

A large, vibrant green emerald crystal is the central focus, surrounded by dark, jagged mineral fragments. The emerald has a distinct octahedral habit and a rich, saturated green color. The surrounding minerals are dark, almost black, with some lighter, silvery-grey inclusions, suggesting a complex mineral specimen.

# ОСНОВЫ МИНЕРАЛОГИИ

Лекция 2

# Лекция 2. Минералы и горные породы

- **План лекции**

- 1. Минералы и их структуры
- 2. Морфология минералов
- 3. Физические свойства минералов
- 4. Происхождение минералов
- 5. Классификация минералов
- 6. Горные породы

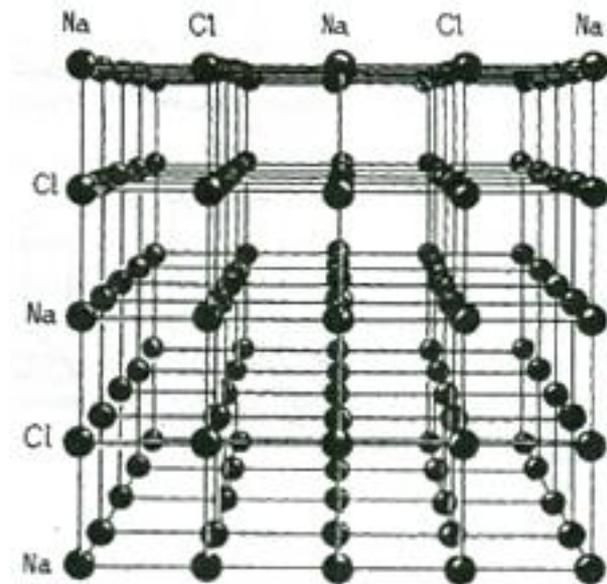
- **1. Минералы и их структуры**

- **Минералогия** - наука, изучающая минералы. Если точнее, то минералогия – это наука о минералах, их составе, строении, свойствах, условиях образования и изменения.
- **Минералы** – природные химические соединения или самородные элементы, образовавшиеся при геологических и геохимических процессах, протекающих в земной коре. Минералы имеют определенный химический состав, структуру, физические свойства.

**Название «минерал»** происходит от позднелатинского слова MINERA, что означает рудный штупф или кусок руды. Можно сказать – образец руды.

# 1.1. СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

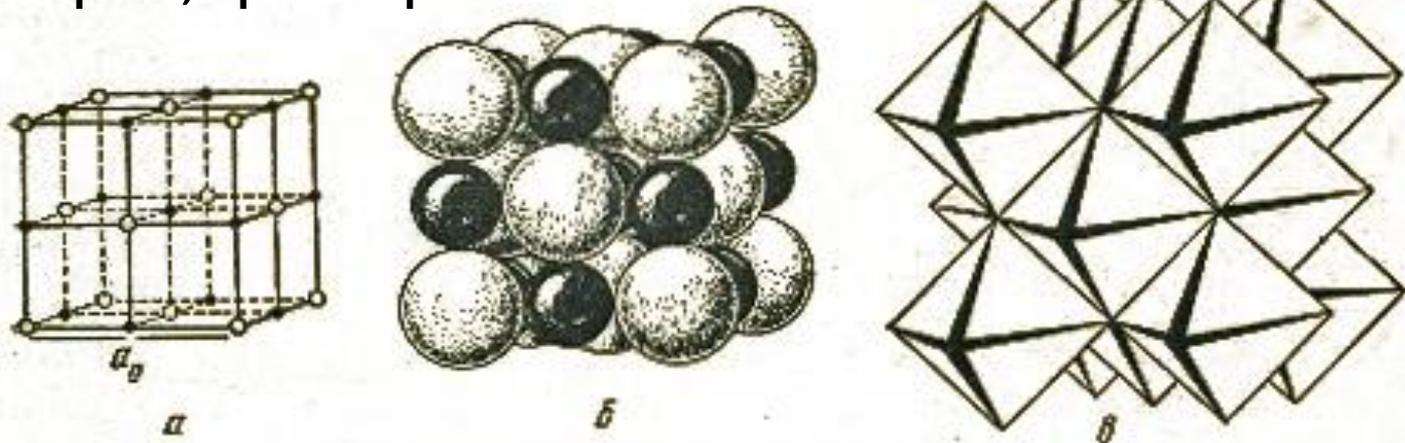
- Все минералы характеризуются определенным химическим составом и внутренним строением или - структурой. Состав и структура взаимосвязаны.
- Минералы бывают кристаллическими или аморфными. Кристаллические минералы имеют кристаллическую структуру, у аморфных минералов нет кристаллической структуры.
- **Структуры отличаются характером расположения атомов.**  
То есть, атомы расположены в строго определенном порядке, создавая **кристаллическую** (пространственную) **решетку**. Примером является минерал галит (NaCl), кристаллическая решетка которого показана на рисунке.  
**Свойства любого минерала определяются его структурой.**



Кристаллическая решетка галита

- Всё многообразие кристаллических структур сводится к 5 типам:
  1. Координационные
  2. Островные
  3. Цепочечные
  4. Слоистые
  5. Каркасные

- 1. Координационные структуры.** Структуры, в которых атомы или ионы распределены равномерно, расстояние между ними одинаковое. Для таких структур в минералах с металлической и ионной химической связью характерна плотнейшая упаковка металлов (золото самородное), анионов (кислород в гематите) или катионов (кальция во флюорите). *Примеры* – алмаз, самородное золото, галит, галенит, сфалерит, флюорит.



Координационный тип структуры (галенит):

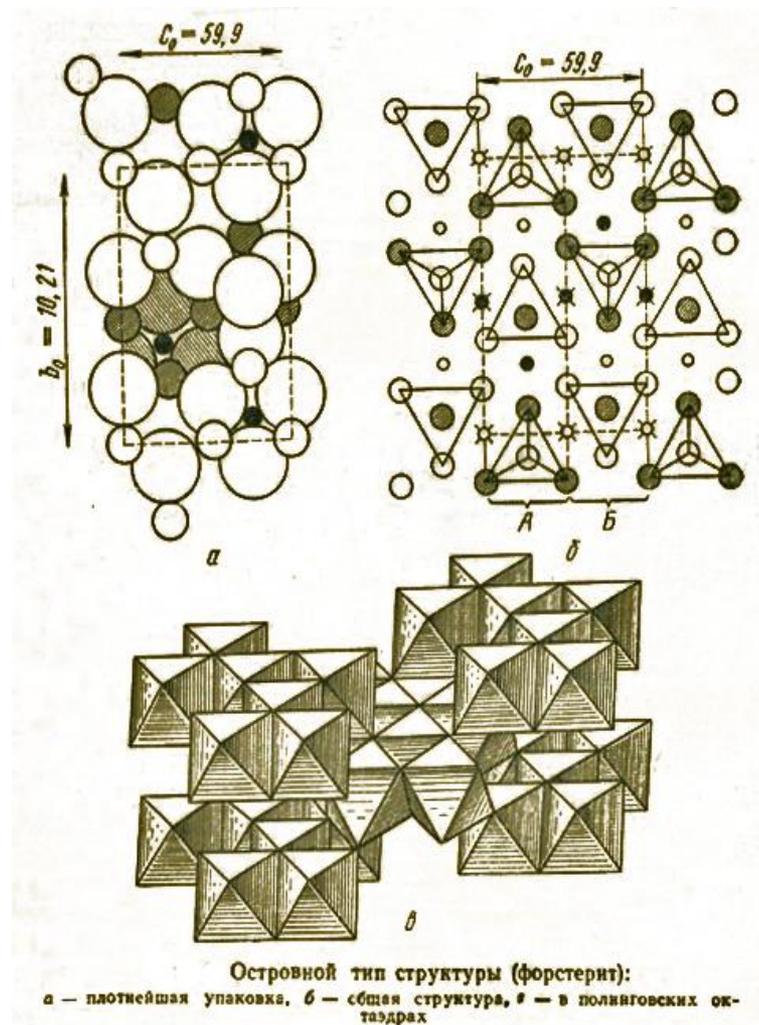
*a* — положение центров ионов (черные кружочки — Pb, белые — S), *b* — расположение сфер атомов, *c* — структура галенита в полигональных октаэдрах

