

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 assemblage.

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

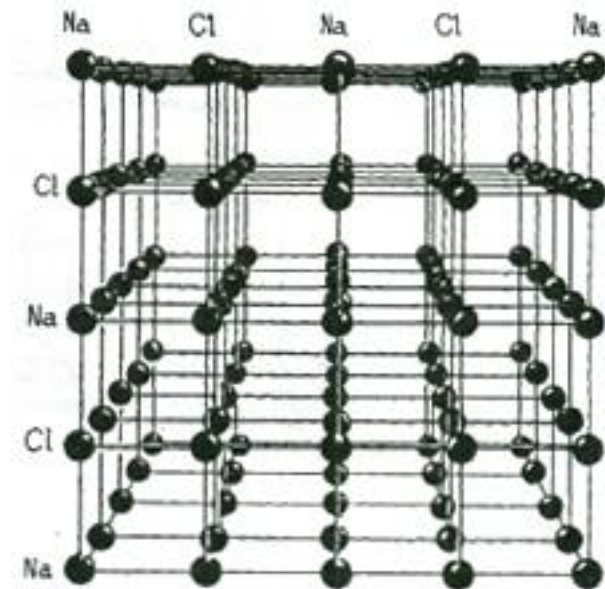
- **1. Минералы и их структуры**

- **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

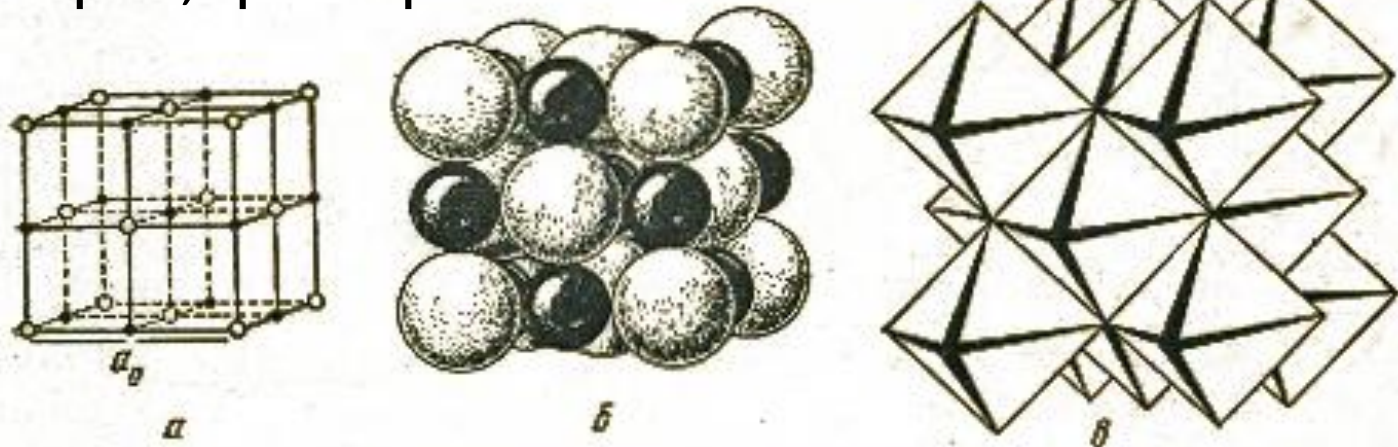
- Все минералы характеризуются определенным химическим составом и внутренним строением или - структурой. Состав и структура взаимосвязаны.
- Минералы бывают кристаллическими или аморфными. Кристаллические минералы имеют кристаллическую структуру, у аморфных минералов нет кристаллической структуры.
- **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):

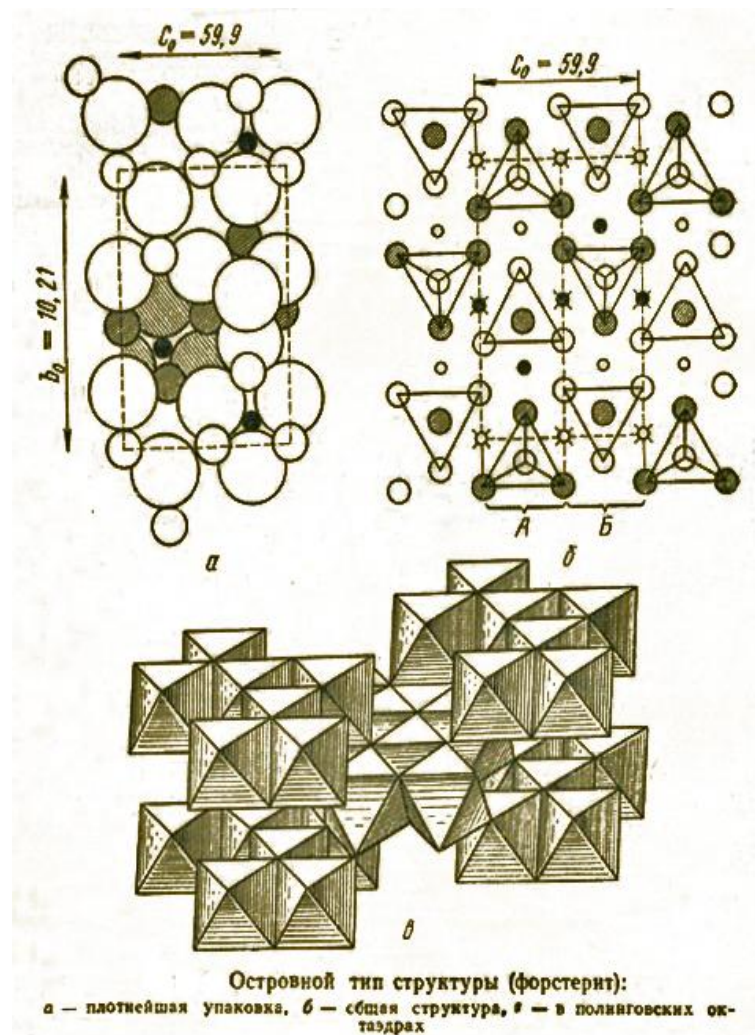
a — положение центров ионов (черные кружочки — Pb, белые — S), *b* — расположение сфер атомов, *c* — структура галенита в полигональных октаэдрах

