.

Во время работы с учебной коллекцией необходимо обращать внимание не на форму образца, а на комплекс физических свойств и агрегаты изучаемого минерала, чтобы с названием минерала была связана совокупность физических свойств.

Так, например, с названием минерала кварц перед мысленным взором очевидно вспомнится минерал молочно-белого цвета с несовершенной спайностью, стеклянным блеском, белой чертой, высокой твердостью, небольшим удельным весом. Естественно, в процессе обучения студент должен овладеть большим объемом информации и умело им пользоваться.

Макроскопическое определение минерала выполняется по принципу исключения. При диагностике необходимо придерживаться некоторых правил.

1. Не следует пытаться сразу назвать минерал, а затем к нему «подтянуть» свойства. Обычно такая попытка приводит к ошибке. Однако из этого правила имеется исключение: если имеется кристалл минерала, для которого можно назвать сингонию, простые формы, то минерал может быть назван сразу. Например, имеется кубический кристалл латунно-желтого цвета с металлическим блеском, своеобразной штриховкой на гранях. По этим свойствам однозначно определяется пирит.

2. Определение минерала целесообразно проводить в такой последовательности:

- По внешним признакам (цвету, блеску, агрегатам и т.д.) необходимо выделить группу похожих минералов. В такую группу может входить 5-10 минералов и более. Дело не в количестве их, главное, в ней должны входить все похожие минералы. Вот это условие принципиально важно.
- Необходимо уточнить физические свойства - определить

твёрдость, черту, характер спайности и др. По физическим свойствам из этой группы будут исключены некоторые минералы. При правильном определении в конечном счете в группе останется один минерал, отвечающий комплексу определенных свойств. Может оказаться, что по окончании определения в группе окажется 2-3 или, наоборот, не окажется ни одного минерала. Это возможно в случае, если минерал неизвестен определяющему, или же свойства диагностированы неправильно и их следует проверить еще раз.

Значительно упрощается диагностика минерала, если для него характерен специфический парагенезис или, наоборот, установлены минералы-антагонисты, исключающие друг друга. Например, отмеченный выше парагенезис сфалерита и галенита, киновари и антимонита или запрещенный парагенезис нефелина, содалита или оливины с кварцем и т.д. Поэтому в процессе определения необходимо обращать внимание на ассоциацию минералов. Особенно облегчает определение минерала наличие кристаллов. Если удалось расшифровать кристалл, т.е. установить его сингонию, простые формы, то во многих случаях этого оказывается достаточно для надежной идентификации минерала. Наконец, могут оказаться полезными такие особенности кристаллов как двойники, штриховка граней. Работа с кристаллом требует хорошего знания геометрической кристаллографии.

Отметим некоторые особенности определения физических свойств минералов.

Твердость является важнейшим диагностическим свойством. Определять ее необходимо, пользуясь эталоном 5 (обычно стеклом - 5,5), для чего нужно провести минералом по эталону. Тем самым все минералы подразделяются на минералы с твердостью меньше или больше 5. Затем, пользуясь шкалой Мооса, определяется твердость минерала. При условии, что минерал царапает эталон, а эталон царапает минерал, твердости их равны. Если минерал, допустим, царапает 3 и не царапает 4, то твердость минерала 3,5 единицы.

Спайность часто путают с гранью кристалла. Однако, в изломе кристалла в лупу можно заметить следы плоскостей спайности, а в случае грани кристалла таких следов нет.

При определении минерала полезно обращать внимание на его удельный вес по ощущению, которое он вызывает взвешива-

нием в руке. Минералы с повышенным удельным весом (барит, шеелит и др.) довольно просто диагностируются».

В качестве примера определим вкрапленники желтого минерала, имеющие металлический блеск. По зритальному впечатлению он походит на золото, бронзит, пирит, марказит, халькопирит, пирротин, пентландит. Этим закончена первая операция определения. Уточняем свойства минерала. Допустим, твердость его меньше твердости стекла (5,5). Исключаем пирит и марказит (твердость их 6-6,5). Спайность несовершенная исключены пентландит и бронзит, как имеющие совершенную и ясную спайность. Черта темная + исключено золото, обладающее блестящей чертой и ковкостью. Пусть черта минерала зеленово-черная, в этом случае исключен пирротин с серовато-черной чертой. Можно для диагностики халькопирита и пирротина проверить магнитность! Подносим определяемый минерал к магнитной стрелке + стрелка не отклоняется. Следовательно, диагностируемый минерал = халькопирит.

В прошлом существовали различные классификации минералов, преимущественно химические, в основу которых был положен химический состав. Современная классификация является кристаллохимической. Она базируется на особенностях химического состава и строения кристаллической решетки. Основой любой классификации является минеральный вид (минерал). В настоящее время известно более 3000 минералов, а включая разновидности, более 6500. Разновидности могут быть выделены на следующих основаниях: 1) особенности физических свойств например, горный хрусталь, представляющий водяно-прозрачные кристаллы кварца, исландский шпат – бесцветные кристаллы кальцита; 2) особенности химического состава, не отражающиеся на физических свойствах минерала, например, данаит – кобальтсодержащий арсенопирит; особенности химического состава и физических свойств, например, марматит – железистый сфалерит, имеющий черную окраску и темно-бурую черту.

В учебном пособии принята следующая классификация минералов. Минералы объединяются в группы. Группы входят в состав классов (иногда – в подклассы), а классы объединяются в типы.

Таким образом, в изложении материала использована нижеследующая классификация.

Тип I. Самородные элементы.

Тип II. Сульфиды, сульфосоли и их аналоги.

Класс 1. Сульфиды и их аналоги.

Класс 2. Сульфосоли.

Тип III. Галоидные соединения.

Тип IV. Окислы и гидроокислы

Класс 1. Окислы.

Класс 2. Гидроокислы.

Тип V. Соли кислородных кислот.

Класс 1. Карбонаты.

Класс 2. Сульфаты.

Класс 3. Вольфраматы и молибдаты.

Класс 4. Фосфаты, арсенаты и ванадаты.

Класс 5. Бораты.

Класс 6. Силикаты.

Тип VI. Органические соединения.

## ЧАСТЬ II. ОПИСАТЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ

### 7. ТИП I. САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В свободном состоянии встречаются более 30 химических элементов, преимущественно металлов, однако весовое количество самородных элементов невелико. Все минералы этого типа объединяются в три группы, резко различающихся по своим физическим свойствам.

1. Самородные металлы + медь, золото, серебро, платина, железо - обладают металлическим блеском, блестящей чертой, цвет которой отвечает окраске минерала, ковкостью, несовершенной спайностью.

2. Полуметаллы - висмут и мышьяк - имеют металлический блеск, слабую ковкость, серую черту и совершенную спайность, обладая многими свойствами металлов, они отличаются чертой.

3. Неметаллы + сера, графит и алмаз своими физическими свойствами не похожи на минералы двух первых групп.

Самородные металлы обладают высокой симметрией, кристаллы их принадлежат кубической сингонии, полуметаллы и неметаллы кристаллизуются в средних и низших сингониях. Металлы довольно охотно встречаются в виде дендритов.

Образование самородных металлов связано с эндогенными и реже экзогенными процессами. В условиях дневной поверхности такие металлы, как медь и железо, сравнительно легко окисляются, замешаясь вторичными минералами. Неустойчивы в этих условиях и полуметаллы. Однако, благородные металлы: золото, серебро, платина, а также неметаллы в этих условиях отличаются высокой стойкостью.

#### 7.1. САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

К самородным металлам относятся медь, золото, серебро, платина, железо. Особенности химического состава и физические свойства их приведены в табл.1.

##### МЕДЬ Cu(Ag,Au)

Парагенезис: куприт, малахит, азурит, халькозин.

Диагностика: походит на борнит (см.), никелин (см.). С поверхности обычно покрыта пленкой куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Таблица 1

Минералы обладают металлическим блеском, металлической блестящей чертой того же цвета, что и минерал, ковкостью, несовершенной спайностью (кроме железа), высоким уд. весом, твердость изменяется от 2.5 до 5

	Медь	Золото	Серебро	Платина	Железо
1	2	3	4	5	6
Химический состав и элементы-примеси	Cu(Ag,Au)	Au(Cu,Ag,Pd,Sb)	Ag(Au,Cu,Sb)	Pt(Fe,Ir,Pd,Rh)	Fe(Ni,Co,Pt)
Сингония	Кубическая				
Облик	Кристаллы редки				
Агрегаты	Неправильные пластинчатые, дендриты (рис.11), сплюшные пластины	Неправильные формы зерен, вкрашенные в кварце, (рис.11), сплюшные пластины	Перистые дендриты, тонкие пластины, листочки, неправильные зерна, дендриты, самородки	Зерна, самородки	Зерна, крупные скопления
Цвет	Медно-красный, часто с побежалостью	Золотисто-желтый	Серебряно-белый, часто с черным налетом	От серебряно-белого до стально-серого	Стально-серый
Черта	Металлическая, блестящая того же цвета, что минерал				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Блеск					
Слайдность					
Твердость					
Уд. вес	8,5	К о в и к о с т ь тяжелость, легко расплощивается в тонкие листо- чки, химически стойко	2,5 - 3 15,6 - 18,3	10,5	15 - 19 4 - 5 7,8
Другие свойства					
Генезис	В зоне окисления медино-сульфид- ных месторож- дений, редко гид- ротермальный	Гидротермаль- ный, экзогенный (россыпи)	В зоне окисления месторождений сернистых и мышьяково-су- льфидистых руд	Магматический в ультраос- новных и основных породах	
Применение	Электротехника, машиностроение	Валютный ме- талл, ювелирная промышленность, зубоврачебное дело	В сплавах с ме- дию для выделки серебряных изде- лий, monet	Химическая промышлен- ность, ковс- лирование, зу- боврачебное дело	Крупных скоп- лений не об- разует, прак- тически не используется

## **ЗОЛОТО Au(Cu,Ag,Pd,Bi,Sb)**

**Разновидности:** электрум (содержание Ag более 15%), медиистое золото (содержание меди до 20%), порпесит (палладиевое золото), висмутистое золото.

**Парагенезис:** золото всегда находится в виде вкрапленных зерен в кварце совместно с сульфидами, лимонитом, азуритом и другими минералами.

**Диагностика:** походит на пирит (см.), халькопирит (см.).

## **СЕРЕБРО Ag(Au,Cu,Sb)**

**Разновидности:** кюстелит (примесь золота до 10%), медиистое серебро, сурьмянистое серебро.

**Парагенезис:** сложные сернистые, мышьяковистые, сурьмянистые соединения разных металлов.

**Диагностика:** походит на железо (см.) и платину (см.).

## **ПЛАТИНА Pt(Fe,Jr,Pd,Rh)**

**Разновидность:** поликсен - платина, богатая примесью железа.

**Парагенезис:** оливин, хромшпинелиды, пирротин, пентландит, халькопирит.

**Диагностика:** походит на серебро, железо (см.), смальтин (см.), арсенопирит (см.), кобальтин (см.). От серебра отличается твердостью, удельным весом, химической стойкостью, магнитностью, парагенезисом.

## **ЖЕЛЕЗО (феррит) Fe(Ni,Co,Pt)**

**Парагенезис:** мономинеральные агрегаты или в ассоциации с пирротином, магнетитом. На воздухе покрывается пленкой лимонита.

**Диагностика:** походит на серебро (отличается твердостью, магнитностью, парагенезисом с лимонитом), платину (отличается удельным весом, парагенезисом с лимонитом), смальтин (см.), арсенопирит (см.), кобальтин (см.).

## **7.2. САМОРОДНЫЕ ПОЛУМЕТАЛЛЫ**

К самородным полуметаллам относятся мышьяк и висмут, физические свойства которых приведены в табл.2.

### **Мышьяк As(Sb)**

**Парагенезис:** кальцит, иногда различные по составу мышьяковистые, сурьмянистые соединения никеля, кобальта, серебра.

**Диагностика:** походит на все белые колчеданы (арсенопи-

Таблица 2

Минералы с неметаллическим блеском, темно-серой чертой, хрупкие или слабо-ковкие, твердость 2,5 - 3,5

	Мышьяк	Висмут
Химический состав и элементы-примеси	As(Sb)	Bi
Сингония	Тригональная	
Облик кристаллов	Кристаллы редки	
Агрегаты	Корки, почковидные, скорлуповатые	Вкрашения зерен, зернистые, дендриты
Цвет	В свежем изломе оловянно-белый, окисляясь, становится желто-бурым, темно-серым	Серебристо-белый с желтоватым оттенком, часто красноватая побежалость
Черта		Серая
Блеск	Металлический на окислившейся поверхности — матовый	
Спайность	Совершенная по (0001)	
Твердость	3,5	2,5
Уд. вео	5,7	9,7
Другие свойства	Хрупок	Слабо ковок
Генезис	Гидротермальный	
Применение	Встречаются редко и обычно в небольших количествах	

рит, смальтин, кобальтин) (см.), а также на серебро, железо, платину. Отличается от самородных металлов чертой и хрупкостью, от железа и платины, кроме того, отсутствием магнитных свойств.

### ВИСМУТ Bi

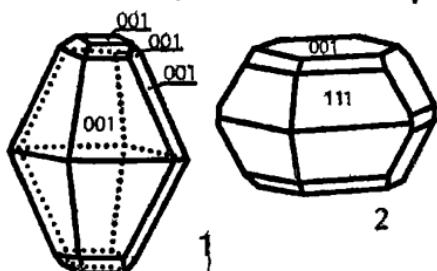
Парагенезис: висмутин, вольфрамит, касситерит и другие минералы.

Диагностика: походит на висмутин (см.).

## 7.3. САМОРОДНЫЕ НЕМЕТАЛЛЫ

К самородным неметаллам относятся сера и минералы группы углерода - графит и алмаз. Особенностью этих минералов является способность образовывать полиморфные модификации. Для самородной серы устанавливается три полиморфные модификации:  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -серы. Из них наиболее устойчива в природных условиях ромбическая  $\alpha$ -сера. Моноклинные  $\beta$ - и  $\gamma$ -серы существуют при высоких температурах (выше 100°). Группа углерода представлена двумя полиморфными модификациями - графитом и алмазом. Графит кристаллизуется в гексагональной сингонии, алмаз - в кубической. Различное расположение атомов углерода в их структурах обуславливает резко различные морфологические и физические свойства этих двух минералов (табл.3).

### СЕРА S (глинистые или органические вещества, Se)



**Парагенезис:** кальцит, гипс, целестин.

**Диагностика:** походит на аурипигмент (см.), ярозит (см.), ферримолибдит (см.), урановые слюдки (см.).

Рис.17. Усеченно-бипирамидальный облик кристаллов (1,2) серы

### ГРАФИТ С

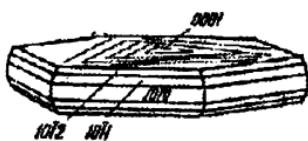


Рис.18. Кристалл графита

**Разновидности:** графитит скрытокристаллическая разность, шунгит аморфная разность.

**Парагенезис:** обычно распространен в мономинеральных агрегатах или в ассоциации с кальцитом, реже с кварцем.

**Диагностика:** походит на молибденит (см.).

### АЛМАЗ С(Mg,Fe,Ti,Cr)

**Разновидности:** борт - неправильной формы сростки и шаровидные лучистые агрегаты, карбонадо - тонкозернистые пористые агрегаты буровато-черного цвета.