- 2. Островные структуры.** В кристаллической решетке основу составляет *кремнекислородный тетраэдр*, в котором ион кремния  $\text{Si}^{4+}$  связан с четырьмя ионами кислорода  $\text{O}$ . Остальные связи кислорода идут на соединение с другими ионами.

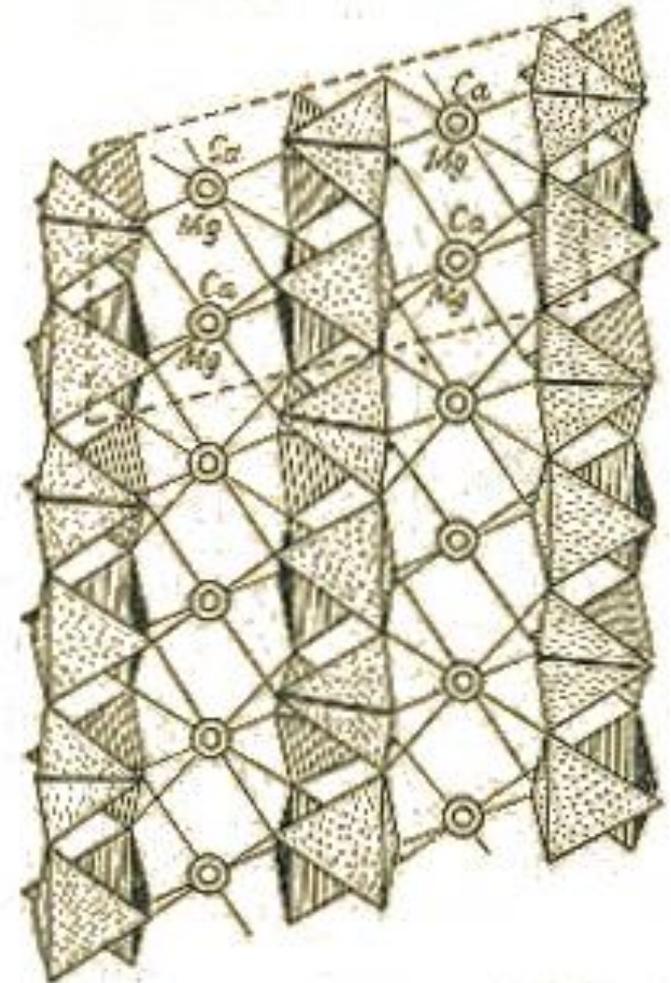
В таких структурах атомы распределены обособленными группами, представляя «острова» или, как их правильно называют, радикалы. Соответственно, у них различные межатомные расстояния.

**Внутри островов межатомные расстояния меньше, а химические связи более прочные, чем связи с окружающими атомами.**

*Пример* - силикаты с изолированным тетраэдрическим анионным радикалом  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ : оливин  $(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$ , топаз  $\text{Al}_2(\text{F,OH})_2[\text{SiO}_4]$ , гранаты  $(\text{Mg,Fe,Mn})\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ ; карбонаты с изолированным треугольным радикалом  $[\text{CO}_3]^{2-}$ : кальцит  $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ , доломит  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]$  и др. В других случаях остров имеет более

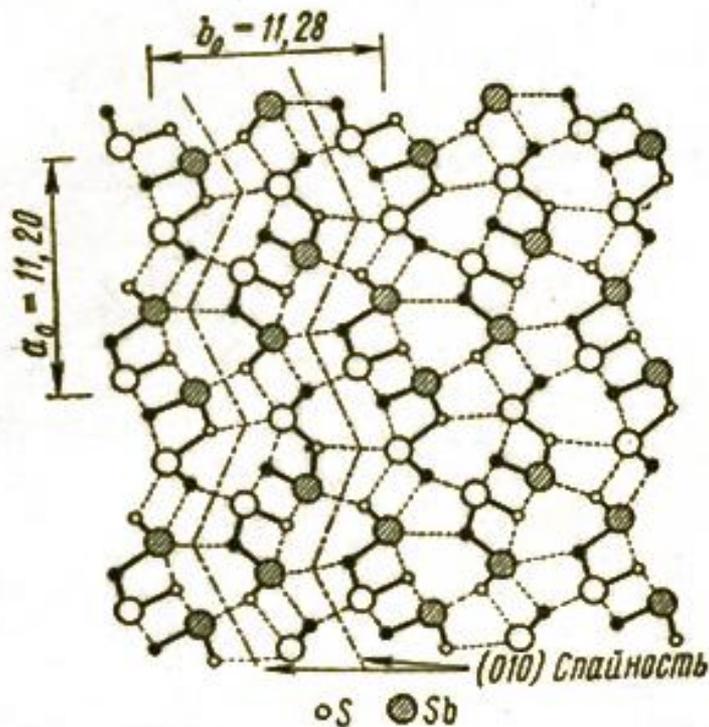


- **3. Цепочечные структуры.** Такие структуры характеризуются бесконечными группами атомов, расположенных в виде анионных цепочек. Цепочечный характер структуры определяется четкой линейной направленностью.
- **Прочность в пределах цепочки больше, чем между ними.**
- Цепочки могут быть одинарными и сдвоенными.
- **Одинарные** в ромбических и моноклинных пироксенах: энстатит  $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ , диопсид  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ .
- **Сдвоенные** в амфиболах: тремолит  $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[(\text{OH})_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}]]$ , антофиллит  $(\text{MgFe})_7(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$ .
- **Сдвоенные цепочки называются ленточными.**
- Например, антимонит  $\text{Sb}_2\text{S}_3$



Цепочечный тип структуры  
(диопсид —  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ )

- 4. Слоистые структуры (листовые).** Атомы образуют группировки слоями. Бывают двух- четырехслойные пакеты. Особенность – прочность внутри слоя больше, чем между слоями. Например, у каолинита и хризотила – двухслойные пакеты; у талька  $Mg_3(OH)_2[Si_4O_{10}]$ , биотита, мусковита – трехслойные; у хлоритов – четырехслойные пакеты.