- 2. Островные структуры.** В кристаллической решетке основу составляет *кремнекислородный тетраэдр*, в котором ион кремния Si^{4+} связан с четырьмя ионами кислорода 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

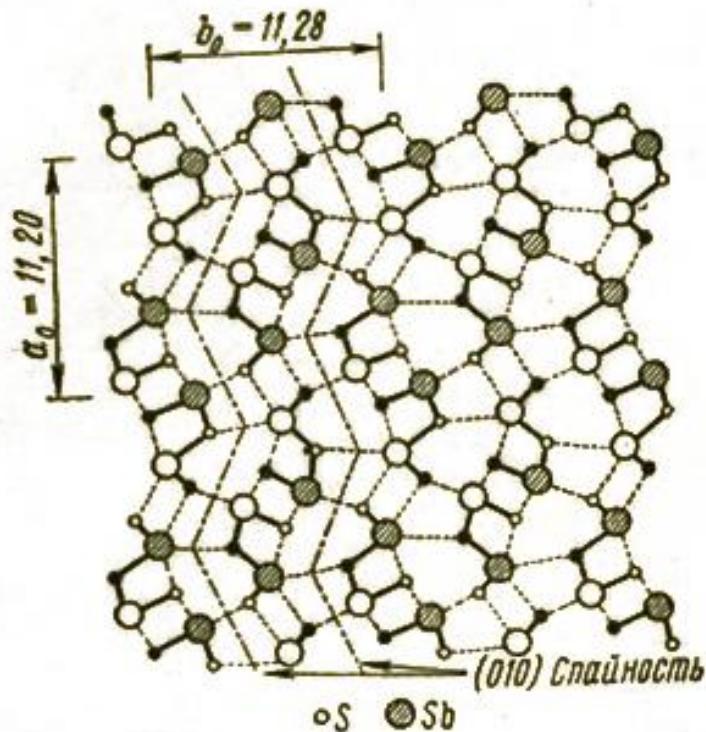


- **3. Цепочечные структуры.** Такие структуры характеризуются бесконечными группами атомов, расположенных в виде анионных цепочек. Цепочечный характер структуры определяется четкой линейной направленностью.
- **Прочность в пределах цепочки больше, чем между ними.**
- Цепочки могут быть одинарными и 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 Sb_2S_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.