**Парагенезис:** оливин, пироп, хромшпинелиды, серпентин.

**Диагностика:** похожих минералов нет.

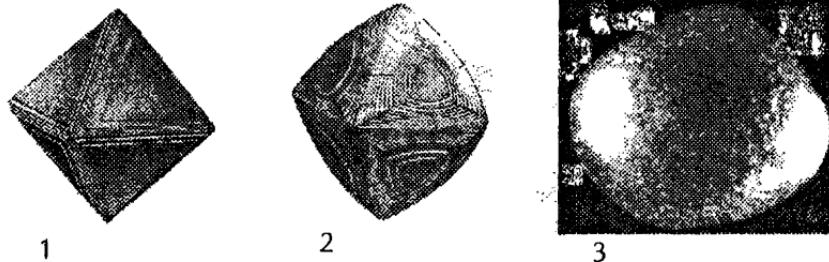
Таблица 3

Минералы обладают неметаллическим или полуметаллическим блеском, различно окрашены чертой, твердость изменяется от 1 до 10

	Сера	Графит	Алмаз
Химический состав и элементы-примеси	S (глинистые или органические вещества, Se)	C	C (Mg, Fe, Ti, Cr)
Сингония	Ромбическая	Гексагональная	Кубическая
Облик кристаллов	Усеченно-бипiramидальный (рис.17)	Пластинчатый (рис.18)	Октаэдрический (рис.19, I.1)
Агрегаты	Друзы, сплошные зернистые, напачечные, корки (рис.12.6)	Чешуйчатые, отдельные вкрашения	Вкрашения кристаллов
Цвет	Желтый с различными оттенками	Черный	Бесцветный, голубой, синий, желтый, розовый
Черта	Бледно-желтая	Темно-серая	Нет
Блеск	На гранях – алмазный, в изломе – жирный	Полуметаллический	Алмазный
Спайность	Несовершенная	по (0001)	Совершенная по (111)

Продолжение табл.3

1	2	3	4
Твердость	1 - 2	1	10
Уд. вес	2	2	3,5
Другие свойства	Хрупкая. От спички легко ломается, горит голубым пламенем с выделением $\text{SO}_2$	В тонких листочках гибок, жирен на ощупь, пишет на бумаге	В ультрафиолетовых лучах люминесцирует голубовато-синим, иногда зеленым цветом
Генезис	Экзогенный (биохимические осадки), при вулканических извержениях	Метаморфический, магматический	Магматический, в кимберлитовых трубках взрыва
Приименение	Производство серной кислоты, в сельском хозяйстве, в резиновом производстве, при изготовлении спичек	Для изготовления графитовых тиглей, в литейном деле, производство карандашей, электродов и др.	В технике как абразивный, режущий, шлифовальный материал, в алмазном бурении, в ювелирной промышленности как драгоценный камень



*Рис.19. Кристаллы алмаза:*

- 1 - октаэдрический кристалл со скульптурой роста граней (111);
- 2 - кривогранный кристалл (октаэдроид);
- 3 - шарообразный кристалл с выпуклыми гранями (111)

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте общую характеристику самородным металлам, полуметаллам, неметаллам.
2. Какой генезис и парагенезис имеют золото, платина, алмаз, сера, графит?
3. По каким признакам отличается мышьяк от серебра, железа?
4. По каким признакам отличается железо от платины?
5. Какие самородные минералы используются в ювелирной промышленности, как драгоценные камни?

## 8. ТИП II. СУЛЬФИДЫ, СУЛЬФОСОЛИ И ИХ АНАЛОГИ

Этот тип объединяет сульфиды, арсениды, сульфоарсениды, теллуриды, сульфосоли и их аналоги. Все они представляют соединения тяжелых металлов - Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Sb, Bi, Mo, Hg и др. Однако, преимущественным распространением пользуются сульфиды и сульфосоли. Экономическое значение минералов этого типа весьма велико, т.к. они представляют собой важнейший (а в ряде случаев единственный) источник тяжелых металлов (Mo, Pb, Zn, Co, Hg и др.). Все минералы этого типа обладают металлическим, полуметаллическим или алмазным блеском, темноокрашенной (реже светлоокрашенной цветной) чертой, высоким удельным весом, широким интервалом изменения твердости (от 1 до 6.5).

Образование сульфидов и их аналогов связано с гидротермальным процессом. В экзогенных условиях эти минералы мало устойчивы и легко окисляются, слагая зону окисления сульфидных месторождений.

По химическому составу и физическим свойствам минералы данного типа объединяются в два класса.

Класс 1. Сульфиды и их аналоги.

Класс 2. Сульфосоли.

### 8.1. Класс 1. СУЛЬФИДЫ И ИХ АНАЛОГИ

По особенностям физических свойств среди сульфидов и их аналогов выделяют **блески, колчеданы и обманки**.

**Блесками** называются сульфиды, имеющие свинцово-серый цвет, металлический блеск, темно-серую черту и твердость меньше 3.

**Колчеданы** обладают металлическим блеском, темноокрашенной чертой, твердостью выше 4. По окраске колчеданы подразделяются на желтые, имеющие латунно- или бронзовово-желтый цвет, красные (медно-красного цвета) и белые, имеющие оловянно-белый до стально-серого цвет.

**Обманки** по своим свойствам резко отличаются от блесков и колчеданов, за что получили свое название. Обманки имеют алмазный блеск, разнообразную окраску и черту. Твердость обманок изменяется в пределах 1.5 - 4.

По генетическим особенностям все сульфиды относятся к эндогенным, преимущественно гидротермальным, образованием, устойчивым в восстановительных условиях. При избытке кислорода сульфидная и дисульфидная сера легко окисляется до  $S^0$  или  $S^{6+}$ , а тяжелые металлы (Cu, Hg и др.) могут восстановли-

ваться до свободного состояния. Некоторые сульфиды (борнит, халькозин, пирит, марказит и др.) могут появиться в восстановительной среде в экзогенных условиях.

### 8.1.1. БЛЕСКИ

К наиболее распространенным блескам относятся халькозин, галенит, антимонит, висмутин, молибденит. Физические свойства их приведены в табл.4.

#### ХАЛЬКОЗИН (медный блеск) $\text{Cu}_2\text{S}(\text{Ag})$

Минерал слабо ковкий, поэтому след от царапания его стеклом блестящий, развалистый (как у всех ковких минералов). На воздухе халькозин покрывается синей побежалостью, становится темно-серым, а затем железо-черным.

**Парагенезис:** борнит, блеклая руда, самородная медь, куприт, малахит, азурит и другие минералы меди.

**Диагностика:** походит на блеклую руду (см.), мелкозернистый агрегат галенита - свинчак (см.).

#### ГАЛЕНИТ (свинцовый блеск) $\text{PbS}(\text{Ag}, \text{Se}, \text{Bi})$

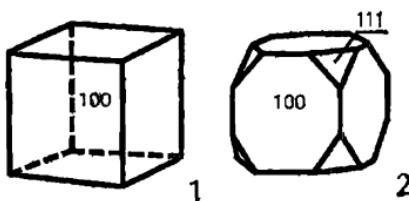


Рис.20. Кристаллы галенита:  
1 - кубический; 2 - комбинация куба (100) и октаэдра (111)

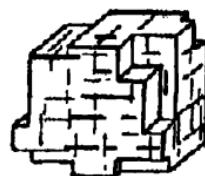


Рис.21. Совершенная спайность галенита по кубу, ступенчатый излом

Мелкозернистый агрегат галенита называется свинчаком. Чертят вследствие совершенной спайности и хрупкости минерала иногда слегка блестящая.

**Парагенезис:** сфалерит, блеклые руды.

**Диагностика:** от похожего халькозина легко отличается спайностью и ступенчатым изломом (рис.21). Походит на антимонит (см.) и висмутин (см.).

При окислении замещается англезитом и церусситом.

#### АНТИМОНИТ (сурьмяный блеск, стибнит) $\text{Sb}_2\text{S}_3$

**Парагенезис:** киноварь, низкотемпературный халцедоновидный кварц, кальцит, флюорит.

**Диагностика:** обычно антимонит путают с галенитом, от которого отличается спайностью в одном направлении, попречной штриховкой на плоскости спайности (рис. 23), прозрачными зернистыми агрегатами, отсутствием ступенчатого из-

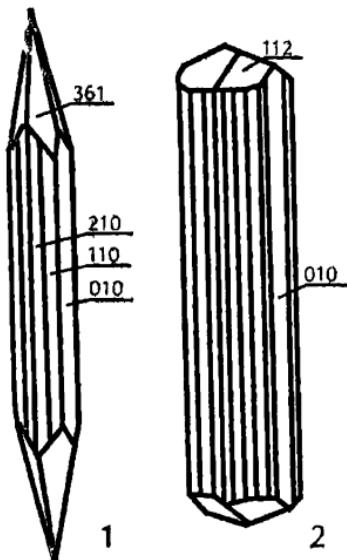


Рис.22. Игольчатый (1) и призматический (2) облик кристаллов антимонита



Рис.23. Двойниковая штриховка на плоскости спайности (100) антимонита

лома. Кроме того, антимонит походит на висмутин (см.) и сульфосоли свинца - буланжерит (см.) и джемсонит (см.). Для целей диагностики можно использовать реакцию с KOH. Капля KOH вызывает потускнение минерала и появление желтого налета.

В зоне окисления антимонит замещается охристыми минералами - валентинитом (белого или серого цвета) или сервантитом (желтого цвета).

#### **ВИСМУТИН (висмутовый блеск, бисмутин) $Bi_2S_3$**

**Парагенезис:** для висмутина характерны следующие парагенетические ассоциации:

1. Высокотемпературная - серый высокотемпературный кварц, вольфрамит, молибденит, самородный висмут, касситерит.

2. Среднетемпературная - молочно-белый кварц, халькопирит, молибденит, золото..

3. Низкотемпературная - карбонаты, барит, сульфоарсениды кобальта и никеля (кобальтин, герсдорфит), висмут, серебро, иногда урановая смолка.

**Диагностика:** висмутин походит на антимонит, галенит, джемсонит (см.) и буланжерит (см.). От антимонита отличается парагенезисом минералов, желтой побежалостью, продуктами окисления, реакцией с KOH. От галенита отличается теми же особенностями, что и антимонит. На воздухе висмутин покры-

Таблица 4  
Окраска минералов свинцово-серая, черта темно-серая, блеск металлический, твердость 1 - 3

	Халькозин	Галенит	Антимонит	Висмутин	Молибденит
1	2	3	4	5	6
Химический состав и элементы-примеси	Cu <sub>2</sub> S(Ag)	PbS(Ag, Se, Bi)	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	MoS <sub>2</sub> (Re)
Сингония	Ромбическая	Кубическая	Ромбическая	Гексагональная	
Облик	Короткопризматический, габбитчатый	Куб, октаздр, и их комбинации (рис.20, 1.2)	Длиннопризматический с продольной штриховой на гранях (рис.22, 2.2)	Пластинчатый (рис.24)	
Агрегаты	Сплошные массы, вкрашенники	Друзы, зернистые зернен	Друзы, призматические-зернистые, радиально-лучистые (рис. 7.4)	Чешуйчатые, розетковидные	
Цвет	Свинцово-серый				
Черта		Темно-серая			
Блеск			Металлический		
Спайность	Несовершенная	Совершенная по кубу (100)	Совершенная по (010)	Совершенная по (0001)	
Твердость	2 - 2,5	2,5 - 3	2 - 2,5	2 - 2,5	1
Уд. вес	5,5	7,5	4,6	6,5	5,0

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6
Другие свойства	Слабо ковок	Ступенчатый излом (рис.21)	На плоскости спайности поперечная штриховка на воздухе покрывается желтой побежалостью		При растирании на бумаге черта имеет зеленоватый оттенок
Генезис	Гидротермальный, зона окисления сульфидных месторождений			Гидротермальный	
Применение	Руда меди	Руда свинца, извлекается серебра	Руда сурьмы	Руда висмута	Руда молибдена, извлекается рений

вается желтой побежалостью. В зоне окисления замещается светло-зеленым охристым минералом - бисмитом.

### МОЛИБДЕНИТ (молибденовый блеск) $\text{MoS}_2(\text{Re})$

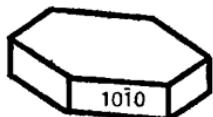


Рис. 24. Пластинчатый облик кристалла молибденита

**Парагенезис:** для молибденита характерно постоянное нахождение в кварце, и обычно в ассоциации с ним другие сульфиды встречаются редко; в пегматитах, грейзенах из сопутствующих минералов встречаются слюды, флюорит, вольфрамит, берилл, турмалин.

**Диагностика:** походит на графит. Отличается зеленым оттенком черты, появляющимся при растирании на бумаге. При растирании на пальцах графит дает матовый порошок, молибденит - блестящий. Иногда они отличаются друг от друга парагенезисом: молибденит обычно встречается с кварцем, а графит с кальцитом, значительно реже - с кварцем.

В зоне окисления замещается охристыми минералами - ферримолибдитом желтого цвета или повеллитом светло-зеленого или светло-серого цвета.

### 8.1.2. КОЛЧЕДАНЫ

Для колчеданов характерен металлический блеск, желтая, красная, белая (стально-серая) окраска, темная черта, твердость 3 - 6.5. В соответствии с окраской минералов выделены колчеданы желтые, красные и белые.

#### Желтые колчеданы

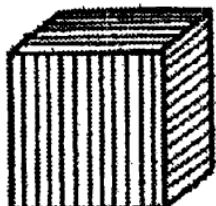
Желтые колчеданы имеют латунно-желтый или бронзовожелтый цвет. К ним относятся пирит, марказит, пирротин, халькопирит, пентландит, миллерит (табл.5).

##### ПИРИТ $\text{FeS}_2(\text{Co},\text{Cu},\text{Au})$

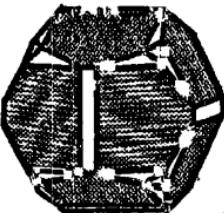
(серный колчедан, железный колчедан)

**Парагенезис:** пирит образуется во всех процессах в восстановительной слабо щелочной среде. Парагенезис разнообразный. В зоне окисления замещается гетитом или лимонитом, часто образующими псевдоморфозы по кристаллам пирита.

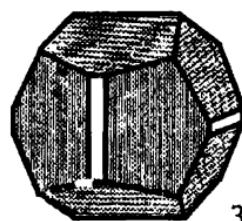
**Диагностика:** походит на золото, отличается твердостью, хрупкостью, темноокрашенной чертой. Кроме того, походит на марказит (см.), миллерит (см.), халькопирит (см.), пирротин (см.), пентландит (см.).



1



2

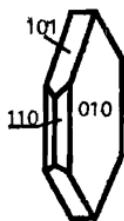


3

*Рис. 25. Облик кристаллов пирита: 1 - кубический; 2,3 - комбинации куба, октаэдра, додекаэдра (2), пентагондодекаэдрический в комбинации с гранями куба (3); на гранях кристаллов обычно имеется штриховка*

### **МАРКАЗИТ $\text{FeS}_2$**

(лучистый, копьевидный, гребенчатый колчедан)



*Рис. 26. Кристалл марказита*

**Парагенезис:** обычно встречается в виде друз, конкреций или одиночных кристаллов в глинистых породах. Редко встречается в ассоциации с другими сульфидами.

**Диагностика:** от пирита отличается обликом кристаллов, сероватой окраской. В конкрециях пирита заметны грани кубических кристаллов, у марказита - острые углы. Для кристаллов марказита характерны копьевидные (гребневидные) двойники. Походит также на другие желтые колчеданы - пирротин, халькопирит, легко отличается от них твердостью.

В зоне окисления ведет себя подобно пириту, но менееустойчив.

### **ПИРРОТИН (магнитный колчедан) $\text{FeS}(\text{Ni})$**

**Парагенезис:** встречается с другими сульфидами (галенитом, сфалеритом, арсенопиритом, пиритом и др.). В магматическом процессе образует типичную ассоциацию с халькопиритом и пентландитом.

**Диагностика:** от пирита и марказита отличается твердостью, магнитностью. Походит на халькопирит (см.); иногда пирротин обладает очень хорошо выраженной отдельностью по (0001), напоминающей совершенную спайность пентландита (см.).

В зоне окисления ведет себя так же, как и пирит.