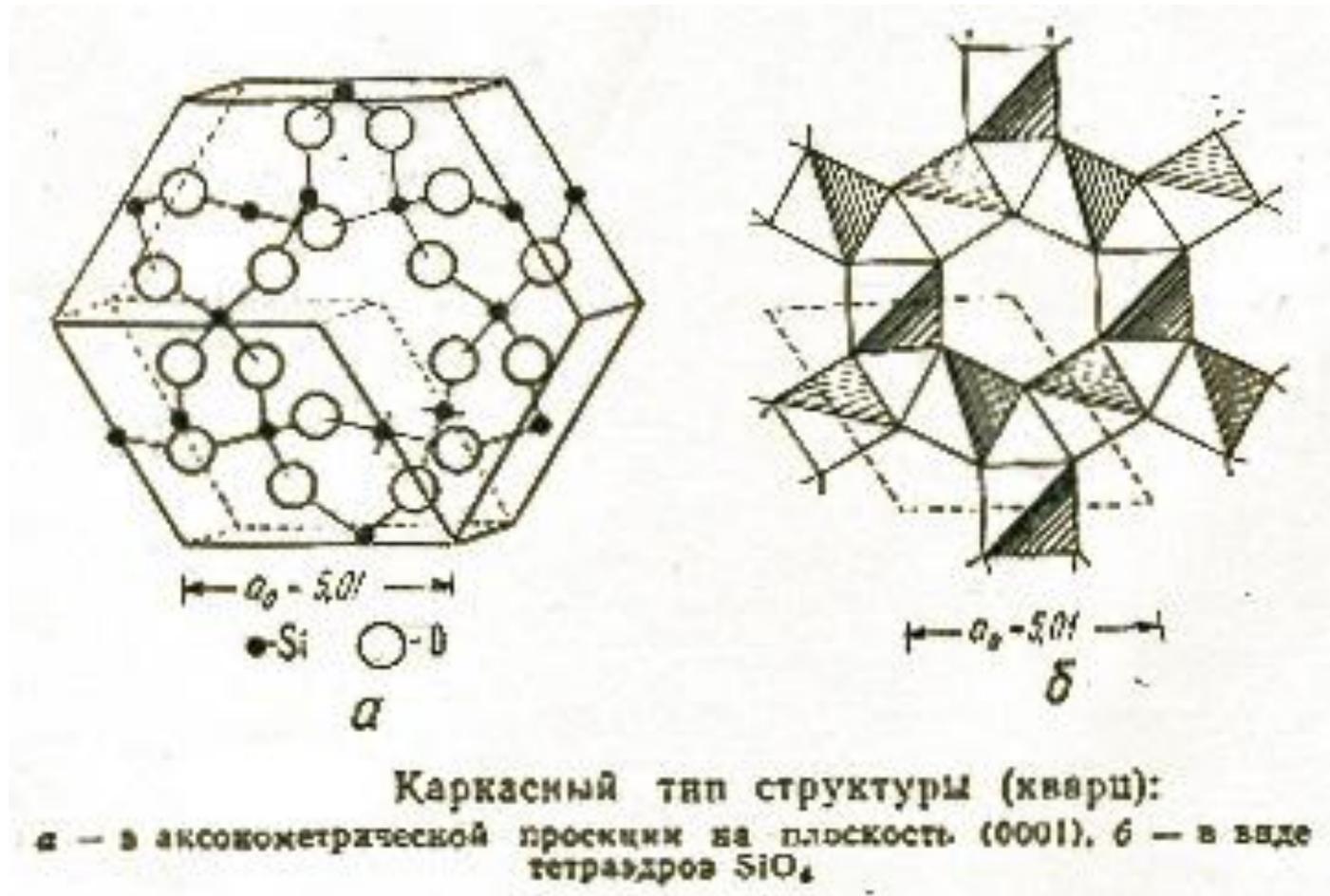


Ленточный тип структуры (анти-монит)



Слоистый тип структуры (ковеллин)

- **5. Каркасные структуры.** Такие структуры характеризуются ажурным объемным соединением атомов в виде трехмерного каркаса. Пример – кварц, полевые шпаты.



## 2. МОРФОЛОГИЯ МИНЕРАЛОВ

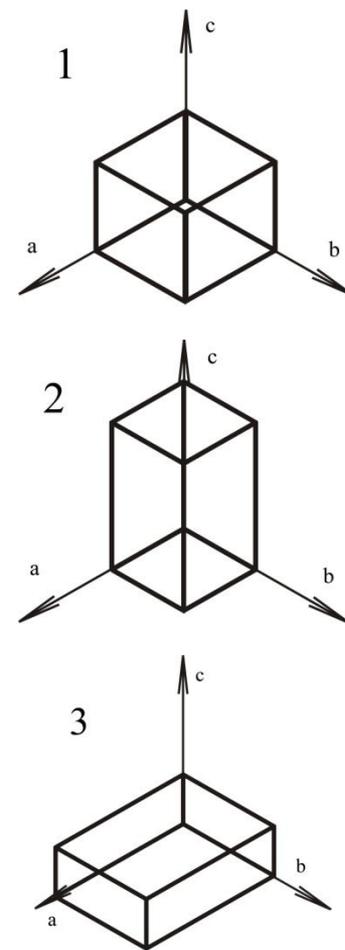
Кристаллы образуются при следующих условиях:  
из пересыщенных растворов,  
из расплавов,  
в парообразном состоянии,  
в твердом состоянии при перекристаллизации.

Рост происходит за счет отложения на гранях новых слоев. Грани кристаллов нередко искажаются под влиянием внешних причин: давления, направления движения растворов, свободного пространства. Наиболее благоприятными для роста являются пустоты и трещины.

При описании внешнего вида кристалла (морфологии) применяют понятие облик или габитус.

**В природе существует кристаллы трех основных типов обликов:**

1. Изометрический  $a=b=c$  (алмаз, гранаты)
  2. Удлиненный  $a=b < c$  (берилл, изумруд)
  3. Уплощенный  $a=b > c$  (слюды: биотит, мусковит)
- Кроме этих обликов могут быть боченовидный, клиновидный, скипетровидный и др.



## 2. 1. Сростки и агрегаты минералов

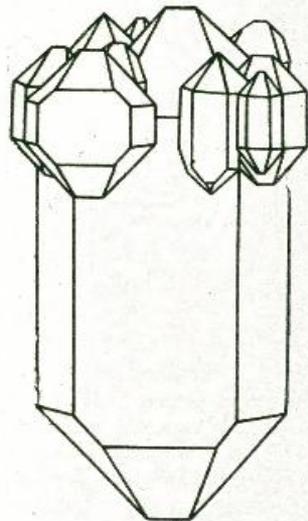
- Кристаллы редко бывают одиночными, чаще они образуют сростки или встречаются в виде агрегатов – скоплений минералов.