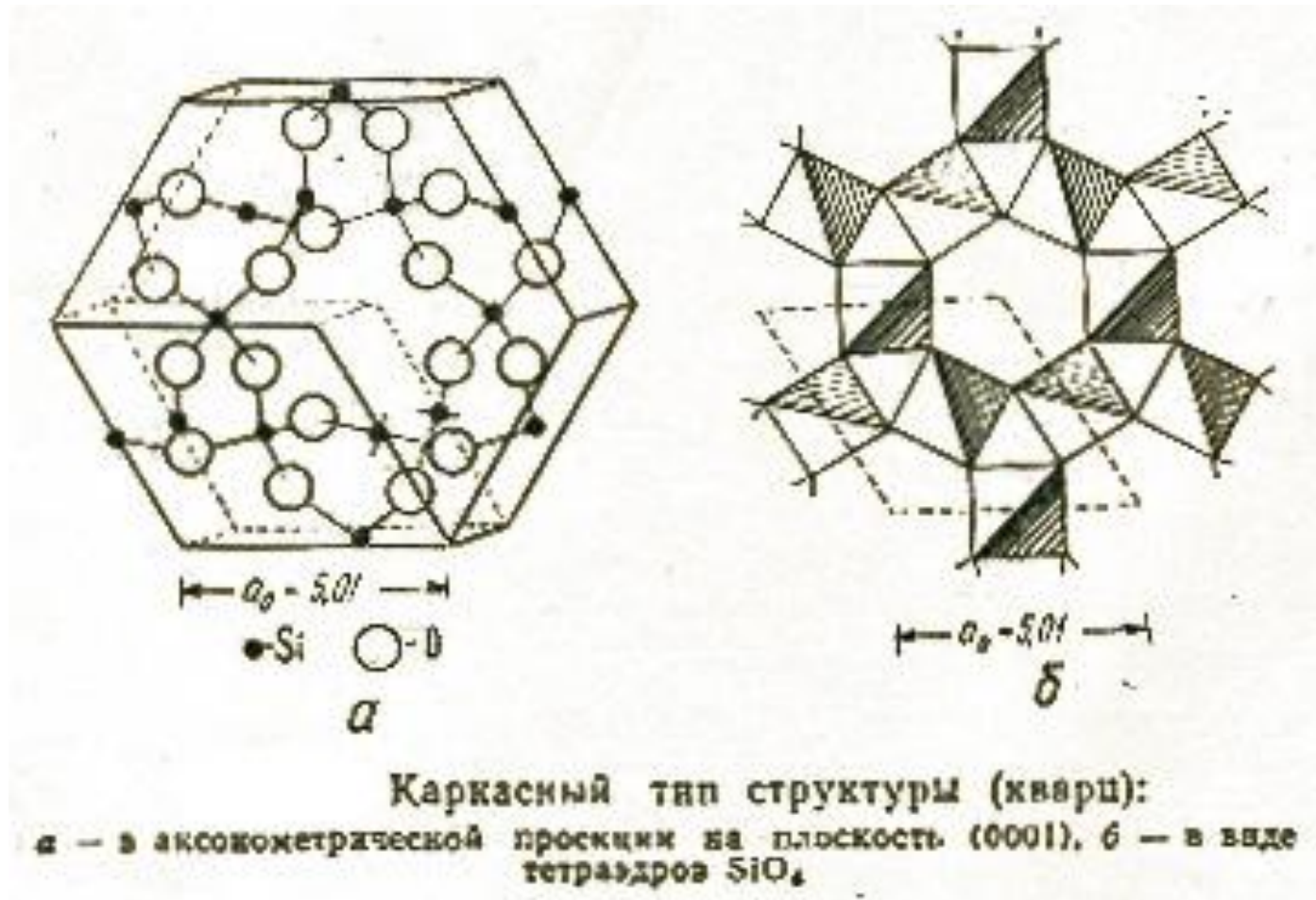


Ленточный тип структуры (анти-монит)



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

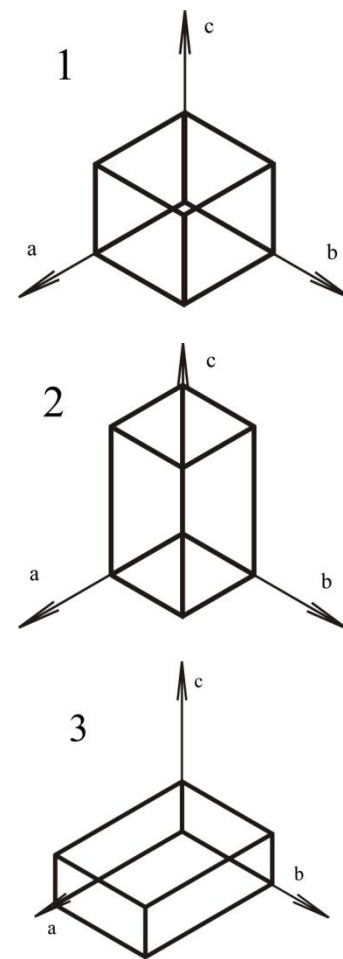
Кристаллы образуются при следующих условиях:
из пересыщенных растворов,
из расплавов,
в парообразном состоянии,
в твердом состоянии при перекристаллизации.

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

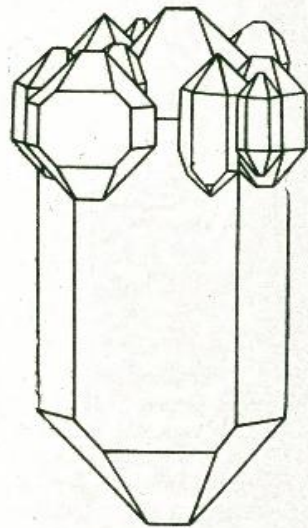
- Кристаллы редко бывают одиночными, чаще они образуют сростки или встречаются в виде агрегатов – скоплений минералов.

Среди сростков различают:

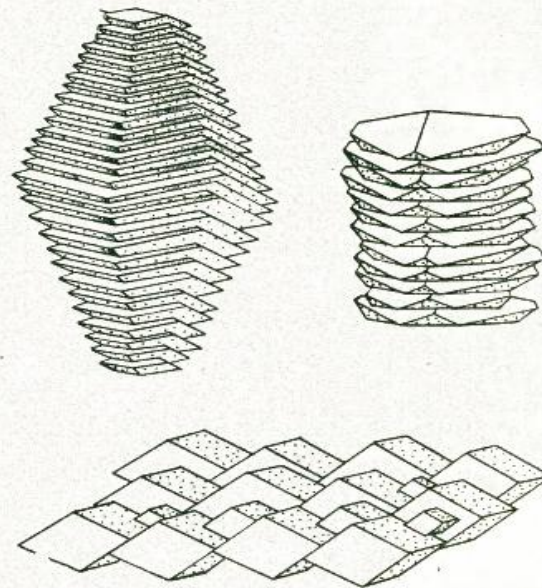
- параллельные сростки
- двойники

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)



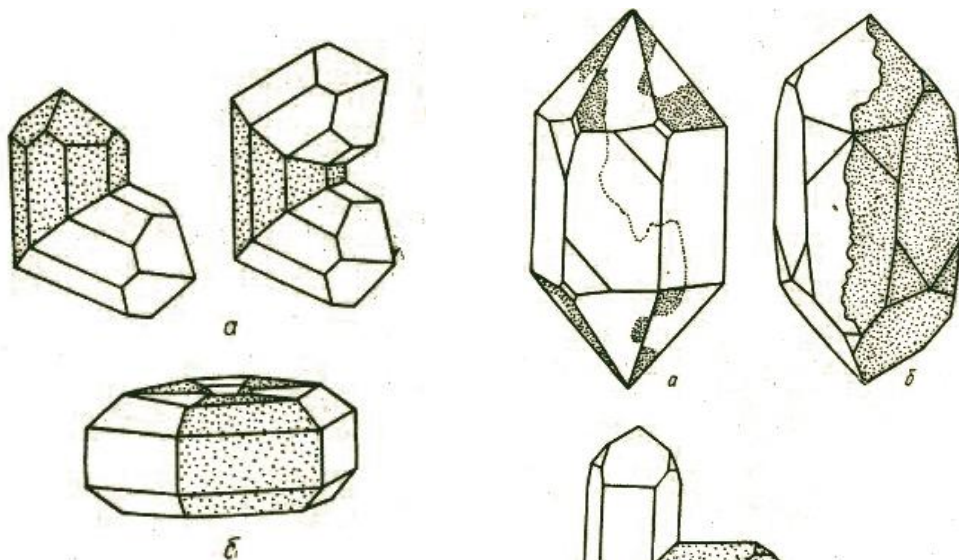
Параллельно-ориентированные срастания кристаллов кальцита. Тырныаузское месторождение (Сев. Кавказ)

2) Двойники

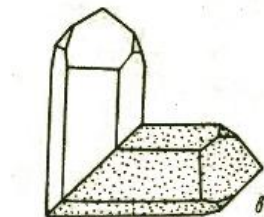
Закономерное срастание двух кристаллов одного и того же минерала. Могут быть также тройники и четверники.