### **МИЛЛЕРИТ (волосистый колчедан) $\text{NiS}$**

**Парагенезис:** миллерит относится к числу сравнительно редко встречающихся минералов, иногда встречается в гидро-

термальных месторождениях медно-никелевых сульфидных руд.

**Диагностика:** от всех похожих желтых колчеданов легко отличается агрегатами + друзами игольчатых (волосистых) кристаллов.

### ХАЛЬКОПИРИТ (медный колчедан) $\text{CuFeS}_2$

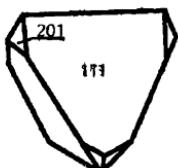


Рис.27. Тетраэдрический кристалл халькопирита

**Парагенезис:** халькопирит гидротермального генезиса встречается с различными сульфидами, в том числе меди, сульфосолями меди, галенитом, сфалеритом, арсенопиритом, пирротином, борнитом, халькозином, блеклой рудой; как магматический минерал встречается в основных породах в ассоциации с пентландитом, пирротином.

**Диагностика:** отличается от пирротина зеленым оттенком в окраске и черте и отсутствием магнитных свойств. От пирита и марказита легко отличается твердостью. Походит на пентландит (см.). В мелких выделениях часто халькопирит напоминает золото, от которого отличается хрупкостью, темной чертой; будучи смоченным водой халькопирит (как и все другие колчеданы) тускнеет, тогда как золото в воде усиливает свой блеск.

В зоне окисления халькопирит замещается лимонитом, гетитом, а также азуритом, малахитом и другими вторичными минералами меди, обычно покрывается пестрой или буроватой побежальстью.

### ПЕНТАЛАНДИТ (железо-никелевый колчедан) $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$

**Парагенезис:** пентландит образуется в магматическом процессе в связи с основными породами. Для него типичен парагенезис с халькопиритом и пирротином. Он ассоциирует с пироксенами и не встречается с кварцем и другими светлоокрашенными минералами.

**Диагностика:** пентландит очень походит на пирротин, с которым вместе и встречается. Отличается спайностью + у пентландита имеется 4 направления спайности, у пирротина спайность несовершенная или имеется отдельность по пинакоиду. Правда, наблюдать 4 направления спайности практически очень трудно, но наличие хотя бы двух пересекающихся плоскостей надежно определяет пентландит. От халькопирита отличается окраской, от пирита и марказита + твердостью и окраской.

В зоне окисления замещается лимонитом и гетитом, а также зеленым аннабергитом. Пентландит + основная никелевая руда: до 80% мирового производства этого минерала связано с переработкой пентландитовых руд.

Таблица 5

Окраска минералов латунно- и бронзово-желтая, блеск металлический, твердость 3 - 6.5

	Пирит	Марказит	Пирротин	Миллерит	Халькенирит	Пентландит
1	2	3	4	5	6	7
Химический состав и элементы-примеси	FeS <sub>2</sub> (Co, Cu, Au)	FeS <sub>2</sub>	FeS(Ni)	NiS	CuFeS <sub>2</sub>	(Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Сингония	Кубическая	Ромбическая	Гексагональная	Тригональная	Тетрагональная	Кубическая
Облик кристаллов	Куб, октаэдр, пентагонодекаэдр (рис.25)	Пластинчатый, габбитчатый (рис.26)	Кристаллы редки, таблитчатые, как у молибденита (рис.24)	Игольчатый	Кристаллы тетраэдрический (рис.27)	
Агрегаты	Друзы, вкрашенники	Друзы, вкрашенники кристаллов, зерен, сплошные массы, конкреции	Сплошные массы, вкрашенники зерен	Друзы, игольчатых кристаллов	Сплошные массы, вкрашенники зерен	Вкрашенники изометрических зерен

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
Цвет	Латунно-желтый	Бронзово-желтый	Латунно-желтый с зеленым оттенком	Бронзово-желтый	Бронзово-желтый	Бронзово-желтый
Черта	Буро-вато- или зелено-вато-черная	Серовато-черная	Зелено-вато-черная	Зелено-вато-черная	Зелено-вато-бурая	Зелено-вато-бурая
Блеск						
Спайность	Несовершенная	Совершенная по (1011)	Несовершенная по (1011)	Совершенная по (1011)	Совершенная по (1011)	Совершенная по (1111)
Твердость	6-6,5	6-6,5	3,5-4,5	3-4	3-4	3,5-4
Уд. вес	5	4,6	4,6	5,5	4,2	5
Другие свойства	Штриховка на гранях кристаллов (рис. 25; 5.1)	Слабо магнитный, иногда отдельность по (0001)			Часто пестрая или буроватая побежалость	
Генезис	Во всех геологических процессах	Осадочный, гидротермальный	Магматический, гидротермальный	Гидротермальный	Магматический, гидротермальный, осадочный	Магматический, в генетической связи с основными породами
Применение	Производство серной кислоты	Руда никеля	Руда никеля	Медная руда	Руда никеля	Руда никеля

## Красные колчеданы

К красным колчеданам относятся два минерала, обладающих медно-красной окраской - никелин и борнит (табл.6).

### **НИКЕЛИН (красный никелевый колчедан) · NiAs**

**Парагенезис:** арсениды и сульфоарсениды кобальта и никеля - кобальтин, смальтин, герсдорфит, а также самородный висмут, серебро и др.

Таблица 6

Окраска минералов медно-красная, блеск металлический,  
твёрдость 3 - 5

	↗ Никелин	↘ Борнит
Химический состав и элементы-примеси	NiAs	$Cu_5FeS_4$
Сингония	Гексагональная	Кубическая
Облик кристаллов	Кристаллы очень редки	
Агрегаты	Сплошные массы, почковидные	Сплошные массы, вкрашенники зерен
Цвет	Светлый медно-красный	Медно-красный на воздухе покрывается пестрой побежалостью
Черта	Буровато-черная	Серовато-черная
Блеск	Металлический на окислившейся поверхности - матовый	
Спайность	Несовершенная	
Твердость	5	3 - 3,5
Уд. вес	7,5	5
Генезис	Гидротермальный	Гидротермальный, экзогенный (зона вторичного сульфидного окисления)
Применение	Никелевая руда	Медная руда

**Диагностика:** от самородной меди отличается хрупкостью, твердостью, темной чертой. Походит на борнит (см.).

В зоне окисления замещается зеленым аннабергитом.

### **БОРНИТ (пестрая медная руда) $Cu_5FeS_4$**

**Парагенезис:** борнит<sup>1</sup> является самым ранним минералом зоны вторичного сульфидного обогащения, значительно реже он образуется в гидротермальных условиях, встречается в ассоциации с халькозином, халькопиритом, ковеллином и др.<sup>1</sup>

**Диагностика:** борнит походит на самородную медь, никелин, халькопирит. От самородной меди отличается хрупкостью, темной чертой; от никелина - твердостью и более темной окраской, от халькопирита, на который походит иногда по наличию у последнего пестрой побежалости, отличается чертой и окраской (собственную окраску минерала хорошо видно, если по его поверхности провести краем стекла; цвет хорошо различается в глубине царапины).

В зоне окисления легко разлагается и замещается лимонитом, гетитом, халькозином и ковеллином.

### **Белые колчеданы**

К белым колчеданам относятся такие минералы, у которых окраска изменяется от оловянно-белой до стально-серой. К этим колчеданам принадлежат арсенопирит, кобальтин, смальтин. Следует, однако, заметить, что белые колчеданы довольно многочисленны, представляя собой в химическом отношении сульфоарсениды и арсениды железа, кобальта и никеля.

К сульфоарсенидам относятся арсенопирит  $FeAsS$ , кобальтин  $CoAsS$  и герцдорфит  $NiAsS$ . Арсениды этих металлов объединяются в два ряда - ромбический и кубический. Ромбический ряд включает леллингит  $FeAs_2$ , саффлорит  $CoAs_2$ , раммельсбергит  $NiAs_2$ .

Кубический ряд - смальтин  $CoAs_{2-3}$ , скуттерудит  $CoAs_3$ , хлорантит  $NiAs_{2-3}$ , никельскуттерудит  $(Ni, Co)As_3$ .

Характерная особенность этих минералов - широкое распространение изоморфных замещений железа, кобальта и никеля в них, поэтому в зависимости от содержания изоморфных примесей выделяют большое количество разновидностей. Так, например, по содержанию примеси кобальта различают арсенопирит кобальтсодержащий (Со менее 3%), данаит (3-15% Со) и глаукодот (содержит более 15% Со).

Физические свойства всех арсенидов и сульфоарсенидов железа, кобальта и никеля очень близки: у них больше признаков сходства, чем признаков отличия.

В этом учебном пособии рассматриваются лишь наиболее

распространенные минералы, имеющие практическое значение.  
Физические свойства белых колчеданов приведены в табл.7.

**АРСЕНОПИРИТ  $\text{FeAs}(\text{Co},\text{Ni})$**   
(мышьяковый колчедан, миспикель)

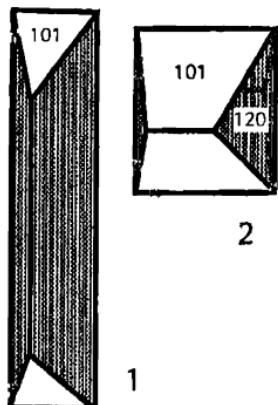


Рис. 28. Облик кристаллов арсенопирита:

- 1 - призматический;  
2 - псевдодипирамидальный;  
характерна штриховка в  
одном направлении

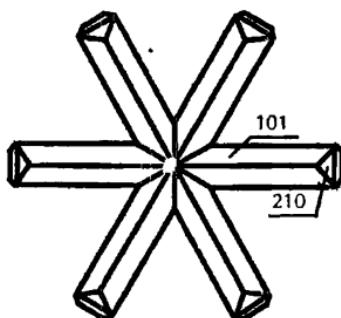


Рис. 29. Тройник прорастания кристаллов арсенопирита

**Парагенезис:** встречается в ассоциации с разнообразными сульфидами, сульфосолями - галенитом, сфалеритом, пирротином, пиритом, халькопиритом, блеклой рудой, золотом и др.

**Диагностика:** походит на самородное железо и серебро, висмут, мышьяк, кобальтин (см.), смальтин (см.). Отличается от самородного железа твердостью, хрупкостью, темной чертой, отсутствием магнитности; от серебра - твердостью, хрупкостью, темной чертой.

В зоне окисления неустойчив и легко замещается яблочно-зеленым скородитом.

**КОБАЛЬТИН (кобальтовый блеск)  $\text{CoAsS}(\text{Fe},\text{Ni})$**

**Разновидность:** феррокобальтин - кобальтин, содержащий изоморфную примесь железа.

**Парагенезис:** кобальтин чаще встречается вместе с другими сульфоарсенидами, арсенидами, а также сульфидами (молибденит, пирротин, халькопирит).

**Диагностика:** походит на самородное железо, серебро, висмут, мышьяк, а также на арсенопирит, смальтин (см.). Отличается от железа хрупкостью, чертой, отсутствием магнитности; от серебра - хрупкостью, чертой; от висмута - спайностью, твердо-

Таблица 7

Окраска минералов оловянно-белая или стально-серая, черта темная, твердость 3 - 6

	Арсенониарит	Кобальтин	Смальтин
Химический состав и элементы-примеси	FeAsS(Co, Ni)	CoAsS(Fe, Ni)	CoAs <sub>2.5</sub> (Fe, Ni)
Сингония	Моноклинная	Кубическая	Кубическая
Облик кристаллов	Призматический, псевдоочертанием пирамидальный (рис. 28)	Пентагонодекаэдр, октаэдр (рис. 30, 1, 3)	Куб, октаэдр и их комбинации (рис. 31)
Агрегаты	Друзы, призматически зернистые, радиально-лучистые, итольчатые	Вкрапленники кристаллов, сплошные массы	Группы кубооктаэдрических кристаллов
Цвет	Оловянно-белый до стально-серого	Оловянно-белый	Металлический
Черта		Темно-серая (серовато-черная)	
Блеск			
Стойность	Средняя по (101)	Средняя по (100)	Несовершенная
Твердость	5,5 - 6	5,0 - 6	5,5 - 6
Уд. вес	6	6	6,5
Другие свойства	Грань призмы (110) предельно испещриванна, часты двойники, тройники прорастания (рис. 29)	Обычно розоватая побежалость	На гранях октаэдра пересекающаяся штрековка под углом 60° (рис. 32, 1)
Генезис	Руда мышьяка	Гидротермальный	Кобальтовая руда
Применение			

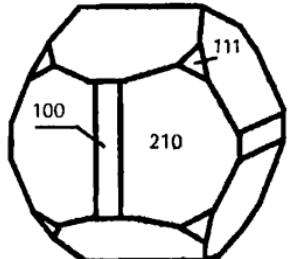


Рис. 30. Кристалл кобальтина

стью; от мышьяка - спайностью, иным парагенезисом (мышьяк обычно встречается вместе с карбонатами); от арсенопирита легко отличается изометрическими кристаллами пентагонодекаэдрического облика (рис.30, 1.3).\*

В зоне окисления кобальтин легко разлагается и замещается розовым эритрином. На воздухе, благодаря появлению пленки эритрина, кобальтин обладает розовым оттенком в окраске.

### СМАЛЬТИН (шмальтин) $\text{CoAs}_{2-3}(\text{Fe},\text{Ni})$

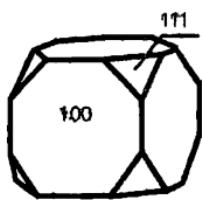


Рис. 31. Кристалл смальтина

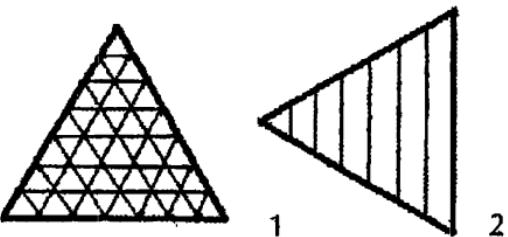


Рис. 32. Характер штриховки на гранях (111) смальтина (1) и (120) арсенопирита (2)

Смальтин охотно образует кристаллы в виде кубов, октаэдров и их комбинаций (рис.31). Границы октаэдра часто исштрихованы, причем штриховка пересекается под углом  $60^\circ$  (рис.32).

**Парагенезис:** никелин, сложные арсениды кобальта, никеля; с другими минералами класса сульфидов обычно не встречается.

**Диагностика:** смальтин походит на те же минералы, что и кобальтин, т.е. на самородные элементы + серебро, железо, висмут, мышьяк, а также на арсенопирит и кобальтин. От похожих минералов отличается следующими свойствами: от самородного железа - хрупкостью, темной чертой, отсутствием магнитных свойств; от серебра - хрупкостью, темной чертой; от висмута - спайностью, твердостью, хрупкостью; от мышьяка - спайностью, твердостью; от арсенопирита - обликом кристаллов, спайностью, характером штриховки (рис.32); от кобальтина - обликом кристаллов (у кобальтина чаще пентагонодекаэдры, у смальтина - комбинации куба и октаэдра), спайностью, обычно отсутствием розового оттенка в окраске.

В зоне окисления ведёт себя так же, как и кобальтин, т.е. замещается розовым эритрином.

### 8.1.3. ОБМАНКИ

Как указывалось выше, для обманок характерны алмазный или реже жирный блеск, небольшая твердость (менее 3), цветная черта различной интенсивности. К обманкам относятся сфалерит, киноварь, реальгар, аурипигмент. Здесь же рассматривается ковеллин, резко отличающийся своими свойствами и от блесков и от колчеданов и заметно не отвечающий свойствам типичных обманок.

Благодаря алмазному блеску обманки и получили свое название (для сульфидов - блесков и колчеданов типичен металлический блеск).

Химический состав и физические свойства обманок приведены в табл.8.