Среди сростков различают:

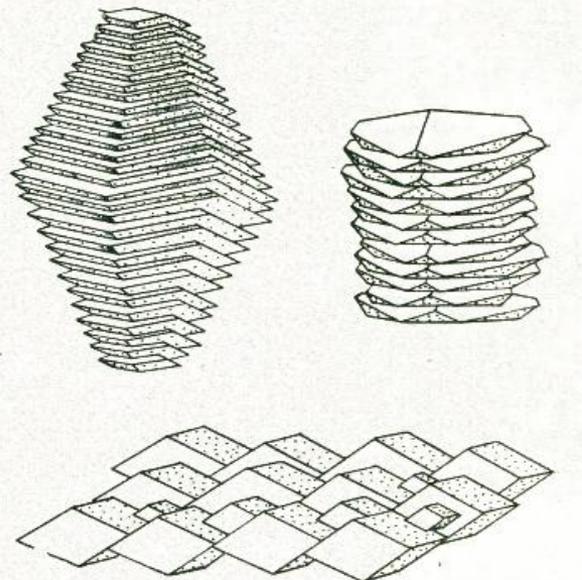
- параллельные сростки
- двойники

### 1) Параллельные сростки

Такие сростки кристаллов минералов, в которых все грани первого кристалла параллельны соответствующим граням второго минерала. Пример кристаллы кварца и флюорита. По условиям образования они могут быть сингенетическими и эпигенетическими.



Параллельно-ориентированное срастание кристаллов кварца (скипетровидный кварц)



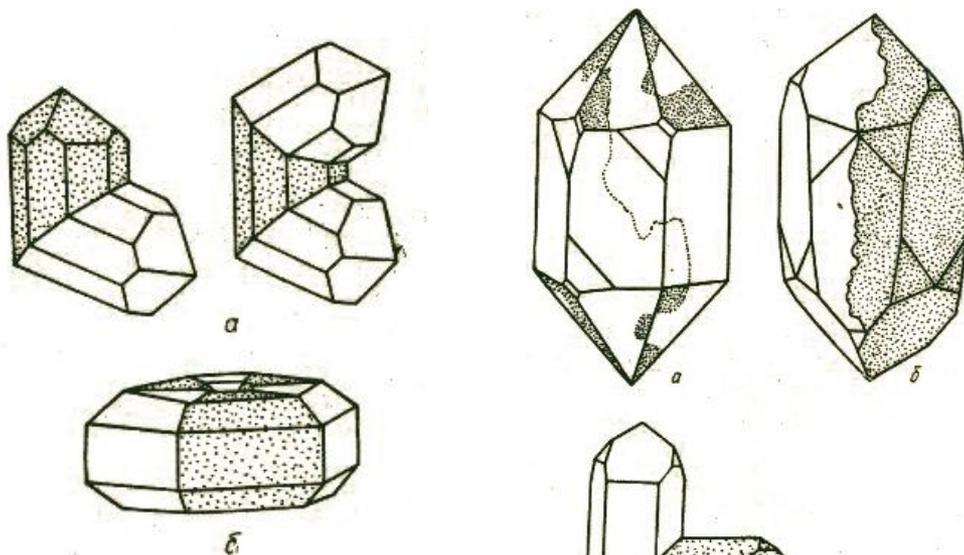
Параллельно-ориентированные срастания кристаллов кальцита. Тырныаузское месторождение (Сев. Кавказ)

## 2) Двойники

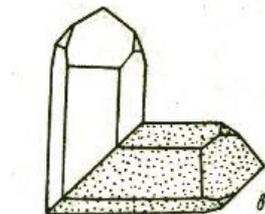
Закономерное срастание двух кристаллов одного и того же минерала. Могут быть также тройники и четверники.

По внешнему виду выделяют двойники:

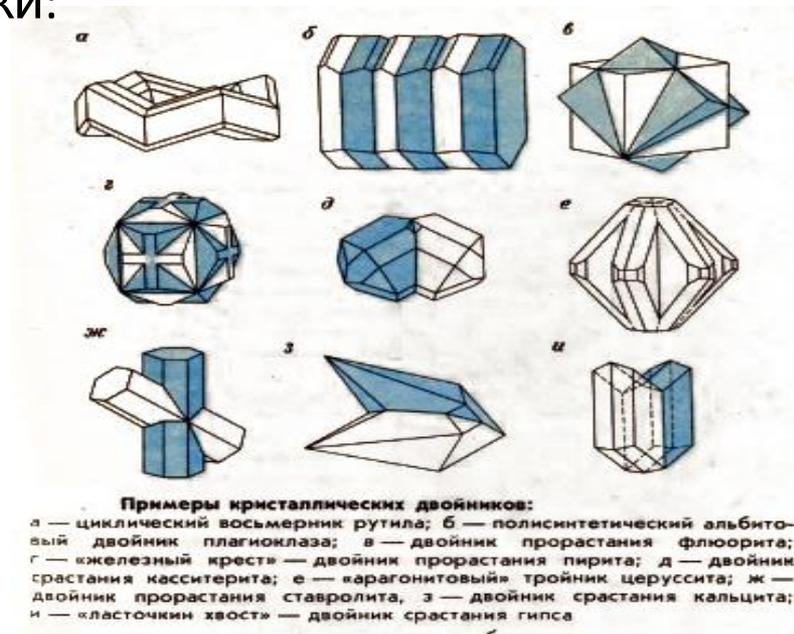
- Коленчатые
- Клиновидные
- Звездчатые



Коленчатые (а) и циклические (б) двойники, характерные для касситерита и рутила

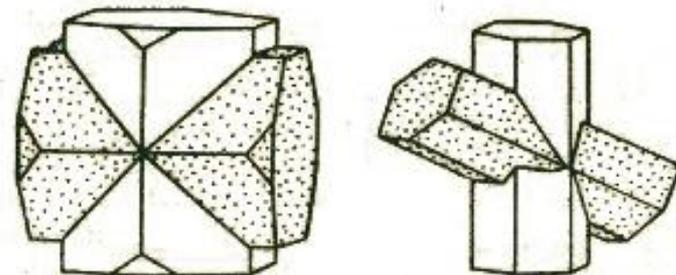


Дофинейский (а), бразильский (б) и японский (в) двойники кварца



Примеры кристаллических двойников:

а — циклический восьмерник рутила; б — полисинтетический альбитовый двойник плагиоклаза; в — двойник прорастания флюорита; г — «железный крест» — двойник прорастания пирита; д — двойник срастания касситерита; е — «карагонитовый» тройник церуссита; ж — двойник прорастания ставролита; з — двойник срастания кальцита; и — «ласточкин хвост» — двойник срастания гипса



Крестообразные двойники прорастания ставролита

### 3)Агрегаты

Это различные скопления минералов.