По внешнему виду выделяют двойники:

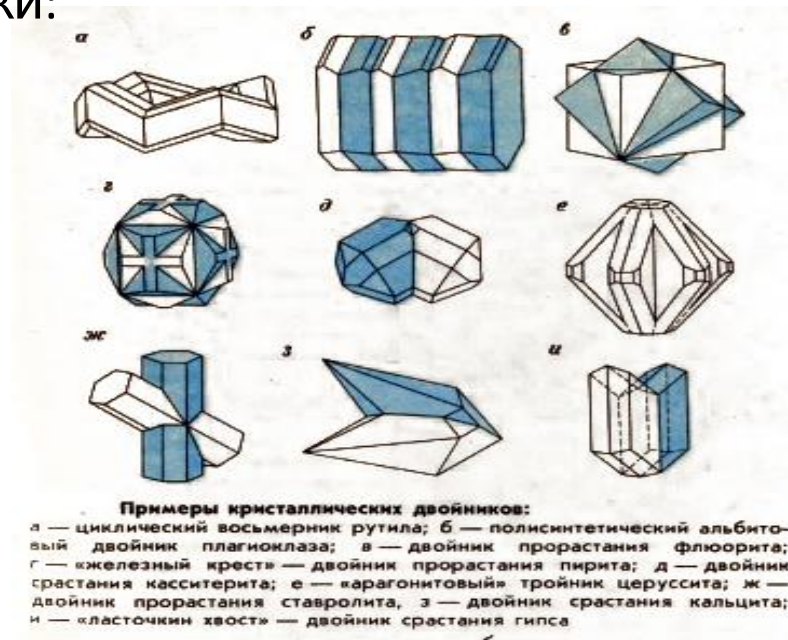
- Коленчатые
- Клиновидные
- Звездчатые



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

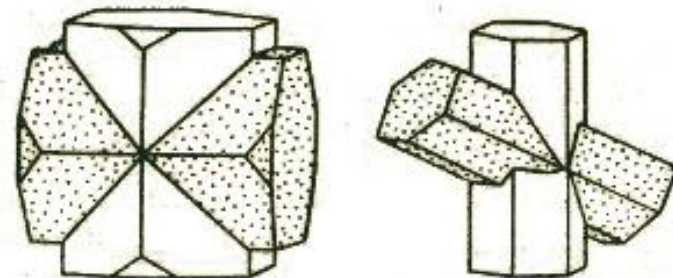


Дофинейский (а), бразильский (б) и японский (в) двойники кварца



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.

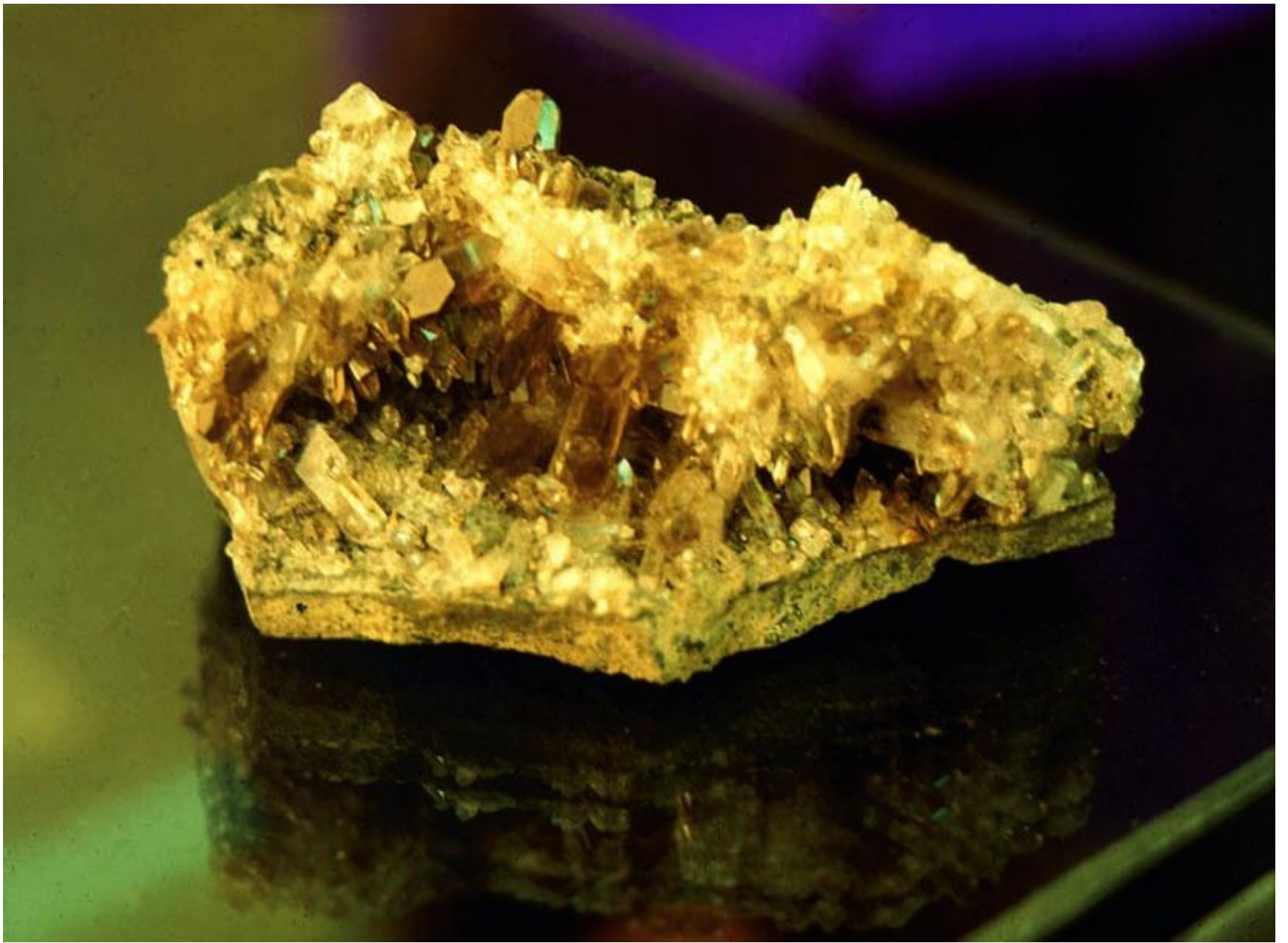
Массивные – скрытокристаллическая порода.