#### СФАЛЕРИТ (цинковая обманка) $ZnS(Fe,Cd,In,Ga)$

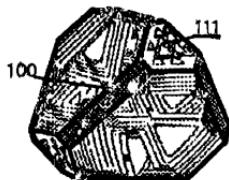


Рис. 33. Тетраэдрический кристалл сфалерита

В природе имеется две модификации сернистого цинка: кубическая - сфалерит (рис.33) и гексагональная вюрцит. Физические свойства вюрциита практически аналогичны свойствам сфалерита, отличаясь от последнего радиально-лучистыми агрегатами. В зависимости от химического состава и окраски выделяют следующие разновидности сфалерита:

т: 1) марматит - железнистый сфалерит черного цвета с темнобурой чертой; 2) клейофан - маложелезнистая разность светлого канифольно-бурового цвета (иногда полупрозрачная) со светлой чертой; 3) пришибрамит - кадмиевый сфалерит бурого цвета.

**Парагенезис:** обычно этот минерал встречается вместе с галенитом, а также с блеклыми рудами, сульфосолями свинца - буланжеритом и джемсонитом.

**Диагностика:** сфалерит походит на вольфрамит (см.).

В зоне окисления сфалерит легко разлагается и замещается смитсонитом, каламином или сульфатами цинка.

#### КИНОВАРЬ $HgS$

В природе встречаются две модификации сульфида ртути: тригональная - киноварь, и значительно более редкая кубическая - метациннабарит, образующий черные порошковатые агрегаты, ассоциирующие с киноварью.

Как разновидность выделяется печёночная руда - механическая смесь порошковатого агрегата киновари с глинистыми минералами и битумным веществом.

**Парагенезис:** киноварь - низкотемпературный минерал гидротермального происхождения, обычно встречается вместе с

Таблица 8

Окраска минералов разнообразная, блеск алмазный, черта цветная разной интенсивности, твердость 1.5 - 3

	Сфалерит	Киноварь	Реальгар	Ауригемент	Ковеллин
1	2	3	4	5	6
Химический состав и элементы-примеси	ZnS(Fe,Cd,In,Ga)	HgS	AsS	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	CuS
Сингония	Кубическая	Тригональная	Моноклиническая	Гексагональная	
Облик кристаллов	Куб, тетраэдр, ромбододекаэдр (рис. 33)	Ромбоэдр	Короткопризматический, таблитчатый	Кристаллы редки	
Агрегаты	Друзы, зернистые, настечные (рис. 12.7)	Зернистые, плотные, друзы	Зернистые, налеты, друзы	Чешуйчатые, листоватые, землистые, шарообразные, радиально- и параллельно-игольчатые	Сажистые, шлочные
Цвет	Бурый, черный, светло-желтый, зеленый, красный	Киноварно-красный, иногда серый оттенок	Оранжево-красный	Лимонно-желтый	Индигово-синий

Продолжение табл. 8

1	2	3	4	5	6
Черта Блеск	От светло-до темно-буровой	Красная	Оранжево-жел- тая	Светло-желтая	Темно-серая
Спайность	Совершенная по (110) (б направ- лений)	С р е д н и я	Совершенная по (010)	Совершенная по (0001)	Полуметали- ческий
Твердость	3 - 4	2,0 - 2,5	1,5 - 2	1,5 - 2	1,5 - 2
Уд. вес	4,0	8,0	3,5	3,5	4,6
Другие свойства	Разлагается в HCl с выделением сероводорода H <sub>2</sub> S	Иногда заметна тонкая штри- ховка, парал- лельная верти- кальной оси кристалла	Отдельные че- шуйки гибкие		
Генезис			Г и д р о т е р м а л ь н ы й		
Применение	Руда цинка, полуут- но извлекаются Cd, In, Ga и др.	Руда ртути	Мышьяковое сырье	Иногда используется как медная руда	

антимонитом, низкотемпературным хальцедоновидным кварцем, флюоритом, кальцитом. Для нее не характерен парагенезис с другими сульфидами.

**Диагностика:** походит на реальгар (см.), прустит (см.) и пираргирит (см.). Иногда ее ошибочно определяют купритом (см.).

На воздухе киноварь довольно устойчива. В некоторых случаях может окисляться, в результате чего на её поверхности появляются капельки (диаметром не более 1-2мм) самородной ртути; которая придает киновари сероватый оттенок и металловидный блеск.

### **РЕАЛЬГАР (сернистый мышьяк) AsS**

**Парагенезис:** реальгар обычно ассоциирует с аурипигментом.

**Диагностика:** походит на киноварь, от которой отличается оранжево-желтой чертой и парагенезисом с аурипигментом.

На воздухе и на солнце реальгар быстро покрывается желтым порошковатым веществом, похожим на аурипигмент.

### **АУРИПИГМЕНТ As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>**

**Парагенезис:** обычно этот минерал образует типичную ассоциацию с реальгаром.

**Диагностика:** аурипигмент походит на самородную серу, от которой отличается парагенезисом, спайностью, агрегатами. Кроме того, он походит на ярозит (см.), некоторые минералы группы урановых слюдок (см.), ферримолибдит (см.).

### **КОВЕЛЛИН (медное индиго) CuS**

Обычно ковеллин образует рыхлые сажистые агрегаты, мономинеральные прожилки, и довольно редко встречаются листоватые, чешуйчатые и зернистые агрегаты.

**Парагенезис:** ковеллин встречается вместе с различными сульфидами меди (халькозином, халькопиритом, борнитом), за счет разложения которых он и образуется. Ковеллин - типичный экзогенный минерал зоны вторичного сульфидного обогащения.

**Диагностика:** ковеллином обычно ошибочно называют синюю побежалость, образующуюся на поверхности борнита, халькозина и других сульфидов. Для определения ковеллина необходимо острым краем стекла провести по поверхности минерала. В случае ковеллина в глубине царапины сохраняется темно-синяя окраска минерала, в случае побежалости в глубине царапины появляется собственная окраска сульфида.

В зоне окисления ковеллин окисляется в халькантит (médный купорос).

## 8.2, Класс 2. СУЛЬФОСОЛИ

К этому классу относятся сложные соединения меди, свинца и серебра, по химическому составу похожие на соли. Роль аниона в них играют комплексы  $[As_2S_3]$ ,  $[Sb_2S_3]$  и  $[Bi_2S_3]$ . Минералы в соответствии с химическим составом объединяются в три группы: 1) сульфосоли меди - блеклые руды; 2) сульфосоли свинца - буланжерит и джемсонит; 3) сульфосоли серебра + прустит и пирагририт. В пособии рассматриваются наиболее распространенные сульфосоли меди и свинца (табл.9). Окраска сульфосолей изменяется от стально- и свинцово-серой до железо-черной, блеск от полуметаллического до металлического, черта темноокрашенная, невысокая твердость (2-4).

### БЛЕКЛАЯ РУДА $Cu_{12}(As,Sb)_4S_{13}(Ag,Zn,Fe)$

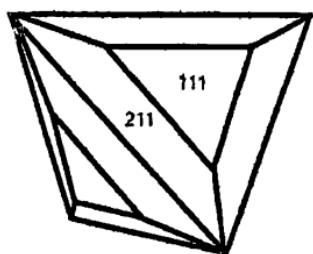


Рис.34. Тетраэдрический облик кристалла блеклой руды

Разновидности: по химическому составу блеклая руда представляет собой изоморфную смесь тетраэдрита  $Cu_{12}Sb_4S_{13}$  (название дано по форме кристаллов) и теннантита  $Cu_{12}As_4S_{13}$ . Физические свойства этих минералов одинаковы, отличаются друг от друга чертой: у тетраэдрита - черная, теннантита - красно-бурая.

Парагенезис: галенит, сфалерит, арсенопирит, пирит, халькопирит и др.

**Диагностика:** походит на халькоzin, магнетит (см.), гематит (см.), уранинит (см.). От халькоzина отличается чертой, хрупкостью (у блеклых руд при царапании острием ножа или стекла черта пылится, а у халькоzина - остается блестящий развалистый след).

В зоне окисления замещается малахитом, азуритом,

### БУЛАНЖЕРИТ $Pb_5Sb_4S_{11}(Cu)$

Парагенезис: галенит, сфалерит и другие сульфиды.

**Диагностика:** походит на антимонит и висмутин. Отличается от них парагенезисом, агрегатами, чертой, спайностью.

### ДЖЕМСОНИТ $Pb_4FeSb_6S_{14}(Cu,Zn,Ag)$

Парагенезис: галенит, редко сфалерит.

**Диагностика:** характерны друзы игольчатых кристаллов, располагающихся в пустотах среди зернистых агрегатов галенита. Этим джемсонит отличается от похожих на него антимонита и висмутина.

Таблица 9  
Минералы свинцово-серого до железо-черного цвета, с полуметаллическим или металлическим блеском, темноокрашенной чертой и твердостью от 2 до 4

	Блеская руда	Булланжерит	Джемсонит
Химический состав и элементы- примеси	$Cu_{12}(As,Sb)_4S_3$ (Ag,Zn,Fe)	$Pb_5Sb_6S_{11}(Cu,Zn,Ag)$	$Pb_4FeSb_6S_{14}(Cu,Zn,Ag)$
Сингония	Кубическая	Моноклинная	
Облик кристаллов	Тетраэдрический (рис. 34)	Кристаллы редки	Игольчатые
Агрегаты	Сплошные массы, вкрапленники зерен	Сплютанноволожистые	Грузы игольчатых кристаллов
Цвет	Стально-серый до железо-черного	Свинцово-серый	
Черта	Черная, красно-бурая	Серовато-черная с буроватым оттенком	
Блеск	Полуметаллический, блекнуший в изломе	Металлический	
Слайность	Несовершенная	Средняя	
Твердость	3 - 4	2 - 3	
Уд. вес	4,5 - 5,5	5,5 - 6	
Другие свойства	Хрупкость		
Генезис	Гидротермальный		

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте общую характеристику типа сульфидов и сульфосолей.
2. По каким признакам классифицируются сульфиды на блески, колчеданы и обманки?
3. Назовите отличительные свойства галенита и антимонита, молибденита и графита, арсенопирита, смальтина и кобальтина, никелина и борнита.
4. Как отличить пирит, халькопирит от золота?
5. Назовите генезис, парагенезис пентландита, антимонита, сфалерита.
6. Какие минералы используются в качестве руд Ni, Co, Pb, Cu, Hg? Дайте краткую характеристику этим минералам.
7. Какие Вы знаете минералы класса сульфосолей? Охарактеризуйте их.
8. По каким свойствам отличается блеклая руда от халько-зина?
9. Назовите области применения пирита, марказита, пирротина. Дайте краткую характеристику этим минералам.
10. Какие сульфиды образуются в зоне вторичного сульфидного обогащения?
11. Какие Вы знаете сульфиды магматического генезиса?
12. Почему не встречаются в одной ассоциации антимонит и галенит, сфалерит и киноварь, пентландит и арсенопирит?
13. В чем отличие пирита от марказита?
14. Какие элементы образуют изоморфную примесь в сфалерите? Назовите разновидности сфалерита.
15. Какие известны сульфиды, обладающие магнитными свойствами?
16. Назовите сульфиды низкотемпературного гидротермального генезиса.
17. Перечислите сульфиды, содержащие висмут.

## 9. ТИП III. ГАЛОИДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ (ГАЛОГЕНИДЫ)

По химическому составу относящиеся в данный тип минералы представлены солями кислот: HF, HCl, HBr и HJ. Соответственно минералы объединены в два класса: класс 1. Фториды; класс 2. Хлориды, бромиды и иодиды. В качестве катионов участвуют немногие элементы - Na, K, Ca, Mg, весьма ограниченным распространением пользуются минералы, содержащие Al, редкоземельные элементы (U, Ce, La...). Кроме того, среди галогенидов известны минералы, в состав которых входит  $H_2O$ , а также анионы ( $OH^-$ ,  $O^{2-}$ ). Тяжелые металлы в галогенидах не участвуют или играют ничтожную роль, поэтому физические свойства их резко отличаются от ранее рассмотренных сульфидов и сульфосолей. Окраска их светлая, черта белая, стеклянный блеск, твердость ниже 5, уд.вес не превышает 3.2. Бромиды и иодиды в природе пользуются весьма ограниченным распространением, фториды и хлориды встречаются в земной коре довольно часто, однако по условиям образования резко различны: фториды - преимущественно эндогенные, хлориды - экзогенные (химические осадки).

Практическое значение галогенидов велико - они используются в химической, металлургической, оптической, пищевой и других отраслях промышленности.

### 9.1. Класс 1. ФТОРИДЫ

Среди минералов данного класса широким распространением пользуется флюорит, физические свойства которого приведены в табл.10.

**ФЛЮОРИТ (плавиковый шпат)  $CaF_2$  (U,Ce,La...,битумы)**

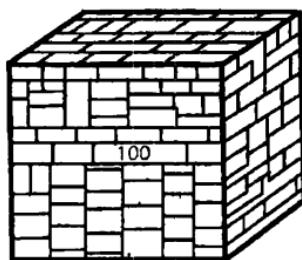


Рис.35. Паркетообразный узор на гранях куба флюорита

Минерал охотно образует кубические или октаэдрические кристаллы, на гранях (100) нередко наблюдается скульптура в виде паркетообразного узора (рис.35). Агрегаты разнообразные, среди которых встречаются плотные, зернистые, жилковидные, друзы, натечного вида. Окраска часто полихромная: в одном и том же образце наблюдаются оттенки фиолетового, зеленого и других цветов, при этом окраска

минерала распределяется или зонами, или неравномерными «пятнами».

**Разновидности:** 1) оптический флюорит - бесцветные, прозрачные кристаллы; 2) ратовкит - землистые агрегаты осадочного генезиса.

**Парагенезис:** обычно гидротермальный, встречается в ассоциации с кварцем, сульфидами (антимонит, киноварь, галенит), баритом, кальцитом и другими минералами; распространен также в грейзенах с топазом, вольфрамитом, кассiterитом, бериллом, турмалином.

**Диагностика:** походит на хлориды (см.), гр. кварца (см.), гр. кальцита (см.), гр. барита (см.), апатит (см.)

## 9.2. Класс 2. ХЛОРИДЫ

Наиболее важными и распространенными минералами класса являются хлориды Na, K и Mg - галит, сильвин и карналлит (табл. 10).

**ГАЛИТ NaCl (механические примеси глинистого вещества, пузырьков газа, гидроокислов Fe)**

**Разновидности:** каменная соль - плотные или крупнокристаллические агрегаты, слагающие пласти в горных породах; самосадочная соль - рыхлые, зернистые агрегаты, формирующиеся в настоящее время на дне замкнутых водоемов в районах сухого и жаркого климата.

Окраска часто бесцветная, иногда белая. Механические примеси придают минералу серый, желтоватый, красноватый, синеватый, буроватый цвета.

**Парагенезис:** галит, вместе с сильвином и карналлитом представляют собой типичные кристаллические химические осадки, формируются в замкнутых водных бассейнах (озерах, лагунах, морях) в условиях жаркого, сухого климата, благоприятных для интенсивного испарения воды; в ассоциации с ними могут быть сульфаты (гипс, ангидрит). Под давлением вышележащих пород соляные толщи становятся пластичными, выдавливаются в эти породы, образуя соляные купола и штоки.

**Диагностика:** походит на сильвин (см.), карналлит (см.), флюорит, гр. кальцита (см.), гр. барита (см.) и растворимые в воде сульфаты (см.). От флюорита отличается характером спайности (у галита спайность совершенная по кубу, пересекающаяся под прямыми углами), растворимостью в воде, вкусом.