По морфологии среди агрегатов выделяют:

- Зернистые
- Землистые
- Массивные, а также дендриты, друзы, секреции, конкреции, оолиты, сферолиты, натечные формы и др.

*Зернистые агрегаты* – скопления неправильно сросшихся зерен минералов в породе. Выделяют крупнозернистые, средне- и мелкозернистые.

Землистые агрегаты – напоминают рыхлую почву. Они характерны для минералов, образованных экзогенным путем.

Массивные – скрытокристаллическая порода.

- **Дендриты** – представляют собой фигуры в виде ветвей дерева. Образуются благодаря быстрому росту кристалла.

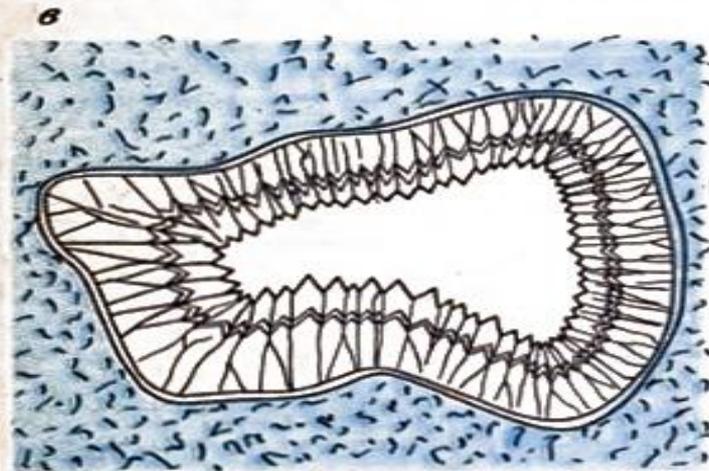
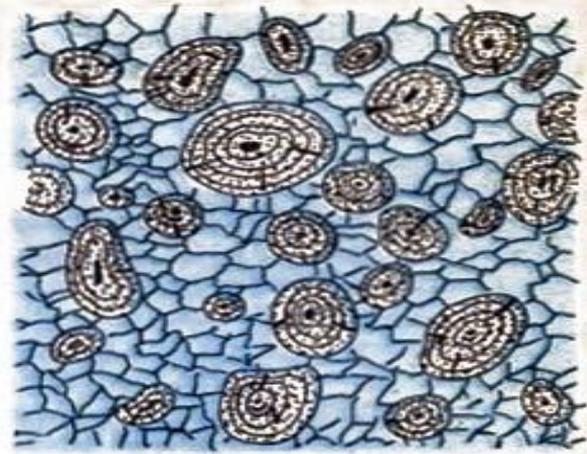
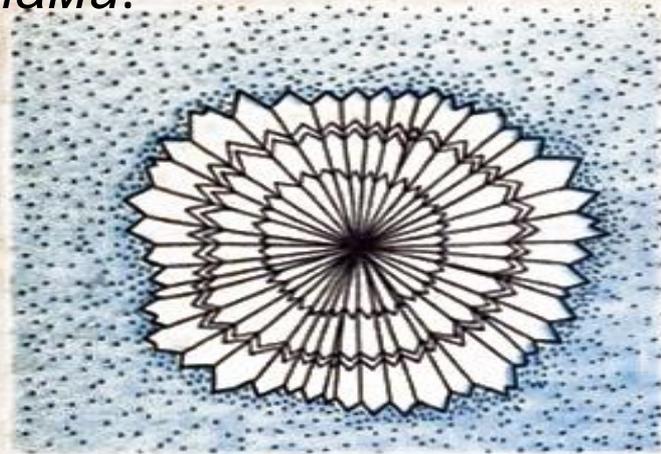


**Друзы (щетки)** – группы кристаллов, имеющих общее основание.





- **Секреция** – полость в горной породе, заполненная минеральным веществом. Растет от периферии к центру. В зависимости от их размера у них есть свое название. Крупные – от нескольких см до нескольких десятков см. называются *жеодами*. Более крупные до нескольких метров – *занорыши*, *погреба*, *камеры*. Мелкие называются *миндалинами*.



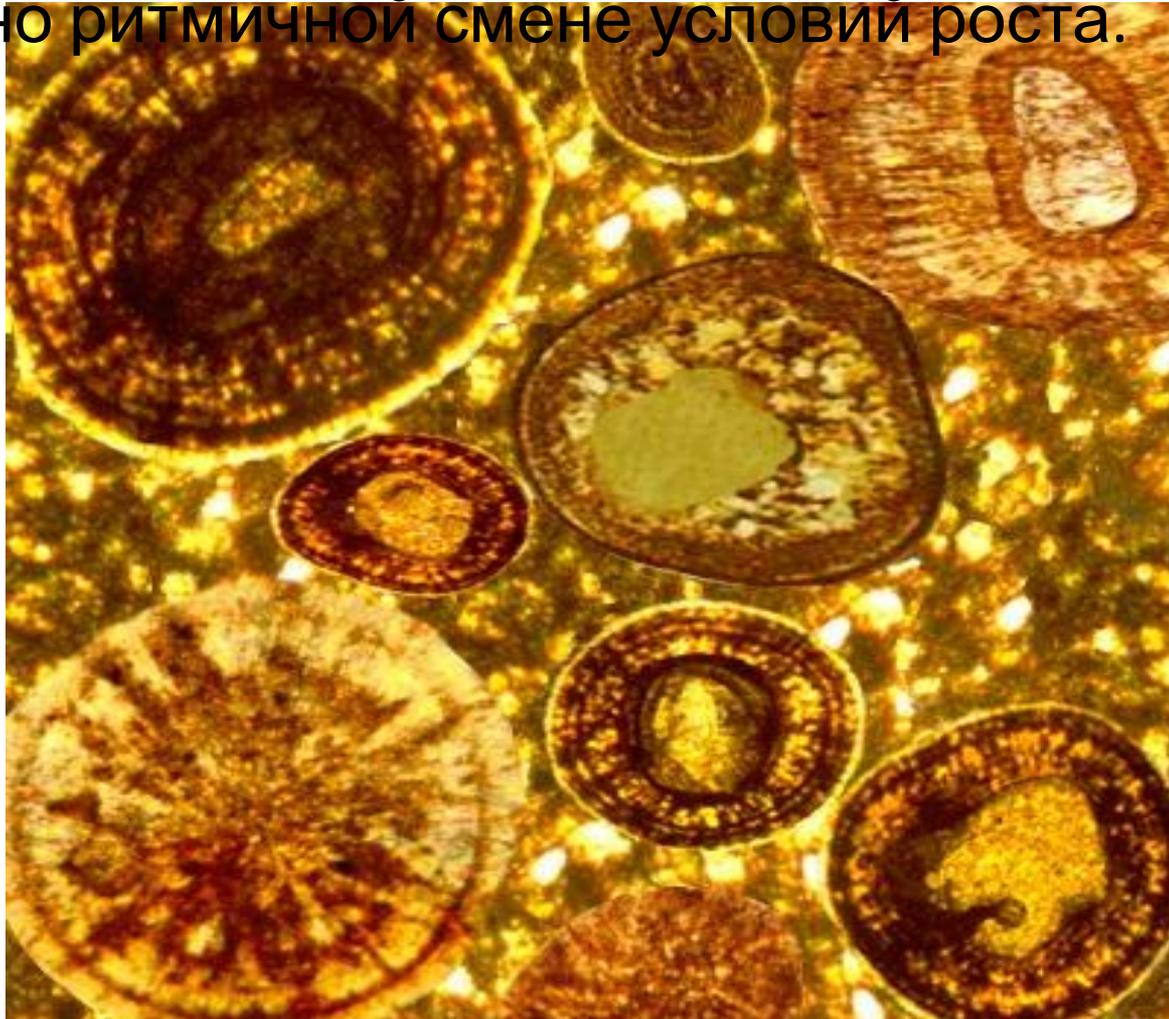
Конкреция [а], оолитовый агрегат [б], секреция [в]