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

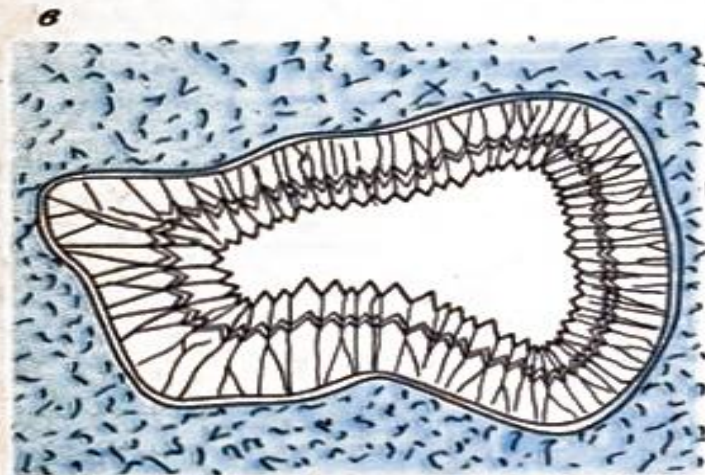
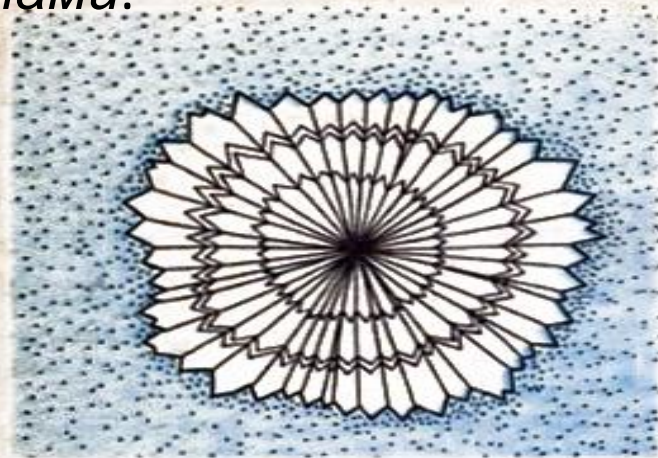


Друзы (щетки) – группы кристаллов, имеющих общее основание.





- **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*.



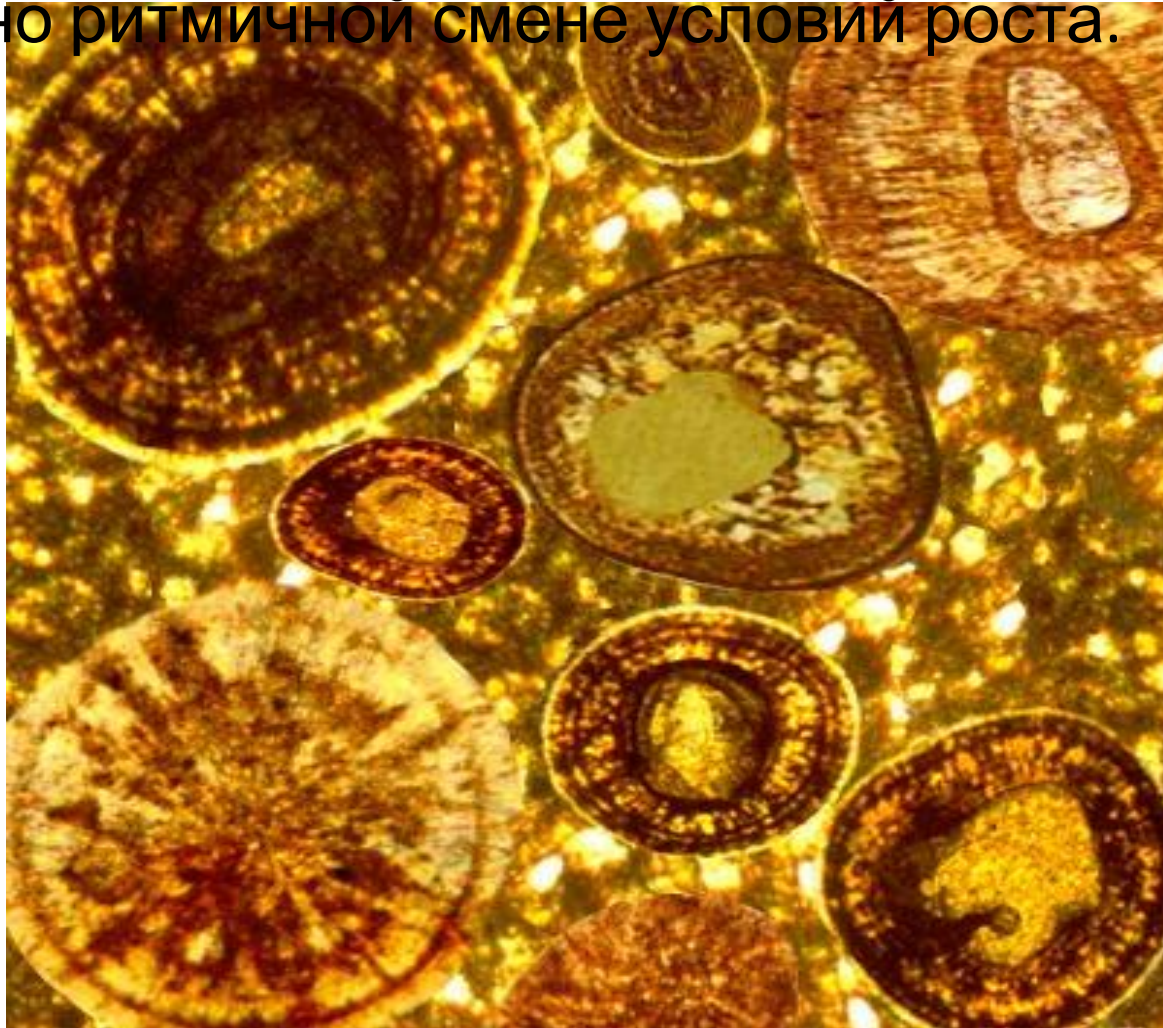
Конкреция [а], оолитовый агрегат [б], секреция [в]