Таблица 10

Минералы светлоокрашены, черта белая, блеск стеклянный, растворимы в воде и обладают вкусом (кроме флюорита), твердость не выше 4

	Флюорит	Галлит	Сильвин	Карналлит
1 Химический состав и элементы- примеси	CaF <sub>2</sub> (U,Ce,La...)	NaCl	KCl	MgCl <sub>2</sub> ·KCl·6H <sub>2</sub> O
Сингония	Кубическая	Куб, октаэдр и их комбинации	Ромбическая	Ромбическая
Облик кристаллов	Кристаллы округлые	Зернистые, друзы, рыхлые зернистые	Кристаллы очень редки	Зернистые
Агрегаты	Бесцветный, белый,	Бесцветный, белый,	Бесцветный,	Бесцветный, крас-
Цвет	зеленый, голубой,	серый, желтый,	белый, красный,	ный, розовый,
	фиолетовый, желтый	красный, синий	розовый	желтый
Черта	Белая	Белая	Белая	Белая
Блеск	Стеклянный	Стеклянный	Стеклянный	Стеклянный

минерала распределяется или зонами, или неравномерными «пятнами».

**Разновидности:** 1) оптический флюорит - бесцветные, прозрачные кристаллы; 2) ратовкит - землистые агрегаты осадочного генезиса.

**Парагенезис:** обычно гидротермальный, встречается в ассоциации с кварцем, сульфидами (антимонит, киноварь, галенит), баритом, кальцитом и другими минералами; распространен также в грейзенах с топазом, вольфрамитом, кассiterитом, бериллом, турмалином.

**Диагностика:** походит на хлориды (см.), гр. кварца (см.), гр. кальцита (см.), гр. барита (см.), апатит (см.)

## 9.2. Класс 2. ХЛОРИДЫ

Наиболее важными и распространенными минералами класса являются хлориды Na, K и Mg - галит, сильвин и карналлит (табл.10).

**ГАЛИТ NaCl** (механические примеси глинистого вещества, пузырьков газа, гидроокислов Fe)

**Разновидности:** каменная соль - плотные или крупнокристаллические агрегаты, слагающие пласти в горных породах; самосадочная соль - рыхлые, зернистые агрегаты, формирующиеся в настоящее время на дне замкнутых водоемов в районах сухого и жаркого климата.

Окраска часто бесцветная, иногда белая. Механические примеси придают минералу серый, желтоватый, красноватый, синеватый, буроватый цвета.

**Парагенезис:** галит, вместе с сильвином и карналлитом представляют собой типичные кристаллические химические осадки, формируются в замкнутых водных бассейнах (озерах, лагунах, морях) в условиях жаркого, сухого климата, благоприятных для интенсивного испарения воды; в ассоциации с ними могут быть сульфаты (гипс, ангидрит). Под давлением вышележащих пород соляные толщи становятся пластичными, выдавливаются в эти породы, образуя соляные купола и штоки.

**Диагностика:** походит на сильвин (см.), карналлит (см.), флюорит, гр. кальцита (см.), гр. барита (см.) и растворимые в воде сульфаты (см.). От флюорита отличается характером спайности (у галита спайность совершенная по кубу, пересекающаяся под прямыми углами), растворимостью в воде, вкусом.

Таблица 10

Минералы светлоокрашены, черта белая, блеск стеклянный, растворимы в воде и обладают вкусом (кроме флюорита), твердость не выше 4

	Флюорит	Галлит	Сильвин	Карналлит
1	2	3	4	5
Химический состав и элементы-примеси	$\text{CaF}_2(\text{U,Ce,La...})$	$\text{NaCl}$	$\text{KCl}$	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Сингония	Кубическая	Кубическая	Ромбическая	Ромбическая
Облик кристаллов	Куб, октаэдр и их комбинации	Кристаллы очень редки	Зернистые	Бесцветный, красный, розовый, желтый
Агрегаты	Зернистые, друзы, рыхлые зернистые			
Цвет	Бесцветный, белый, зеленый, голубой, фиолетовый, желтый	Бесцветный, белый, серый, желтый, красный, синий	Бесцветный, белый, красный, розовый	
Черта				Белая
Блеск				Стеклянный

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5
Слайность по (111)	С о в е р ш е н а я по (100)			Несовершенная
Твердость	4	2 - 2.5	1.5 - 2	2 - 3
Уд. вес	3.2	2.2	2.0	1.6
Другие свойства		Растворимы в воде, обладают вкусом Соленый		Жгуче-соленый
Генезис	Гидротермальный, редко пегматитовый, редко экзогенный		Осадочный (химические осадки)	
Применение	Химическая промышленность металлургия, оптика пищевая		Калийные удобрения промышленность	

## **СИЛЬВИН (калийная соль) KCl**

Распространен обычно в зернистых агрегатах, кристаллы и друзы, в противоположность галиту, встречаются редко. Облик кристаллов - кубы, вершины которого притуплены гранями октаэдра (у галита грани октаэдра обычно отсутствуют).

**Диагностика:** походит на те же минералы, что и галит, и отличия у него аналогичные; от галита легко отличается горьковато-соленым вкусом.

## **КАРНАЛЛИТ $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$**

В кристаллах минерал встречается очень редко, обычно он наблюдается в зернистых агрегатах. Окраска редко белая, обычно розовая, красная, обусловленная включениями чешуек гематита.

Карналлит обладает высокой гигроскопичностью, поглощая воду, растворяется в ней. Поэтому при хранении на воздухе минерал расплывается, образуя густой рассол.

**Диагностика:** от всех похожих минералов (флюорита, галита, сильвина, сульфатов) легко отличается жгуче-соленым вкусом, несовершенной спайностью.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Сами каких кислот объединяют галогениды? Назовите наиболее распространенные в земной коре галоидные соединения.

2. Какой генезис у фторилов и хлоридов?

3. По каким признакам можно отличить галит от сильвина, карналлита?

4. Какие разновидности галита называются каменной солью, самосадочной солью?

5. В каких условиях образуются галит, сильвин, карналлит?

6. Какую спайность имеют кристаллы флюорита?

7. Назовите особенности скульптуры граней кристаллов флюорита.

8. Какой особенностью карналлит отличается от сильвина?

9. Назовите области применения флюорита, галита.

10. Можно ли по облику кристаллов отличить галит от сильвина?

## 10. ТИП IV. ОКИСЛЫ И ГИДРООКИСЛЫ (ОКСИДЫ И ГИДРООКСИДЫ)

В этот тип объединяются минералы, представляющие собой окислы и гидроокислы металлов или металлоидов. Соответственно химическому составу выделено два класса минералов: класс 1. Окислы; класс 2. Гидроокислы.

### 10.1. Класс 1. ОКИСЛЫ

К классу окислов относятся соединения металлов с кислородом. В качестве катионов в их составе участвуют  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{4+}$ ,  $\text{U}^{4+}$ ,  $\text{Ta}^{5+}$ ,  $\text{Nb}^{5+}$ ,  $\text{TR}^{3+}$ . Наибольшим распространением в земной коре пользуется окислы кремния, железа, алюминия, марганца, титана, хрома.

Кристаллизуются минералы в различных сингониях. Они могут встречаться как в виде хорошо образованных кристаллов, так и в сплошных, зернистых массах, рыхлых, землистых агрегатах, коллоидных образованиях. Окраска и черта минералов различная, чаще темные, черные. Блеск - полуметаллический, стеклянный, алмазный. Твердость у большинства минералов высокая (выше 5), удельный вес их обычно выше 3,5. Происхождение эндогенное, реже экзогенное. Все окислы имеют важное практическое значение, используются как руды железа, марганца, титана, олова, хрома, урана, редких земель. Минералы объединяются в следующие группы:

1. Группа окислов меди: куприт, тенорит.
2. Группа корунда: корунд, ильменит, гематит.
3. Группа шпинели: шпинель, магнетит, хромшпинелиды.
4. Группа окислов марганца: браунит, пиролюзит, гаусманит.
5. Группа окислов сурьмы: валентинит, сервантиит.
6. Группа рутила: рутил, кассiterит.
7. Группа радиоактивных минералов: уранинит, пирожхор, эшинит, колумбит-танталит.
8. Группа кварца: кварц, тридимит, кристобалит, опал.

#### 10.1.1 ГРУППА ОКИСЛОВ МЕДИ

К данной группе относятся куприт и тенорит, химический состав, морфологические и физические свойства которых приведены в табл.11.

Таблица 11

Минералы красного или черного цвета, встречаются в зонах окисления медно-сульфидных месторождений в парагенезисе с самородной медью, азуритом, малахитом

	Куприт	Тенорит
Химический состав и элементы-примеси	$Cu_2O$	$CuO$
Сингония	Кубическая	Моноклинная
Облик кристаллов	Октаэдры и ромбододекаэдры или их комбинации	Кристаллы очень редки
Агрегаты	Друзы, параллельноволокнистые, землистые, плотные	Сажистые
Цвет	Темно-красный, буровато-красный	Черный
Черта	Буровато-красная, при растирании бисквитом желтеет	Серовато-черная
Блеск	Алмазный, у землистых разностей – матовый	Матовый
Спайность	Несовершенная	
Твердость	3,5 – 4 (в агрегатах снижается до 2)	1 - 3
Уд. вес	6,0	
Другие свойства	Хрупкость Легко растворяется в кислотах	
Генезис	Экзогенный	
Применение	Медная руда	Не имеет

## **КУПРИТ (красная медная руда) $\text{Cu}_2\text{O}$**

**Разновидность:** кирпичная медная руда - землистые агрегаты куприта с примесью лимонита.

**Парагенезис:** распространен минерал в зонах окисления медно-сульфидных месторождений в ассоциации с самородной медью, теноритом, малахитом, азуритом.

**Диагностика:** куприт походит на киноварь, реальгар, гетит (см.), гематит (см.). От киновари и реальгара отличается чертой (у киновари - ярко-красная, реальгара - светло-оранжевая), парагенезисом (киноварь и реальгар с минералами меди не встречаются).

## **ТЕНОРИТ $\text{CuO}$**

**Парагенезис:** самородная медь, куприт, малахит, азурит, лимонит.

**Диагностика:** от похожих минералов (гидроокислов и окислов марганца) тенорит отличается парагенезисом.

### **10.1.2. ГРУППА КОРУНДА**

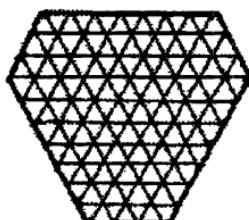


Рис.36. Штриховка на гранях пинакоида (0001) минералов гр. корунда. Границы пинакоида и плоскости отдельности исштрихованы в трех направлениях, пересекающихся под углом 60° (рис.36).

#### **КОРУНД $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr},\text{Ti},\text{Fe})$**

По окраске кристаллов выделяется несколько разновидностей: рубин - красный; сапфир - синий; восточный изумруд - зеленый; восточный топаз - желтый. Кроме того, в природе распространен наждак зернистый агрегат корунда, шпинели, граната.

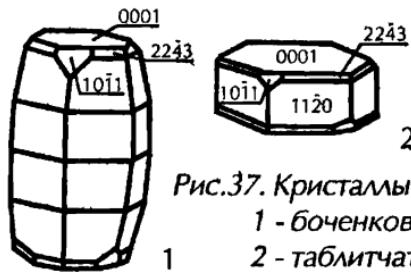


Рис.37. Кристаллы корунда:  
1 - боченковидный;  
2 - таблитчатый

2

Таблица 12

Минералы образуют пластинчатые или таблитчатые кристаллы с несовершенной спайностью, четко выраженной отдельностью, на плоскостях которой имеется штриховка в трех направлениях, пересекающихся под углом 60°

	Корунд	Гематит	Ильменит
1	2	3	4
Химический состав и элементы-примеси	$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}, \text{Ti}, \text{Fe})$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeTiO}_3$
Сингония	Таблитчатый	Пластинчатый (рис.38)	Таблитчатый (рис.39)
Облик кристаллов	Таблитчатый, призматический, бочонковидный (рис.37)		
Агрегаты	В крапленники кристаллов, друзы, зернистые	Чешуйчатые, натечные, землистые	
Цвет	Бесцветный, голубовато-серый, синий, красный, желтоватый, зеленоватый	Стально-серый, черный, красно-бурый	Железо-черный
Черта	Белая	Вишнево-красная	Черная, иногда красно-бурая (за счет включений пластинок гематита)

Продолжение табл. 12

1	2	3	4
Блеск	Стеклянный	Металлический, полу-металлический, в плотных агрегатах - матовый	Полуметаллический
Слайдность	Несовершенная, отдельность по пинаконду (0001)		
Твердость	9	5,5 – 6 (в землистых агрегатах падает до 1)	5 – 6
Уд. вес	4,0	5,0	4,7
Другие свойства	Награная пинаконда и плоскости отдельности штриховка в трех направлениях, пересекающихся под углом 60°		
	На дранках (2243) и (1120) косая или горизонтальная штриховка	Слабо магнитный	
Генезис	Пегматитовый (в делицированных бескварцевых пегматитах), регионально-метаморфический	Экзогенный, эндогенический, регионально-метаморфический	Магматический, пегматитовый, широко распространен в щелочных нефелиновых городах
Применение	Аbrasивный материал, в точных физических приборах, в ювелирной промышленности	Руда железа,	Руда титана

**Парагенезис:** полевые шпаты, альмандин, роговая обманка, биотит, вермикулит, маргарит, хлориты, шпинель, диаспор.

**Диагностика:** походит на шпинель (см.), дицтен (см.), берилл (см.), кварц (см.), кордиерит (см.).

### ГЕМАТИТ $\text{Fe}_2\text{O}_3$



Рис.38. Пластинчатый кристалл гематита

Разновидности: 1. Железный блеск агрегаты пластинчатых кристаллов, черного или стально-серого цвета с металлическим блеском. 2. Железная роза - друзья пластинчатых кристаллов. 3. Железная слюдка - тонкочешуйчатый агрегат. 4. Железная сметана - рыхлый агрегат тонких и мелких чешуек железной слюдки, красного цвета, маркий, жирный на ощупь. 5. Красная стеклянная голова - натечные формы с блестящей поверхностью и радиально-лучистым строением в поперечных сечениях, черного цвета с красноватым оттенком. 6. Красный железняк - плотные агрегаты красного цвета. 7. Мартит - псевдоморфоза гематита по кристаллам магнетита, обладает красно-буровой чертой, магнитностью.

**Парагенезис:** гематит - широко распространенный минерал в природе, образуется при разнообразных процессах, поэтому минералы-спутники его различны.

**Диагностика:** походит на киноварь, блеклую руду (теннантит), куприт, ильменит (см.), колумбит-танталит (см.), вольфрамит (см.), гетит (см.). От киновари отличается чертой, несовершенной спайностью, более высокой твердостью, меньшим удельным весом; от теннантита - парагенезисом, твердостью; от куприя - чертой, парагенезисом. Мартит походит на магнетит (см.), мушкетовит (см.), ильменит (см.).

### ИЛЬМЕНИТ (титанистый железняк) $\text{FeTiO}_3$

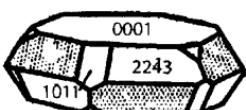


Рис.39. Таблитчатый кристалл ильменита

Рис.39. Таблитчатый кристалл ильменита

**Парагенезис:** полевые шпаты, нефелин, эгирин, биотит.

**Диагностика:** походит на гематит, мартит, магнетит (см.), колумбит-танталит (см.). От гематита отличается чертой, магнитностью, обычным парагенезисом с нефелином, полевыми шпатами; от мартита - обликом кристаллов, чертой, парагенезисом.

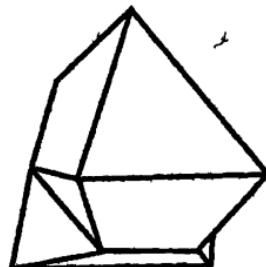
### 10.1.3. ГРУППА ШПИНЕЛИ

Наиболее распространенные минералы, относящиеся к этой группе: шпинель, магнетит, хромшпинелиды (табл.13). По химическому составу они представляют собой двойные окислы типа  $R^{2+}O \cdot R^{3+}O_3$ , где  $R^{2+}$  -  $Mg^{2+}, Fe^{2+}$ , а  $R^{3+}$  -  $Fe^{3+}, Al^{3+}, Cr^{3+}$ .