- **Конкреции** – шаровидные агрегаты, радиально-лучистого строения. Растут от центра к периферии. В центре может находиться зерно, служившее затравкой при росте. Конкреции образуются в песках, глинах. Фосфорит, пирит, марказит и др.

Жеода аметиста



- **Оолиты** - агрегаты концентрически-скорлуповатого строения. Отдельные слои нарастают вокруг какого-то центра. Например, песчинки, осколки раковины. Такое строение обязано ритмичной смене условий роста.



**Сферолиты** - агрегаты сферической формы с радиально-волокнистым строением кристаллического вещества, расположенного вокруг некоторого центра.



### 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Каждый минерал имеет определенный химический состав и обладает только ему присущими физическими и химическими свойствами. По этим свойствам производится диагностика минералов. Основные физические свойства:

- ***Цвет (окраска)***
- ***Блеск***
- ***Прозрачность***
- ***Твердость***
- ***Спайность***
- ***Излом***
- ***Удельный вес (плотность)***
- ***Другие свойства минералов:*** магнитность, электропроводность, радиоактивность, растворимость в воде, вкус, запах и др.

- **Цвет**



## Блеск

*алмазный* – алмаз, сфалерит, киноварь, циркон, касситерит



*стеклянный* блеск – кварц, кальцит, малахит, корунд, ортоклаз





*металлический* – молибденит, пирит





*полуметаллический* – гематит.



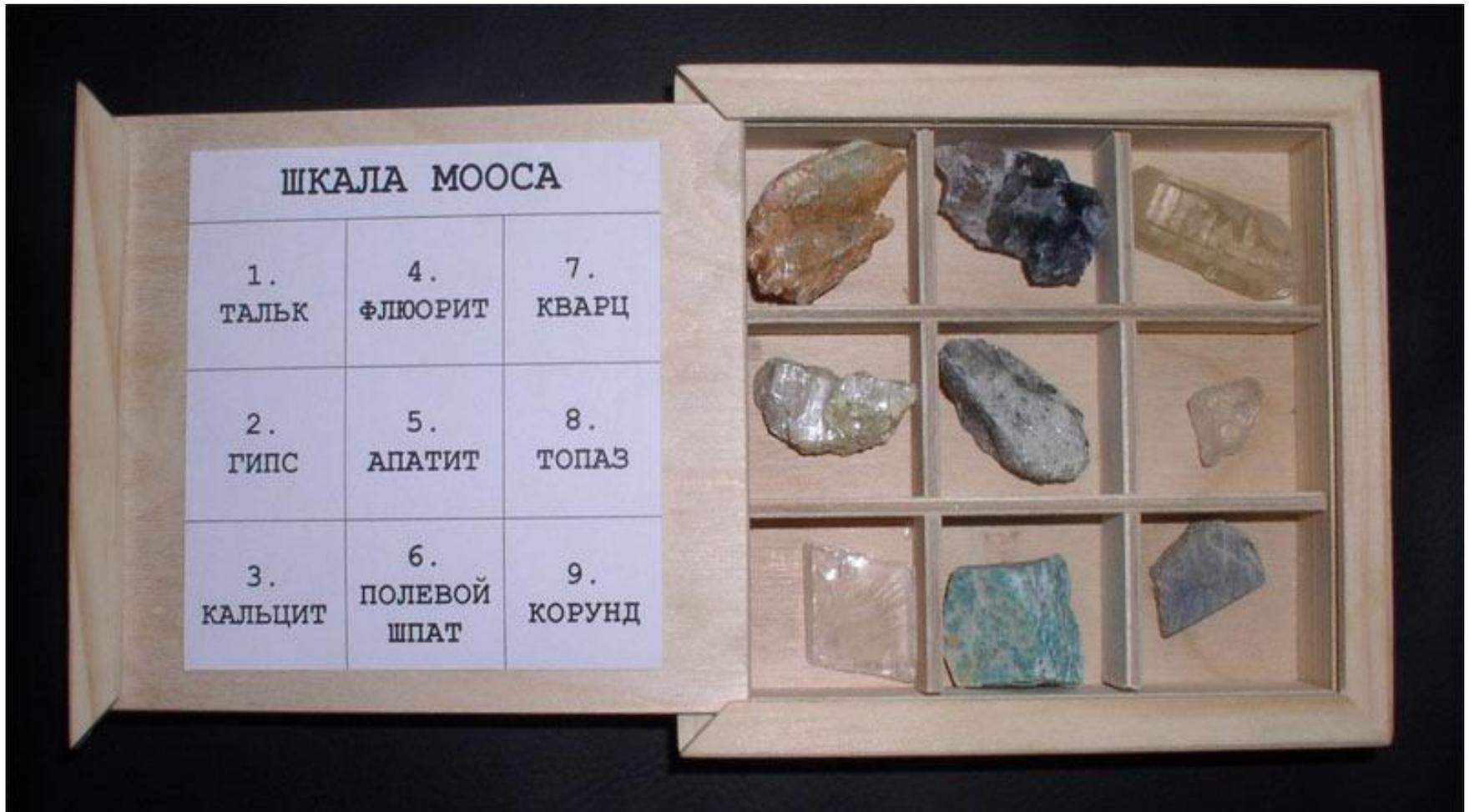
- У 65 -70% минералов блеск стеклянный.