- **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.



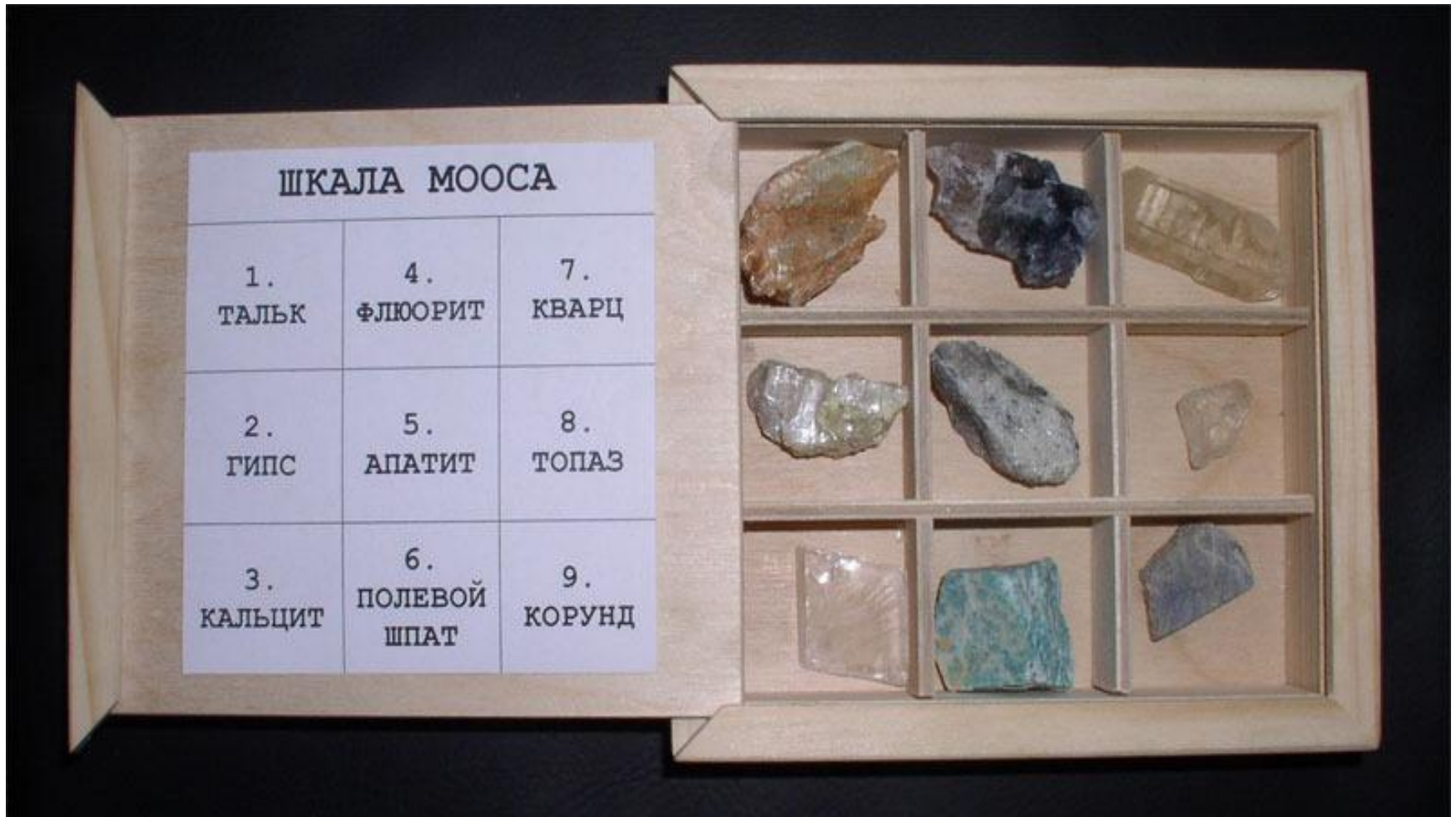
- У 65 -70% минералов блеск стеклянный.