Минералы группы шпинели кристаллизуются в кубической сингонии. В хорошо образованных октаэдрических кристаллах встречаются часто (рис.40.1). Широко развиты двойники по шпинелевому закону, т.е. двойниковой плоскостью является грань октаэдра, а двойниковая ось перпендикулярна ей (рис.40.2).



1



2

Рис.40. Кристаллы минералов гр. шпинели; 1 - вкрапленники октаэдрических кристаллов магнетита в породе; 2 - двойник по шпинелевому закону

#### ШПИНЕЛЬ $MgAl_2O_4(Fe)$

Разновидности: благородная шпинель - прозрачная однотонная разность; плеонаст - черная шпинель, обогащенная железом.

Парагенезис: форстерит, гранаты, полевые шпаты, диопсид, флогопит, кальцит, доломит, графит.

Диагностика: шпинель походит на циркон (см.), гранаты (см.), пирохлор (см.), магнетит (см.), корунд. От корунда отличается обликом кристаллов, отсутствием штриховки и отдельности.

#### МАГНЕТИТ $FeO \cdot Fe_2O_3$ или $Fe_3O_4(Ti, Mg, Cr, V)$ (магнитный железняк)

Разновидности: титаномагнетит и магномагнетит-магнетит с повышенным содержанием (> 1%) соответственно титана и магния; мушкетовит - псевдоморфоза магнетита по кристаллам и пластинчатым агрегатам гематита.

Парагенезис магнетита, как и гематита разнообразный.

Таблица 13

Минералы образуют октаэдрические кристаллы обычно черной окраски с несовершенной спайностью, высокой твердостью (5.5 - 8.5)

	Шпинель	Магнетит	Хромшипинелид
1	2	3	4
Химический состав и элементы-примеси	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (Fe)	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (Ti,Mg,Cr,V)	(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Сингония	Октаэдрический	Кубическая	Кубическая
Облик кристаллов	Октаэдрический	Ромбододекаэдрический, октаэдрический	Кристаллы редки
Агрегаты	Вкрашенники кристаллов, реже - зерен	Вкрашенники кристаллов или зерен, друзья, сплошные зернистые массы, оливковые	Вкрашенники округлых зерен, сплошные зернистые массы
Цвет	Бесцветный, синий, красный, розовый, зеленый, фиолетовый, бурый, черный	Черный	Черный, буровато-черный
Черта	Белая	Черная	Бурая или буровато-желтая
Блеск	Стеклянный	Полуметаллический в агрегатах - жирный	

Продолжение табл. 13

1	2	3	4
Спайность	Несовершенная		
Твердость	8 - 8,5	5 - 6	5,5 - 7,5
Уд. вес	3,5	5,0	4,0 - 4,8
Другие свойства	Часто двойники по {111} На гранях кристаллов штириковых по граням ромбододекаэдра {110}. она проходит параллельно длинной диагонали ромба, по граням октаэдра {111} – пересекается в трех направлениях параллельно ребрам; сильно магнитен	Иногда слабо магнитен	
Генезис	Магматический, шегматитовый, контактово-метасоматический, регионально-метаморфический	Эндогенный Разнообразный эндогенный (магматический, шегматитовый, гидротермальный, контактово-метасоматический, регионально-метаморфический)	Только магматический (в ультраосновных породах)
Применение	Красиво окрашенные разности – в ювелирной промышленности	Руда железа.	Руда хрома

**Диагностика:** походит на блеклую руду (тетраэдрит), ильменит, мартит, шпинель, хромшпинелиды (см.). От тетраэдрита легко отличается магнитностью, более высокой твердостью; от ильменита отличается обликом кристаллов, формой зерен, более сильными магнитными свойствами (если магнетит пощипать острием ножа, то на его острие образуются "щетинки" магнетита; у ильменита этого не наблюдается), от мартита - чертой. Отличия от шпинели - твердостью, чертой, магнитностью. Мушкетовит обычно определяется по парагенезису с кальцитом; пластинчатые кристаллы гематита в ассоциации с кальцитом, как правило, мушкетовитизированы. В случае неполного замещения черта мушкетовита может иметь красно-бурый оттенок, т.е. сохраняются свойства гематита, но появляются сильно магнитные свойства.

### **ХРОМШПИНЕЛИД $(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)_2O_4$** **(хромистый железняк)**

Под названием «хромшпинелид» объединяются несколько минералов, имеющих общую формулу  $(Mg,Fe)(Cr,Al,Fe)_2O_4$ . Среди них выделяются хромит  $FeCr_2O_4$ , (встречается в метеоритах, в земной коре очень редок), магнохромит  $(Mg,Fe)Cr_2O_4$ , алюмохромит  $(Fe,Mg)(Cr,Al)_2O_4$  и хромпикотит  $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$ .

**Разновидность:** «рябчиковая руда» - вкрапленники округлых зерен хромшпинелидов в серпентине.

**Парагенезис:** часто с хромшпинелидами встречается серпентин, иногда - оливин, пироксены; с кварцем и сульфидами не встречаются.

**Диагностика:** разности, богатые магнетитом, обладают магнитными свойствами и походят на магнетит<sup>1</sup>; отличаются от него бурой чертой, парагенезисом.

#### **10.1.4. ГРУППА ОКИСЛОВ МАРГАНЦА**

В этой группе рассматриваются браунит, пиролюзит, гаусманит (табл.14). Кристаллизуются они в тетрагональной сингонии. Обычно распространены в сплошных зернистых или натечных агрегатах. Минералы разлагают соляную кислоту, выделяя хлор. Часто ассоциируют друг с другом и гидроокислами марганца. В зоне окисления браунит и гаусманит окисляются и превращаются в пиролюзит.

### **БРАУНИТ $Mn^{2+}Mn^{3+}_6SiO_{12}$**

**Парагенезис:** различные минералы марганца (гаусманит,

Минералы, очень редко образующие кристаллы, встречаются в сплошных зернистых или натечных агрегатах, окраска и черта черные, буровато-черные, блеск полуметаллический, твердость 5 ~6, у землистых разностей снижается до 1; все они разлагают соляную кислоту с выделением хлора

Таблица 14

	Браунит	Пиролузит	Гаусманит
Химический состав и элементы-примеси	$Mn^{2+}Mn^{3+}_6SiO_{12}$	$MnO_2$	$MnMn_2O_4$
Сингония	Тетрагональная		
Облик кристаллов	Кристаллы редки	Призматический, игольчатый	Дипирамидальный
Агрегаты	Зернистые	Зернистые, скрыто-кристаллические, радиально-лучистые, конкреции, сажистые, землистые	Зернистые
Цвет	Черный, буровато-черный	Черный, иногда сероватый, синеватый оттенок	Черный

Продолжение табл. 14

	1	2	3	4
Черга	Темно-бурая	Бархатно-чёрная	Красновато-бурая	
Блеск		П о л у м е т а л ч и ч е с к и й Матовый (в плотных агрегатах)		
Слайдность	Средняя по дипирамиде (111)	Совершенная по тет- агональной призме (110)	Совершенная по пинакоиду (001)	
Твердость	6	5 - 6 (в землистых агрегатах падает до 1)	5	
Уд. вес		5,0		
Другие свойства	Р а з л а г а е т с о л и я н у ю к и с л о т у с в ъ д е л е н и е м х о р а			
Генезис	В процессе метамор- физма осадочных мес- торождений марганца	Экзогенный (осадочный, а также при окислении других марганцевых минералов)	В процессе метамор- физма осадочных мес- торождений марганца	
Применение		М а р г а н ц е в ы е р у д ы В электротехнике, в стекольной промышленности		

пиролюзит, псиломелан и др.), барит, кварц.

**Диагностика:** походит на все окислы и гидроокислы марганца - гаусманит (см.), пиролюзит (см.), псиломелан (см.), мanganит (см.), хромшпинелиды. От хромшпинелидов отличается парагенезисом.

### **ПИРОЛЮЗИТ $MnO_2$**

**Парагенезис:** аналогичен брауниту.

**Диагностика:** походит на браунит, гаусманит (см.), магнетит, псиломелан (см.), мanganит (см.). От браунита отличается чертой; от магнетита - отсутствием магнитных свойств.

### **ГАУСМАНИТ $MnMn_2O_4$**

**Парагенезис:** такой же как у браунита и пиролюзита. Кварц с гаусманитом обычно не встречается.

**Диагностика:** походит на браунит, пиролюзит, псиломелан (см.), мanganит (см.). Отличается от браунита и пиролюзита чертой.

## **10.1.5. ГРУППА ОКИСЛОВ СУРЬМЫ**

В группу окислов сурьмы объединяются валентинит и сервантиит (табл.15), образуются в зоне окисления антимонита.

### **ВАЛЕНТИНИТ $Sb_2O_3$**

**Парагенезис:** всегда находится в ассоциации с замещенным антимонитом, сервантиитом.

**Диагностика:** походит на сервантиит (см.). От других похожих белых минералов отличается парагенезисом.

### **СЕРВАНТИТИТ $Sb_2O_4$**

**Парагенезис:** аналогичен валентиниту.

**Диагностика:** походит на валентинит, от которого отличается желтой окраской. По цвету напоминает самородную серу и аурипигмент, отличается от них постоянной ассоциацией с антимонитом.

## **10.1.6. ГРУППА РУТИЛА**

В группу объединены два минерала рутил и кассiterит, близкие по кристалломорфическим и физическим свойствам, а также генетическим особенностям (табл.16). Кристаллизуются рутил и кассiterит в тетрагональной сингонии, облик кристаллов призматический, на гранях призмы обычно проявляется штриховка параллельная оси С (рис.41), весьма характерны коленчатые двойники (рис.42, 4.4). Генезис минералов эндогенный (гидротермальный, пегматитовый).

Таблица 15

Минералы обычно образуют порошковатые массы, а также псевдоморфозы по кристаллам антимонита, окраска светлая (белая или желтая)

	Валентинит	Серванти
Химический состав и элементы-примеси	$Sb_2O_3$	$Sb_2O_4$
Сингония	Ромбическая	
Облик кристаллов	Кристаллы редки призматический	игольчатый
Агрегаты	Порошковатые, псевдоморфозы по антимониту	
Цвет	Белый, желтовато-серый	Желтый
Черта	Белая	
Блеск	Матовый	
Спайность	Совершенная по пинакоиду	Несовершенная
Твердость	2,5 – 3	1 – 3 (в агрегатах падает до 1)
Уд. вес	5,5	5,0
Генезис	Экзогенный	
Применение	Не имеет	

### РУТИЛ $TiO_2(Fe, Nb, Ta)$

Разновидности: **нигрин** - черный рутил, содержит в повышенном количестве примесь железа, характеризуется полуметаллическим блеском; **сагенин** - пересекающиеся под углом 60° сетчатые сростки кристаллов рутила в биотите.

**Парагенезис:** кварц, слюды.

**Диагностика:** походит на кассiterит (см.), циркон (см.), турмалин (см.).

### КАССИТЕРИТ (оловянный камень) $SnO_2(Fe, Nb, Ta)$

Разновидности: деревянистое олово - натечные агрегаты в виде корок, желваков с радиально-лучистым или концент-

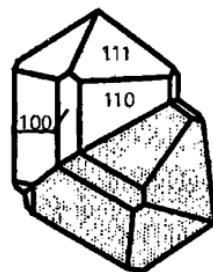
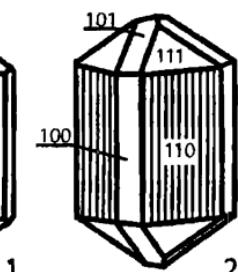
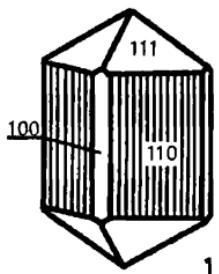


Рис.41. Кристаллы рутила (1) и касситерита (2)

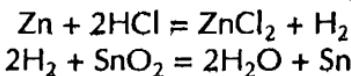
Рис.42. Коленчатый двойник касситерита и рутила

рически-зональным строением; образуется эта разность в зонах окисления оловосодержащих сульфидных месторождениях.

**Парагенезис;** выделяются две парагенетические ассоциации касситерита гидротермального генезиса. 1. Кварц-касситеритовая (в высокотемпературных кварцевых жилах): кварц, мусковит, полевые шпаты, турмалин, флюорит, топаз, вольфрамит, висмутин. 2. Сульфидно-касситеритовая: пирротин, пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, станин.

В гранитных пегматитах касситерит встречается в ассоциации с альбитом, сподуменом, бериллом, колумбитом-танталитом. Облик кристаллов касситерита в пегматитах бипирамидальный, окраска темно-бурая или черная.

**Диагностика:** касситерит походит на рутил, циркон (см.), везувиан (см.), в зернистых агрегатах - на гранаты (см.). От рутила отличается несовершенной спайностью, большим удельным весом и реакцией на "оловянное зеркало". Для реакции требуется металлический цинк и соляная кислота. На пластинку цинка (использованный гальванический элемент) помещают минерал и на него каплю соляной кислоты. Реакция протекает по схеме:



Образующаяся на минерале пленка металлического олова при натирании тканью (лучше суконной) приобретает зеркальный блеск.

#### 10.1.7 ГРУППА МИНЕРАЛОВ РАДИОАКТИВНЫХ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В данную группу отнесены минералы, содержащие в своем составе редкие и радиоактивные элементы - уран, торий, нио-

Таблица 16

Минералы охотно образуют призматические или бипирамидальные кристаллы, характерны коленчатые двойники, окраска темная, черта светлая; блеск на гранях алмазный, в агрегатах - полуметаллический; твердость 6 - 7, высокий удельный вес (4 - 7)

	Рутил	Кассiterит
Химический состав и элементы-примеси	$TiO_2(Fe, Nb, Ta)$	$SnO_2(Fe, Nb, Ta)$
Сингония	Тетрагональная	
Облик кристаллов	Длиннопризматический Часто коленчатые двойники	Призматический, дипирамидально-призматический
Агрегаты	В крапленники зерен или кристаллов, друзы Игольчатые, радиально-лучистые, волосовидные включения в кристаллах кварца	
Цвет	Темно-желтый, красный, красно-бурый, оранжевый, черный, зеленый, белый	
Черта	Бледно-желтая, светло-буровато-желтая	Светлая, желтоватая
Блеск	Алмазный, в агрегатах полуметаллический, в изломе - жирный	
Слайность	Совершенная по граням призмы (110)	Несовершенная
Твердость	6	6 - 7
Уд. вес	4,0	7,0
Другие свойства	На гранях призмы штриховка параллельная длинной оси кристалла	Характерна реакция на «оловянное зеркало»
Генезис	Эндогенный Во всех эндогенных процессах	Гидротермальный, встречается в гранитных пегматитах
Применение	Накапливаются в россыпях	
	Руда титана	Руда олова

бий, tantal, церий, лантан: уранинит, пирохлор, эшинит, колумбит-танталит (табл.17).

Характерная особенность минералов радиоактивность. Вокруг их кристаллов обычно образуется ржаво-бурый ореол, а сами кристаллы становятся трещиноватыми. Встречаются они в пегматитах щелочных (пирохлор, эшинит) или гранитных (колумбит-танталит, уранинит).

### **УРАНИНИТ $\text{UO}_2(\text{Ra},\text{Th},\text{Pb})$**

**Разновидности:** смоляная урановая руда (урановая смолка) - натечные агрегаты, урановая чернь - рыхлые, землистые агрегаты, настуран - плотные, скрытокристаллические агрегаты.

**Парагенезис:** в пегматитах уранинит встречается совместно с минералами редких земель, ниобия, тантала, цирконом, полевыми шпатами, слюдами. В гидротермальных месторождениях ассоциирует с арсенидами никеля и кобальта, самородным висмутом, серебром и др. В зонах окисления уранинит легко заменяется минералами гр. урановых слюдок ярко-желтого или зеленого цветов.