# Твердость

- **Шкала Мооса (шкала твердости минералов)**

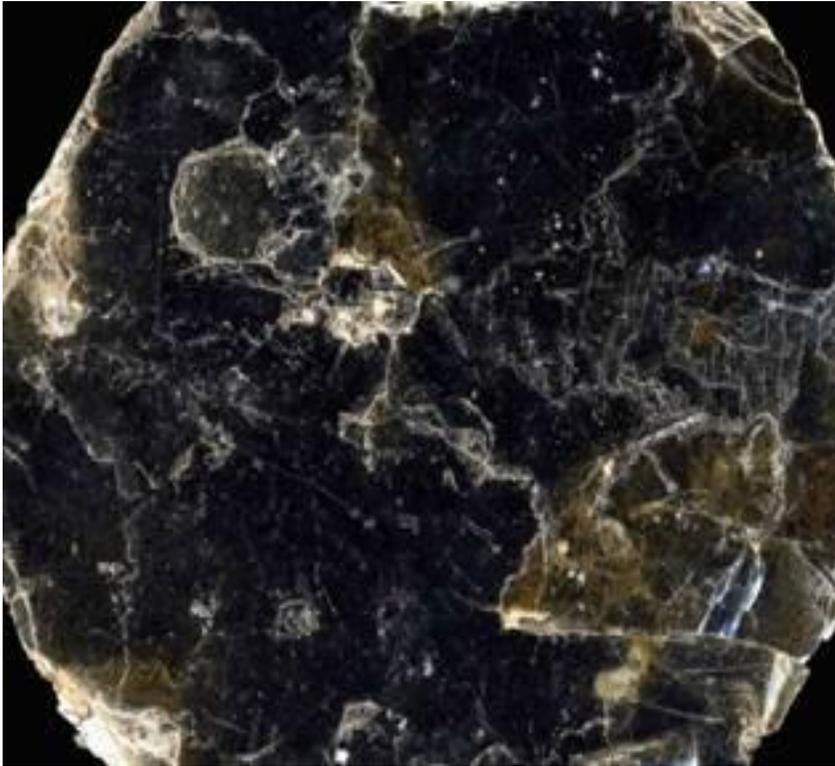
Эталонные минералы	Твердость по шкале Мооса	Истинная твердость, МПа	Визуальные признаки твердости	Твердость по группам минералов
Тальк	1	24	Чертится ногтем	Мягкие
Гипс	2	360	То же	То же
Кальцит	3	1090	Чертится ножом	Средней твердости
Флюорит	4	1890	То же	То же
Апатит	5	5360	То же	То же
Ортоклаз	6	7967	Царапает стекло	Твердые
Кварц	7	11200	То же	То же
Топаз	8	14270	Режет стекло	Очень твердые
Корунд	9	20600	То же	То же
Алмаз	10	100600	То же	То же

- Для сведения: твердость графита – 1, ногтя - 2,5, медной монеты – 3, стекла - 5-5,5, стального ножа – 5,5-6.

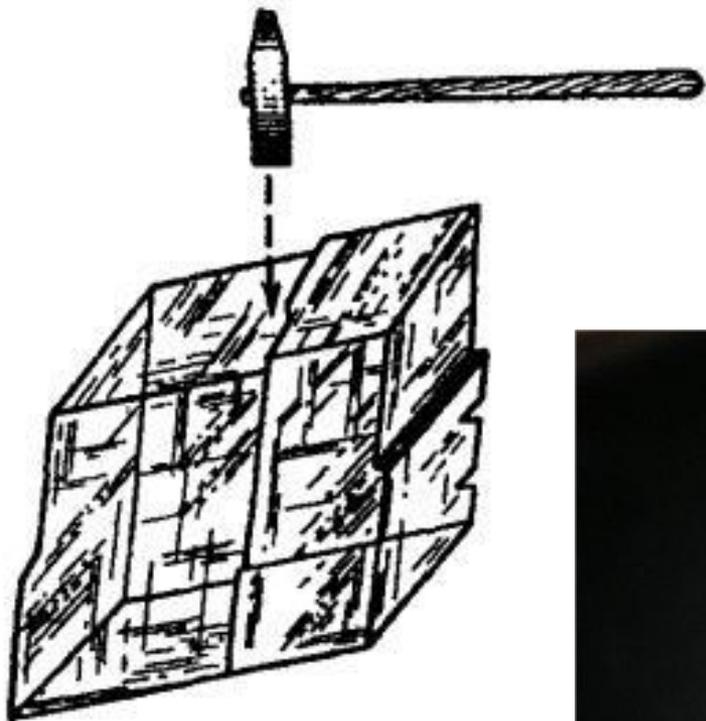


## Спайность

Весьма совершенная – слюда, гипс, асбест



Совершенная – кальцит, ортоклаз, родохрозит



Несовершенная – наблюдаются плоскости на отдельных участках



Весьма несовершенная – кварц, корунд

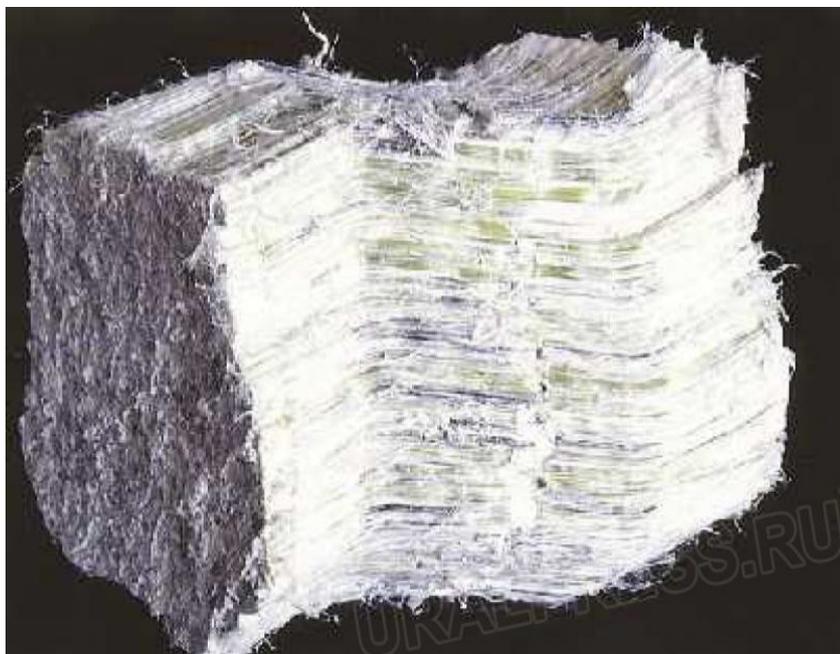


**Излом**

Раковистый



# Занозистый



- Ровный
- Ступенчатый



## Удельный вес (плотность)

Плотность минералов изменяется от  $0,6 \text{ г/см}^3$  (смола) до  $18-19 \text{ г/см}^3$  (золото, платина) и  $23,0 \text{ г/см}^3$  (осмистый иридий). У наиболее распространенных минералов плотность  **$2,5 - 3,0 \text{ г/см}^3$** .

По плотности различают:

- *легкие* до  $2,5 \text{ г/см}^3$ ;
- *средние* –  $2,5 - 2,8 \text{ г/см}^3$
- *тяжелые* – более  $2,8 \text{ г/см}^3$ .

## Другие свойства минералов

- Радиоактивность (около 100 минералов), растворимость в воде (галит, сильвин) и в кислотах (кальцит, доломит), магнитность (магнетит), электропроводностью (рудные минералы).
- Благодаря некоторым свойствам минералы применяют в лечебных целях.

## 4. ПРОИСХОЖДЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

Минералы могут образовываться и расти в разных условиях внешней среды, называемых процессами минералообразования. По условиям образования они разделяются на:

- эндогенные,
- экзогенные,
- метаморфические
- космогенные.

# 4.1. Классификация процессов минералообразования

- I. Эндогенные процессы ( $>P_T$ )
  1. Собственно магматические. ( $>P_T$ , материнский расплав);
  2. Пегматитовые ( $>P_T$ , расплав + летучие компоненты);
  3. Постмагматические процессы ( $>P_T$ , жидкая фаза + газообр. составл.);
    - а) контактово-метасоматические (жид. фаза + газ): метасоматические, скарновые (контактово-метасоматические), грейзеновые.
    - б) гидротермальные (жидкая фаза)
    - в) пневматолитовые (из вулканич. эксгаляций) ( жидк.+газ, жидк, газ)
- II. Экзогенные процессы ( $< P_T$ , водная среда)

Минералообразование в коре выветривания

Инфильтрационный процесс

Осадочное обр. (процессы осадконакопления);

Россыпеобразование
- III. Метаморфические ( $>P_T$ )
- IV. Космогенные ( $>P_T$ ).

# Эндогенные процессы (глубинные)

Эндогенные процессы минералообразования происходят в глубинных недрах Земли и связаны с магматической деятельностью или метасоматическими преобразованиями пород. Протекают при высоких температурах и давлениях.

При застывании магмы образуются различные магматические породы и минералы (магматический процесс), его разновидностью является пегматитовый процесс, при котором образуется расплав и выделяются летучие компоненты. Далее происходят постмагматические процессы. При этом отделяющиеся от магмы газы и водные растворы переносят различные вещества, которые выделяются в виде минералов (пневматолитовый и гидротермальный процессы).

Температура кристаллизации магматических пород колеблется от 1300 до 700°C, давление – от 5500 до 500 бар. Связанные с магматическим процессом другие процессы происходят при более низких T и P.

# Экзогенные процессы (поверхностные)



**Экзогенные процессы минералообразования** происходят на поверхности Земли, близ поверхности, в атмосфере или гидросфере. Минералы, которые при этом образуются, являются вторичными, т.е. связаны с разрушением ранее существовавших пород и минералов.

Глинистые минералы образуются в процессе выветривания магматических минералов (полевых шпатов, слюд). Некоторые минералы выпадают в виде солей в водах морей и озер (галит  $\text{NaCl}$ , сильвин  $\text{KCl}$ , мирабилит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$ ), или за счет жизнедеятельности различных организмов (кальцит, опал).

К экзогенным относятся биогенные процессы минералообразования - процессы, связанные с жизнедеятельностью организмов. Среди них выделяют 2 главных процесса - выветривание и осадконакопление.

# Метаморфические процессы

Это процессы преобразования эндогенных и экзогенных продуктов в результате изменения физико-химических условий. Под воздействием высоких температур и давлений происходит преобразование (метаморфизм) ранее образованных осадочных и магматических минералов. Без расплавления вещества, с участием магматических газов и паров воды происходит перекристаллизация вещества: известняки переходят в мраморы, гранит – в гнейс, глина – в сланец и т.д.

Выделяют контактовые и региональные процессы.

- *Контактовые процессы* происходят непосредственно в зоне контакта минеральных комплексов. Связаны с тепловым и химическим воздействием на них интрузивных магматических масс.
- *Региональные процессы метаморфизма* – процессы, происходящие на больших глубинах, занимают значительные площади.  $T$  1100-300°C,  $P$  до 20 тыс. атм.

## Космогенные процессы

Это процессы минералообразования, которые происходят в космическом пространстве. Доля таких минералов на Земле ничтожно мала. В результате падения метеоритов на земную поверхность также могут образовываться минералы. Такие минералы называются *импактными*. Например, есть алмазы, полиморфные модификации кварца – стишовит и коусит.

По элементарному химическому составу каменные метеориты и породы Луны не отличаются от земных изверженных пород.

## 5. КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

В основу современных классификаций положены кристаллохимические принципы, учитывающие химический состав и кристаллическую структуру. Таковы классификации Бетехтина, Лазаренко, Годовикова и др.

Основной классификационной единицей является минеральный вид. В классификации Е.К. Лазаренко следующие подразделения:

- Типы минералов (у А.Г. Бетехтина – Раздел, класс, группа)
- Классы
- П/классы
- Семейства
- Группы.

Выделяются следующие типы:

1. Простые вещества, сульфиды и близкие к ним минералы, кислородные соединения, галоиды, минералы - органические соединения

### **Тип . 1 Простые вещества**

Классы:

1. Самородные металлы
2. Самородные металлоиды
3. Самородные неметаллы

### **Тип 2. Сульфиды и близкие к ним минералы**

Собственно сульфиды и их аналоги

Классы:

1. Персульфиды и их аналоги
2. Сульфосоли
3. Теллуриды

## **Тип 3. Кислородные соединения**

Классы:

- 1.Окислы и гидроокислы
- 2.Силикаты,
- 3.Бораты
- 4.Фосфаты и их аналоги
5. Карбонаты
- 6.Вольфраматы и молибдаты
- 7.Хроматы
- 8.Сульфаты
- 9.Нитраты

## **Тип 4. Галоиды**

- 1.Фториды
- 2.Хлориды

## **Тип 5. Минералы - органические соединения**

- 1.Органические соединения.

# Классификация основных классов минералов

Тип	Класс	Минералы
Простых веществ	Самородных элементов	Медь Cu, золото Au, алмаз C, графит C, Сера S
Галлоидов	Галлоидов	Галит NaCl, сильвин KCl, флюорит CaF <sub>2</sub>
Сульфидов	Сульфидов	Пирит FeS <sub>2</sub> , халькопирит CuFeS <sub>2</sub> , маоказит FeS <sub>2</sub> , галенит PbS, сфалерит ZnS, киноварь HgS
Кислородных соединений	Оксидов	Кварц SiO <sub>2</sub> , корунд Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , гематит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , опал SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O
То же	Гидрооксидов	Лимонит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O манганит MnOOH
То же	Карбонатов	Кальцит CaCO <sub>3</sub> , сидерит FeCO <sub>3</sub> , магнезит MgCO <sub>3</sub> , арагонит CaCO <sub>3</sub> , доломит CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>
То же	Сульфатов	Барит BaSO <sub>4</sub> , гипс CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, ангидрит CaSO <sub>4</sub> , мирабилит Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O
То же	Фосфатов	Апатит Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , монацит (Ce,La)[PO <sub>4</sub> ], бирюза
То же	Вольфраматов	Вольфрамит (Fe,Mn)[WO <sub>4</sub> ], Шеелит Ca[WO <sub>4</sub> ]
То же	Силикатов	Оливин, берилл, пироксены, амфиболы, полевые шпаты и др.