Твердость

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

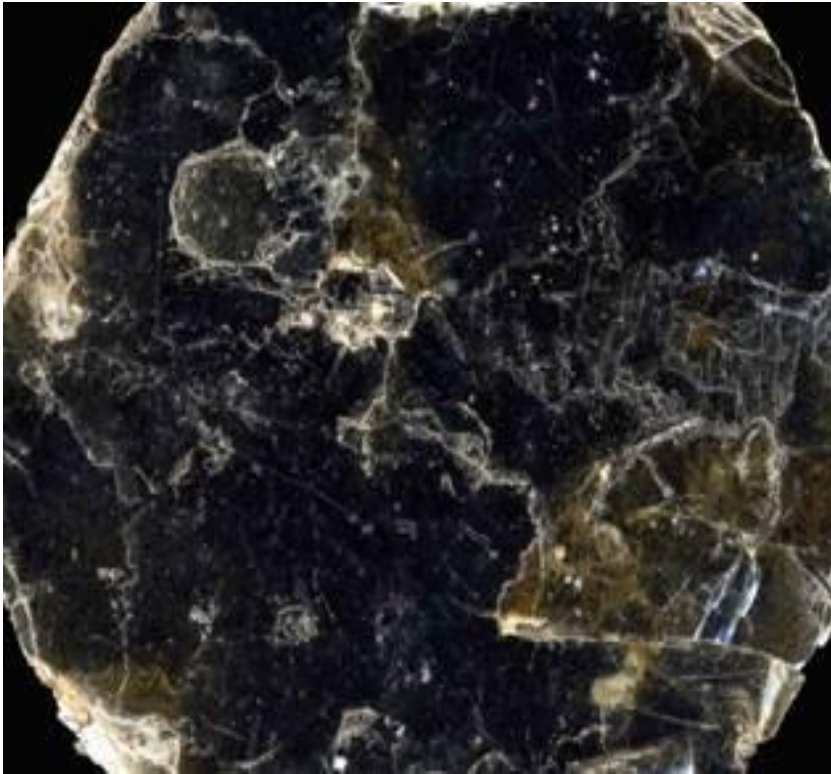
Эталонные минералы	Твердость по шкале Мооса	Истинная твердость, МПа	Визуальные признаки твердости	Твердость по группам минералов
Тальк	1	24	Чертится ногтем	Мягкие
Гипс	2	360	То же	То же
Кальцит	3	1090	Чертится ножом	Средней твердости
Флюорит	4	1890	То же	То же
Апатит	5	5360	То же	То же
Ортоклаз	6	7967	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.

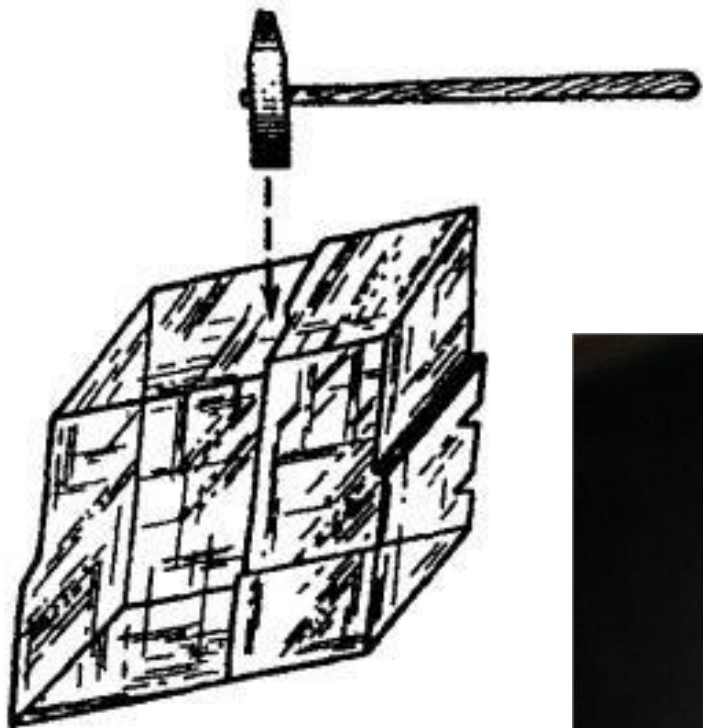


Спайность

Весьма совершенная – слюда, гипс, асбест



Совершенная – кальцит, ортоклаз, родохрозит



Несовершенная – наблюдаются плоскости на отдельных участках



Весьма несовершенная – кварц, корунд

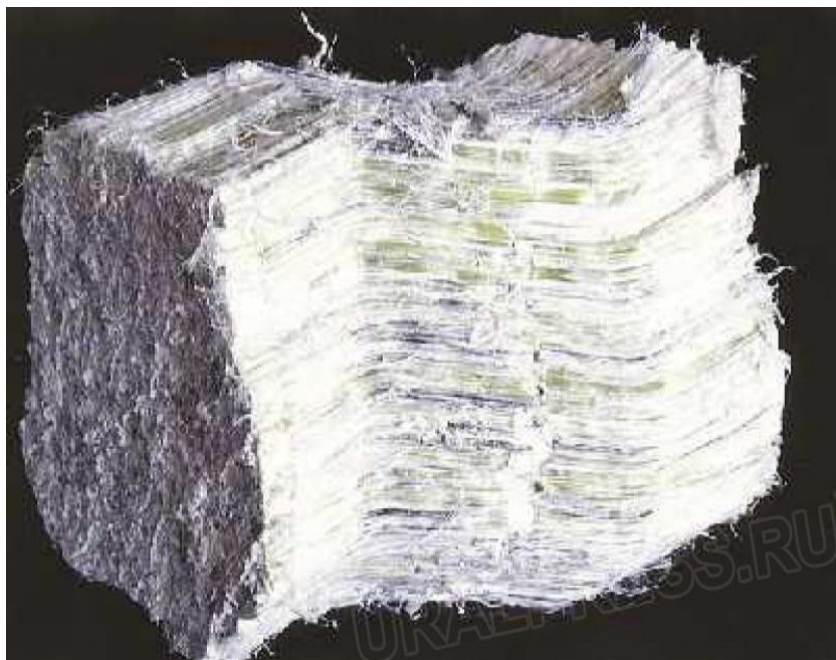


Излом

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 ($>P_T$).