**Диагностика:** уранинит походит на блеклые руды, ортит (см.). От блеклых руд отличается радиоактивностью, более высокой твердостью, отсутствием хрупких свойств, чертой.

### **ПИРОХЛОР $(\text{Na,Ca,Ce})_2(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6(\text{F},\text{OH})(\text{U},\text{Th})$**

Встречается он обычно в виде вкрапленников или друз хорошо образованных октаэдрических кристаллов. Минерал довольно хрупок, легко выкрашивается, поэтому в породе часто наблюдаются квадратные сечения его кристаллов с правильными идиоморфными очертаниями. С поверхности кристаллы покрыты желтоватым порошковатым налетом, образовавшимся в результате разложения пирохлора. Цвет пирохлора зависит от содержания в нем примесей урана и тория. Если они входят в его состав, то окраска минерала, как правило, красно-бурая, буро-вато-черная, и вокруг кристаллов образуется ржаво-бурый ореол. Разности, не содержащие примеси этих элементов, желтовато-зеленого цвета и лишены ореола вокруг кристаллов.

**Парагенезис:** встречается в щелочных бесварцевых пегматитах в ассоциации с нефелином, эгирином, полевыми шпатами, сфером, цирконом, биотитом, щелочной роговой обманкой, апатитом.

**Диагностика:** пирохлор походит на шпинель, циркон (см.), гранаты (см.). От шпинели отличается парагенезисом, твердостью, хрупкостью.

Таблица 17

Минералы образуют вкрапленники кристаллов, окраска темная, блеск алмазный или полуметаллический, смоляной, спайность несовершенная, твердость 5 - 6, вокруг кристаллов имеется ржаво-бурый ореол

	Ураннит	Пирохлор	Эпинит	Колумбит-танталит
1	2	3	4	5
Химический состав и элементы-примеси	$\text{UO}_2(\text{Ra}, \text{Th}, \text{Pb})$	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6$ $(\text{F}, \text{OH})(\text{U}, \text{Th})$	$(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Th})(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$	$(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{U})$
Сингония	Кубическая	Октаэдрический, комбинации октаэдра и куба	Призматический	Ромбическая
Облик кристаллов	Кубический, ромбододекаэдрический и их комбинации			Таблитчатый
Агрегаты	Плотные, скрытокристаллические, настенные, рыхлые	В крапленники кристаллов		
Цвет	Черный	Красный, красно-бурый, буровато-черный, желто-зеленый	Черный, буро-вато-черный	Черный, буро-вато-черный

Продолжение табл. 17

1	2	3	4	5
Черта	Черная, ионода с зеленоватым оттенком	Светло-желтая	Гемно-бурая, почти черная	Шоколадная, буровато-черная
Блеск	Полуметаллический, смоляной	Алмазный, в измененных разностях - матовый	Алмазный	Полуметаллический
Спайность			Несовершенная	
Твердость	5 – 6 (в землистых агрегатах падает до 1)		5 6	
Уд. вес	10,3 – 10,6	4,0	5,0	5 – 8
Другие свойства		Радиоактивность		
Генезис	Гидротермальный, петматитовый (в гранитных петматитах), экзогенный	Хрупкий		
Применение	Урановая руда, получена извлечается радий	Сырец для получения ниобия, тантала, урана	Редок, практического применения не имеет	Ниобиевая и танталовая руда

## **ЭШИННІТ ( $\text{Ce,Ca,Th}(\text{Ti,Nb})_2\text{O}_6$ )**

**Парагенезис:** распространен в щелочных бескварцевых пегматитах в ассоциации с нефелином, полевыми шпатами, биотитом, цирконом, магнетитом.

**Диагностика:** походит на ортит (см.).

## **КОЛУМБИТ-ТАНТАЛИТ ( $\text{Fe,Mn}(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6(\text{U})$ )**

**Парагенезис:** распространен в гранитных пегматитах, встречается совместно с альбитом, кварцем, мусковитом, турмалином, цирконом и др.

**Диагностика:** колумбит-танталит походит на ильменит, гематит, вольфрамит (см.), ортит (см.). От ильменита отличается отсутствием магнитности, чертой; от гематита - чертой, парагенезисом.

### 10.1.8. ГРУППА КВАРЦА

В группу кварца объединяются минералы, представляющие собой полиморфные модификации кремнезема  $\text{SiO}_2$  - кристобалит, тридимит, кварц. Каждый из названных минералов существует в определенном интервале температур. В свою очередь, кристобалит, тридимит и кварц имеют  $\alpha$ - и  $\beta$ - модификации (табл.18).

Таблица 18  
Полиморфные модификации кремнезема

	Полиморфные модификации	Интервалы температур	Сингония
Кристобалит	$\beta$ - кристобалит	1470 – 1713 $^{\circ}$	Кубическая
	$\alpha$ - кристобалит	180 – 270 $^{\circ}$	Тетрагональная
Тридимит	$\beta$ - тридимит	870 – 1470 $^{\circ}$	Гексагональная
	$\alpha$ - тридимит	130 – 180 $^{\circ}$	Ромбическая
Кварц	$\beta$ - кварц	573 – 870 $^{\circ}$	Гексагональная
	$\alpha$ - кварц	573 $^{\circ}$	Тригональная

Более редкие модификации кремнезема – коэсит и стишовит образуются при очень высоких температурах и давлениях при формировании метеоритных кратеров.

Кроме кристаллических модификаций кремнезема встречаются аморфные его разновидности: лешательерит – природное кварцевое стекло и опал – гидратированный кремнезем.

Наибольшим распространением в природе пользуются

кварц, тридимит, кристобалит. Среди аморфных разностей - опал. Высокотемпературная модификация кварца ( $\beta$ -кварц) сравнительно редка и наблюдается всегда в виде гексагональных дипирамид (рис.43).

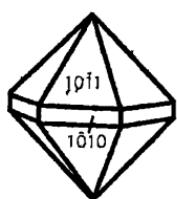


Рис.43. Кристалл  
 $\beta$ -кварца

При температуре ниже 573°  $\beta$ -кварц переходит в низкотемпературную модификацию -  $\alpha$ -кварц, который кристаллизуется в тригональной сингонии и часто образует псевдоморфозы по  $\beta$ -кварцу, называют просто кварцем.

$\beta$ -тридимит и  $\beta$ -кристобалит в виде друз хорошо образованных кристаллов встречаются в эфузивных породах кварцевых порфирах. Физические и морфологические свойства их очень близки,

поэтому в табл.19 в качестве примера рассматривается  $\beta$ -тридимит.

### КВАРЦ $\text{SiO}_2$

Хорошо образованные призматические кристаллы в природе встречаются часто. Главные формы на кристаллах - гексагональная призма (1010), ромбоэдр (10-11), тригональная дипирамида (1121), тригональный трапециоэдр. По расположению граней тригонального трапециоэдра (5161) различают правый и левый кварц (рис.44). На гранях призмы обычна горизонтальная штриховка (рис.44,5.2). Кристаллы часто двойникованы, и известно

около 20 различных законов двойникования, из которых наиболее распространены дофиннейский, бразильский и японский двойники (рис.4.2).

Выделяют следующие разновидности кристаллов: горный хрусталь водяно-прозрачные, бесцветные, цитрин - лимонно-желтые, раухтопаз серые, дымчатые, морион

черные, аметист - фиолетовые. Кристаллы кварца с включением игл рутила носят название "волосатика", золотистых чешуек слюды (мусковита или биотита) - авантюрина. По характеру агрегатов и окраске известны такие разновидности: халцедон плотные, скрытокристаллические агрегаты, агат - халцедон с концентрически-зональным строением (рис.8.1), бникс агат,

Рис.44. Кристаллы левого (1) и правого (2) кварца

108

Таблица 19

Окраска минералов светлая, черта белая, спайность несовершенная, высокая твердость (6.5 - 7), блеск стеклянный

	Кварц	$\beta$ - Тридимит
Химический состав и элементы-примеси	$\text{SiO}_2$	$\text{SiO}_2$
Сингония	Тригональная	Гексагональная
Облик кристаллов	Призматический, столбчатый	Пластинчатый
Агрегаты	В капленники зерен или кристаллов Друзы (рис. 7.5), сплошные зернистые массы, плотные скрытокристаллические	Сферолиты, мелкие выделения неправильной формы
Цвет	Бесцветный, серый, белый, желтоватый Молочно-белый, розовый, черный, дымчатый, фиолетовый и др.	
Черта	Б е л а я	
Блеск	Стеклянный Жирный в изломе, матовый (халцедон)	
Спайность	Несовершенная	
Твердость	7	6,5 - 7
Уд. вес	2,6	2,2
Другие свойства	На гранях призмы горизонтальная штриховка, часты двойники	Сростки кристаллов в виде тройников
Генезис	Эндо- и экзогенный	Низкотемпературный гидротермальный, эффузивный (в кислых эффузивах)
Применение	В стекольной промышленности, оптике, строительстве, в ювелирном деле и др.	Не имеет

имеющий концентрические или горизонтальные зоны молочно-белого цвета (рис.8.2), **сердолик** - красный халцедон, плазма (хризопраз) - зеленый, гелиотроп + зеленый с красными пятнами, яшма + различно окрашенный халцедон, содержащий тонко-дисперсную примесь из глинистых частиц и гидроокислов железа.

**Парагенезис:** кварц - широко распространенный минерал, встречается в большинстве эндогенных (кроме ультраосновных, основных и щелочных нефелиновых пород) и экзогенных образованиях. Халцедон образуется в низкотемпературных гидротермальных процессах или осадочным путем.

**Диагностика:** в кристаллах кварца походит на корунд, берилл (см.), апатит (см.), в зернах и агрегатах - на флюорит, нефелин (см.), топаз (см.), кордиерит (см.). Халцедон походит на опал (см.), серпентин (см.), смитсонит (см.), алуний (см.). От коруна отличается меньшей твердостью, отсутствием отдельности, штриховкой; от флюорита - твердостью, несовершенной спайностью.

### **β-ТРИДИМИТ $\text{SiO}_2$**

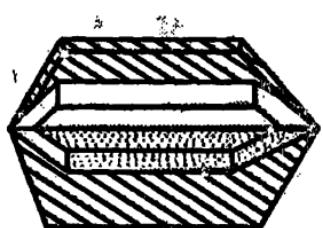
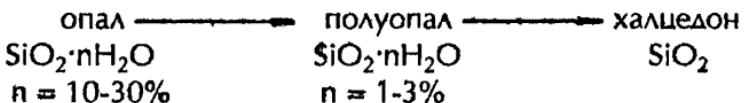


Рис.45. Тройник кристалла  
 $\beta$ -тридимита

### **ОПАЛ $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$**

В состав опала входит молекулярная вода, количество которой колеблется от 10 до 30%. Со временем аморфный опал, теряя воду, переходит в скрытокристаллический халцедон по схеме:



Соответственно изменяется и блеск минералов от стеклянного у опала до воскового - у полуопала и матового - у халцедона. Агрегаты опала натечные, рыхлые или плотные стеклоподобные, наблюдаются также псевдоморфозы по органическим

Кристаллы β-тридимита обычно мелкие и имеют вид гексагональных пластинок, которые часто образуют двойники или тройники (рис.45).

**Парагенезис:** распространен в кислых эффузивах.

**Диагностика:** тридимит походит на кварц. Отличается от него обликом кристаллов.

остаткам. **Окраска** различная: желтая, красная, голубая, изумрудно-зеленая. Иногда опал обладает опалесценцией. **Черта белая.** **Твердость** 5-6, у полуопала повышается до 6-6,5. **Уд. вес** 2,5.

**Разновидности:** *благородный опал* - обладает красивой игрой цветов, обусловленной опалесценцией; *трепел, опока* породы органического происхождения, сложенные рыхлым агрегатом опала; *моховый опал* - содержит дендриты гидроокислов марганца (псиломелана).

**Парагенезис:** образуется опал в низкотемпературных гидротермальных процессах, при выветривании ультраосновных пород, а также осадочным путем (биогенные осадки) в процессе жизнедеятельности некоторых организмов (радиолярий, диатомовых водорослей). Обычно встречается в мономинеральных агрегатах, иногда ассоциирует с халцедоном и кварцем.

**Диагностика:** опал и полуопал походят на халцедон. Отличаются от него меньшей твердостью и блеском; опал от полуопала отличается блеском.

**Применение.** Используется в качестве поделочного камня, а трепел и опока - как фильтрующий материал, для тепловой и звуковой изоляции, при производстве цемента и жидкого стекла.

## 10.2. Класс 2. ГИДРООКИСЛЫ

К этому классу относятся гидроокислы алюминия, железа, марганца. Кристаллизуются минералы в низших сингониях. В кристаллах встречаются редко, обычно распространены в зернистых, плотных агрегатах. Происхождение у всех гидроокислов экзогенное. В промышленности используются как руды алюминия, железа, марганца.

### 10.2.1. ГРУППА ГИДРООКИСЛОВ АЛЮМИНИЯ

В группе рассматривается два минерала: диаспор и гидрагиллит, (табл.20). Механическая смесь этих минералов, а также гидроокислов железа, глинистых минералов и кремнезема образуют осадочную горную породу - боксит.

#### ДИАСПОР $\text{HAIO}_2(\text{Ga})$

**Парагенезис:** в регионально-метаморфических породах встречается совместно с корундом, маргаритом, хлоритоидом, лимонитом.

**Диагностика:** походит на гидрагиллит (см.), мусковит (см.), маргарит (см.), хлоритоид (см.).

Таблица 20

Минералы образуют пластинчатые кристаллы, агрегаты листоватые, тонкочешуйчатые, скрытокристаллические, окраска и черта светлые, блеск стеклянный, на плоскости спайности с перламутровым отливом, спайность совершенная в одном направлении по граням пинакоида

	Диаспор	Гидрагиллит
Химический состав и элементы-примеси	$\text{AlO}_2(\text{Ga})$	$\text{Al}(\text{OH})_3(\text{Ga})$
Сингония	Ромбическая	Моноклинная
Облик кристаллов	Пластинчатый	Таблитчатый с псевдогексагональными очертаниями
Агрегаты	Листоватые, пластинчато-зернистые	Тонкочешуйчатые, скрытокристаллические
Цвет	Белый, серовато-голубой, светло-фиолетовый, желтоватый, розоватый	
Черта		Б е л а я
Блеск		Стеклянный, на плоскости спайности с перламутровым отливом, в агрегатах - матовый
Спайность		Совершенная в одном направлении по пинакоиду (010)
Твердость	6 - 7	2,5 – 3,5
Уд. вес	3,5	2,5
Другие свойства	Хрупкий	
Генезис		Экзогенный Регионально-метаморфический
Применение		Входят в состав бокситов и служат сырьем для получения глинозема

### **ГИДРАРГИЛЛИТ (гипбант) $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{Ga})$**

**Парагенезис:** находится только в бокситах.

**Диагностика:** походит на диаспир, от которого отличается твердостью.

## **10.2.2. ГРУППА ГИДРООКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА**

В этой группе рассматриваются гетит и его аморфная разновидность лимонит. Механическая смесь гетита, лимонита, глинистых минералов и кварца называется **бурым железняком**. Физические свойства гетита и лимонита приведены в табл.21.

### **ГЕТИТ $\text{HFeO}_2$**

**Разновидности:** *бурая стеклянная голова* - натечные агрегаты округлой формы с гладкой блестящей поверхностью, радиально-лучистые или параллельно-волокнистые в изломе, шелковистым блеском .

**Парагенезис:** являясь продуктом окисления Fe-содержащих минералов, главным образом сульфидов, гетит находится в ассоциации с ними: пиритом, марказитом, халькопиритом, пиротином и др.