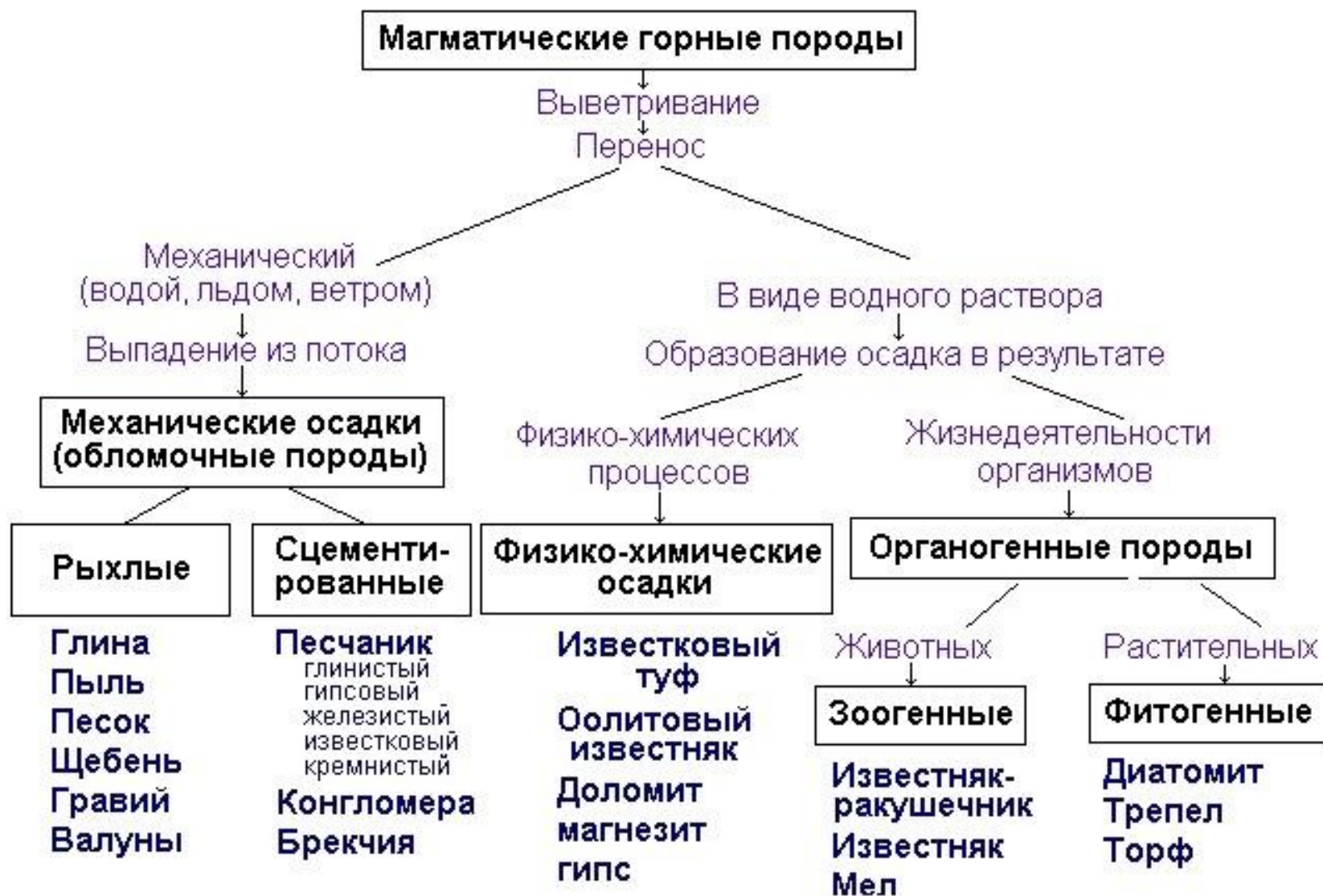
Эндогенные процессы (глубинные)

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 NaCl , сильвин KCl , мирабилит Na_2SO_4 , кальцит 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 ₂
Сульфидов	Сульфидов	Пирит FeS ₂ , халькопирит CuFeS ₂ , маоказит FeS ₂ , галенит PbS, сфалерит ZnS, киноварь HgS
Кислородных соединений	Оксидов	Кварц SiO ₂ , корунд Al ₂ O ₃ , гематит Fe ₂ O ₃ , опал SiO ₂ ·H ₂ O
То же	Гидрооксидов	Лимонит Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O манганит MnOOH
То же	Карбонатов	Кальцит CaCO ₃ , сидерит FeCO ₃ , магнезит MgCO ₃ , арагонит CaCO ₃ , доломит CaCO ₃ ·MgCO ₃
То же	Сульфатов	Барит BaSO ₄ , гипс CaSO ₄ ·2H ₂ O, ангидрит CaSO ₄ , мирабилит Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O
То же	Фосфатов	Апатит Ca ₅ (PO ₄) ₃ , монацит (Ce,La)[PO ₄], бирюза
То же	Вольфраматов	Вольфрамит (Fe,Mn)[WO ₄], Шеелит Ca[WO ₄]
То же	Силикатов	Оливин, берилл, пироксены, амфиболы, полевые шпаты и др.