**Диагностика:** походит на лимонит (см.), гематит, куприт. От гематита, отличается чертой, от куприна - ассоциацией и чертой.

### **ЛИМОНИТ (гидрогетит) $\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$**

**Парагенезис:** аналогичен гетиту, часто встречается в псевдоморфозах по пириту.

**Диагностика:** походит на гетит, ярозит (см.). От гетита, с которым обычно распространен, отличается агрегатами (не образует натечных агрегатов с радиально-лучистым или параллельно-волокнистым строением),

## **10.2.3. ГРУППА ГИДРООКИСЛОВ МАРГАНЦА**

В группе рассматриваются мanganит и псиломелан (табл.22). Образуются они осадочным путем в условиях дефицита кислорода. В зонах окисления оба минерала неустойчивы и легко превращаются в пиролюзит.

### **МАНГАНИТ $\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$**

**Парагенезис:** пиролюзит, псиломелан и другие марганиевые минералы.

**Диагностика:** походит на пиролюзит, псиломелан (см.). От пиролюзита отличается окраской и чертой.

Таблица 21

Минералы образуют натечные агрегаты, оолиты, рыхлые землистые, шлаковидные, псевдоморфозы по пириту; окраска буровато-желтая, темно-бурая, черта ржаво-бурая

	Гематит	Лимонит
Химический состав и элементы-примеси	$\text{HFeO}_2$	$\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Сингония	Ромбическая	Аморфный
Облик кристаллов	Таблитчатый, игольчатый	
Агрегаты	Натечные с радиально-лучистым или параллельно-волокнистым строением (рис. 12.5, 12.10), конкреции, секреции, оолиты	Землистые, порошковатые, пористые, шлаковидные, псевдоморфозы по пириту
Цвет	Желто-бурый, темно-бурый	
Черта	Ржаво-бурая	
Блеск	Полуметаллический, алмазный (на граних кристаллов), матовый (в агрегатах)	Матовый
Спайность	Совершенная по пинакоиду (010)	
Твердость	4,5 – 5,5	1 – 5
Уд. вес	4 – 4,5	3 – 4
Генезис	Экзогенный в зонах окисления сульфидных месторождений гидротермальный	осадочный (болотные руды)
Применение	Важные железные руды	

Таблица 22

Минералы образуют плотные агрегаты, землистые, рыхлые, натечные, оолиты, дендриты; окраска темно-бурая, черная; черта черная (псиломелан) или бурая (манганит); твердость 3 - 6, в рыхлых агрегатах падает до 1; разлагают соляную кислоту с выделением хлора

	Манганит	Псиломелан
Химический состав и элементы-примеси	$MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$	$mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ (Co)
Сингония	Моноклинная	Ромбическая?
Облик кристаллов	Призматический	-
Агрегаты	Плотные массы, натечные, оолиты, землистые, рыхлые редко друзы	дендриты
Цвет	Темно-бурый, черный	Черный с сероватым оттенком
Черта	Бурая	Черная, иногда с сероватым оттенком
Блеск	Матовый Полуметаллический (в кристаллах)	
Спайность	Совершенная по пинакоиду (010)	
Твердость	3 - 4 (в рыхлых агрегатах падает до 1)	5 - 6
Уд. вес	4,0	4,8
Другие свойства	Разлагают соляную кислоту с выделением хлора	
Генезис	Экзогенный	
Применение	Марганцевые руды	

## **ПСИЛОМЕЛАН $m\text{MnO}\cdot\text{MnO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}(\text{Co})$**

Разновидности: черная стеклянная голова натечные агрегаты округлой формы с блестящей поверхностью; асболан - псиломелан с высоким содержанием кобальта.

**Парагенезис:** различные марганцевые минералы (пиролюзит, мanganит и др.).

**Диагностика:** походит на все минералы марганца (окислы и гидроокислы), от которых отличается чертой. От пиролюзита отличается отсутствием волокнистых индивидов или игольчатых кристаллов.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Охарактеризуйте особенности кристалломорфологических и физических свойств, экономическое значение окислов.
2. Какие минералы объединяются в гр. корунда, в чем заключаются морфологические особенности кристаллов?
3. Какие известны разновидности корунда, гематита?
4. Какие минералы класса окислов используются в промышленности как руды  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Sn}$ ?
5. По каким признакам отличаются гематит от гетита, ильменит от магнетита, коруна от кварца, кассiterит от рутила?
6. Какие Вы знаете минералы гр. окислов марганца? Охарактеризуйте их.
7. Какие минералы относятся к гр. радиоактивных и редких элементов? Назовите их генезис и парагенетическую ассоциацию.
8. Как проявляется радиоактивность минерала в образах пород?
9. Перечислите минералы гр. кварца.
10. Какие известны полиморфные модификации  $\text{SiO}_2$ .
11. Что называется халцедоном, агатом, ониксом?
12. Назовите разновидности кварца.
13. По каким признакам отличается аметист от флюорита?
14. Охарактеризуйте особенности химизма, кристалломорфологии, физических свойств, генезиса класса гидроокислов.
15. Какие минералы относятся в гр. гидроокислов  $\text{Al}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ?
16. Назовите признаки отличия пиролюзита и псиломелана, гетита и лимонита, браунита и мanganита.
17. При каких геологических процессах образуются диаспор, гидрагиллит? Назовите из парагенетические ассоциации.
18. Какая разновидность  $\text{SiO}_2$  называется опалом? Назовите генезис опала.
19. При каких процессах образуются валентинит, серванит?
20. В каких породах встречается тридимит? Назовите его отличия от кварца.

## ЛИТЕРАТУРА

### **Основная:**

1. Бетехтин А.Г. Минералогия. 1-е изд. М.: Госгеолтехиздат, 1950. 956с.
2. Бетехтин А.Г. Минералогия. 2-е изд. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 539с.
3. Булах А.Г. Общая минералогия. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 353с.
4. Годовиков А.А. Введение в минералогию. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1972. 232с.
5. Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1975. 519с.
6. Костов И. Минералогия. М.: Мир, 1971. 584с.
7. Лазаренко Е.К. Курс минералогии. М.: Высшая школа, 1971. 607с.
8. Миловский А.В., Кононов О.В. Минералогия. М.: Высшая школа, 1982. 311с.

### **Дополнительная:**

1. Баженов А.И., Полуэктова Т.И. Практическая минералогия. Томск: Изд-во ТПИ, 1981. 65с.
2. Минералогическая энциклопедия. /Под ред. К.Фрея. Л.: Недра, 1985. 512с.
3. Минералы. Справочник. Т.І. /Под ред. Ф.В.Чухрова, Э.М.Бонштедт- Куплетской. М.: АНСССР, 1960. 616с.
4. Минералы. Справочник. Т.ІІ/І. /Под ред. Ф.В.Чухрова, Э.М.Бонштедт- Куплетской. М.: АНСССР, 1963. 295с.
5. Минералы. Справочник. Т.ІІ/ІІ, ІІІ. /Под ред. Ф.В.Чухрова, Э.М.Бонштедт- Куплетской. М.: Наука, 1965, 341с., 1967. 675с.
6. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии. Под общ. ред. Э.М. Куплета. М.: Недра, 1972. 357с.
7. Полуэктова Т.И., Новоселов К.Л. Геометрическая кристаллография. Томск: Изд-во ТПУ, 1988. 44с.

# УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Агат $\text{SiO}_2$ , разн.	108	Молибденит $\text{MoS}_2$	66,	64
Алмаз С . . . . .	.57,	58 Морион $\text{SiO}_2$ , разн.	.108	
Аметист $\text{SiO}_2$ , разн.	.108	Мушкетовит $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , разн.	.94	
Антимонит $\text{Sb}_2\text{S}_3$ .	.62,	64 Мышияк As	.55,	56
Арсенопирит $\text{FeAsS}$	.73,	74 Никелин $\text{NiAs}$	.71,	71
Аурипигмент $\text{As}_2\text{S}_3$	.79,	77 Оникс $\text{SiO}_2$ , разн.	.108	
Блеклая руда		Опал $\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$	.110	
$\text{Cu}_{12}(\text{As},\text{Sb})_4\text{S}_{13}$	.80,	81 Пентландит $\text{FeNiS}$	.68,	69
Борнит $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	.72,	71 Пирит $\text{FeS}_2$ . . .	.66,	69
Браунит		Пиролюзит $\text{MnO}_2$	.100,	98
$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_6\text{SiO}_{12}$ ..	.97,	98 Пирротин $\text{FeS}$	.67,	69
Буланжерит $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$	.80,	81 Пирохлор		
Валентинит $\text{Sb}_2\text{O}_3$	.100,	101 $(\text{Na},\text{Ca},\text{Ce})_2(\text{Nb},\text{Ta},\text{Ti})_2\text{O}_6$		
Висмут Bi . . . . .	.56,	56 $(\text{F},\text{OH})$ . . . . .	.104,	105
Висмутин $\text{Bi}_2\text{S}_3$	.63,	64 Платина Pt . . . . .	.55,	53
Галенит $\text{PbS}$	.62,	64 Плеонаст $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , разн.	.94	
Галит $\text{NaCl}$	.84,	85 Поликсен Pt, разн.	.55	
Гаусманит $\text{Mn}^2\text{Mn}^{3+}\text{O}_4$	.100,	98 Псиломелан		
Гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$	.93,	91 $\text{mMnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$	.116,	115
Гетит $\text{HFeO}_2$	.113,	114 Реальгар $\text{AsS}$	.79,	77
Гидрагиллит $\text{Al}(\text{OH})_3$	.113,	112 Рубин $\text{Al}_2\text{O}_3$ , разн.	.90	
Горный хрусталь		Рутил $\text{TiO}_2$	.101,	103
$\text{SiO}_2$ , разн.	.108	Сапфир $\text{Al}_2\text{O}_3$ , разн.	.90	
Графит С . . . . .	.57,	58 Серпа S	.57,	58
Джемсонит $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$	.80,	81 Сердолик $\text{SiO}_2$ , разн.	.108	
Диаспор $\text{AlO}_2$	.111,	112 Серебро Ag	.55,	53
Железо Fe . . . . .	.55,	53 Сервантит $\text{Sb}_2\text{O}_4$	.100,	101
Золото Au . . . . .	.55,	53 Сильвин KCl	.87,	85
Ильменит $\text{FeTiO}_3$	.93,	91 Смальтин $\text{CoAs}_{2-3}$	.75,	74
Карналлит		Сфалерит $\text{ZnS}$	.76,	77
$\text{MgCl}_2 \cdot \text{RCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	.87,	85 Теннантит		
Кассiterит $\text{SnO}_2$	.101,	103 $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ , разн.	.80	
Кварц $\text{SiO}_2$	.108,	109 Тенорит $\text{CuO}$	.90,	89
Киноварь $\text{HgS}$	.76,	77 Тетраэдрит		
Клейофан $\text{ZnS}$ , разн.	.75	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , разн.	.80	
Кобальтин $\text{CoAsS}$	.73,	74 $\beta$ -Тридимит $\text{SiO}_2$	.110	
Ковеллин $\text{CuS}$	.79,	77 Уранинит $\text{UO}_2$	.104,	105
Колумбит-танталит		Феррокобальтин		
$(\text{Fe},\text{Mn})(\text{Nb},\text{Ta})_2\text{O}_6$	.107,	105 $\text{CoAsS}$ , разн.	.73	
Куприт $\text{Cu}_2\text{O}$	.90,	89 Флюорит $\text{CaF}_2$	.83,	85
Корунд $\text{Al}_2\text{O}_3$	.90,	91 Халцедон $\text{SiO}_2$ , разн.	.108	
Лимонит $\text{HFeO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$	.113,	114 Халькозин $\text{Cu}_2\text{S}$ . . .	.62,	64
Магнетит $\text{Fe}_3\text{O}_4$	.94,	95 Халькопирит $\text{CuFeS}_2$	.68,	69
Манганит		Хромшпинелид		
$\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$	.113,	115 $(\text{Mg},\text{Fe})(\text{Fe},\text{Cr},\text{Al})_2\text{O}_4$	.97,	95
Марказит $\text{FeS}_2$ . . .	.67,	69 Шпинель $\text{MgAl}_2\text{O}_4$	.94,	95
Марматит $(\text{Zn},\text{Fe})\text{S}$ , разн.	.75	Эшинит		
Мартит $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , разн.	.93	$(\text{Ce},\text{Ca},\text{Th})(\text{Ti},\text{Nb})_2\text{O}_6$	.107,	105
Медь Cu . . . . .	.52,			
Миллерит $\text{NiS}$	.67,			

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Часть I. Общая минералогия	5
Введение	5
1. Химический состав минералов	6
1.1. Минералы постоянного и переменного химического состава	6
1.2. Вода в минералах	7
2. Физические свойства минералов	9
2.1. Оптические свойства	9
2.2. Механические свойства	10
2.3. Прочие свойства	12
3. Морфология кристаллов и агрегатов минералов	13
3.1. Морфология кристаллов минералов	13
3.2. Морфология агрегатов минералов	17
3.3. Коллоидные растворы и коллоидные минералы	27
4. Процессы минералообразования	30
4.1. Эндогенные процессы	30
4.1.1. Магматический процесс	31
4.1.2. Пегматитовый процесс	32
4.1.3. Гидротермальный процесс	34
4.1.4. Контактовый процесс	36
4.2. Экзогенные процессы	38
4.2.1. Процессы выветривания	38
4.2.2. Процессы осадконакопления	42
4.3. Региональный метаморфизм	44
4.4. Некоторые понятия, используемые в минералогии	45
5. Методические указания к определению минералов	48
6. Классификация минералов	51
Часть II. Описательная минералогия	52
7. Тип I. Самородные элементы	52
7.1. Самородные металлы	52
7.2. Самородные полуметаллы	55
7.3. Самородные неметаллы	57
8. Тип II. Сульфиды, сульфосоли и их аналоги	61
8.1. Класс 1. Сульфиды и их аналоги	61
8.1.1. Блески	62
8.1.2. Колчеданы	66
Желтые колчеданы . . . . .	66

Красные колчеданы	71
Белые колчеданы	72
8.1.3. Обманки	76
8.2. Класс 2. Сульфосоли .....	80
9. Тип III. Галоидные соединения (галогениды)	... 83
9.1. Класс 1. Фториды	83
9.2. Класс 2. Хлориды .....	84
10. Тип IV. Окислы и гидроокислы	88
10.1. Класс 1. Окислы	88
10.1.1. Группа окислов меди	88
10.1.2. Группа корунда	90
10.1.3. Группа шпинели .....	94
10.1.4. Группа окислов марганца	97
10.1.5. Группа окислов сурьмы .....	100
10.1.6. Группа рутила .....	.100
10.1.7. Группа минералов радиоактивных и редких элементов .....	102
10.1.8. Группа кварца .....	107
10.2. Класс 2. Гидроокислы .....	111
10.2.1. Группа гидроокислов алюминия	111
10.2.2. Группа гидроокислов железа	113
10.2.3. Группа гидроокислов марганца	.113
Литература	.117
Указатель минералов	.118

Александр Иванович Баженов  
 Константин Леонидович Новоселов  
 Тамара Ивановна Полуэктова

## МИНЕРАЛОГИЯ

**Часть I. Общая минералогия**  
**Часть II. Описательная минералогия**

**Самородные элементы, сульфиды, сульфосоли и их аналоги,  
 галогениды, окислы и гидроокислы**

Учебное пособие

Научный редактор доц., к.г.-м.н.  
 Компьютерная верстка

Баженов А.И.  
 Аршинова О.Ю.



Подписано к печати 05.04.2001. Формат 60x84/16. Бумага офсетная №1.  
 Печать RISO. Усл.печ.л. 6.98. Уч.-изд. 6.32. Тираж 50 экз. Заказ № 115.  
 ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ №1 от 18.07.94. Типография ТПУ.  
 634034, Томск, пр.Ленина, 30.