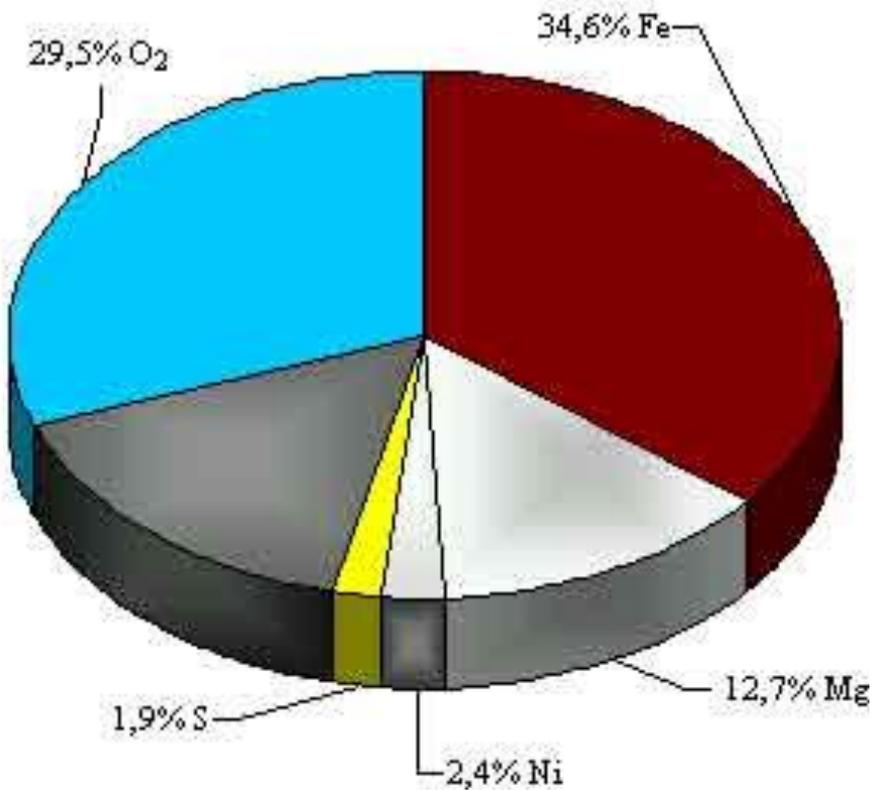
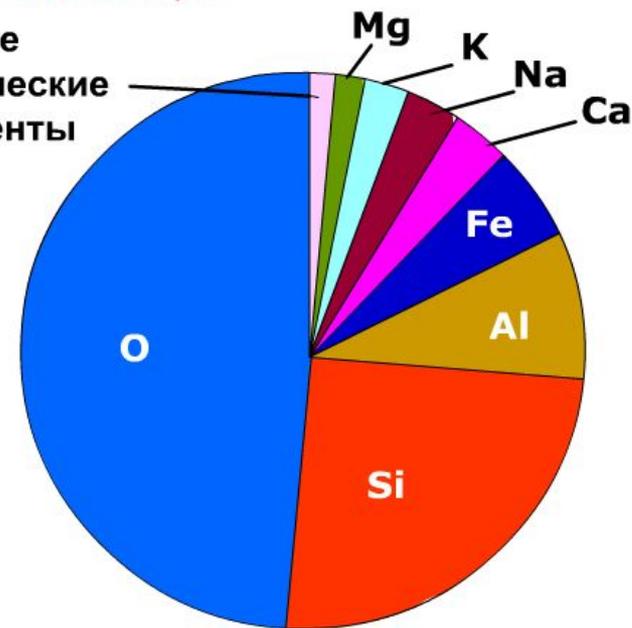


Минералы

Химический состав земной коры



Другие химические элементы



Земная кора больше чем на 98% сложена O, Si, + Al, Fe, Mg, Ca, Na, K

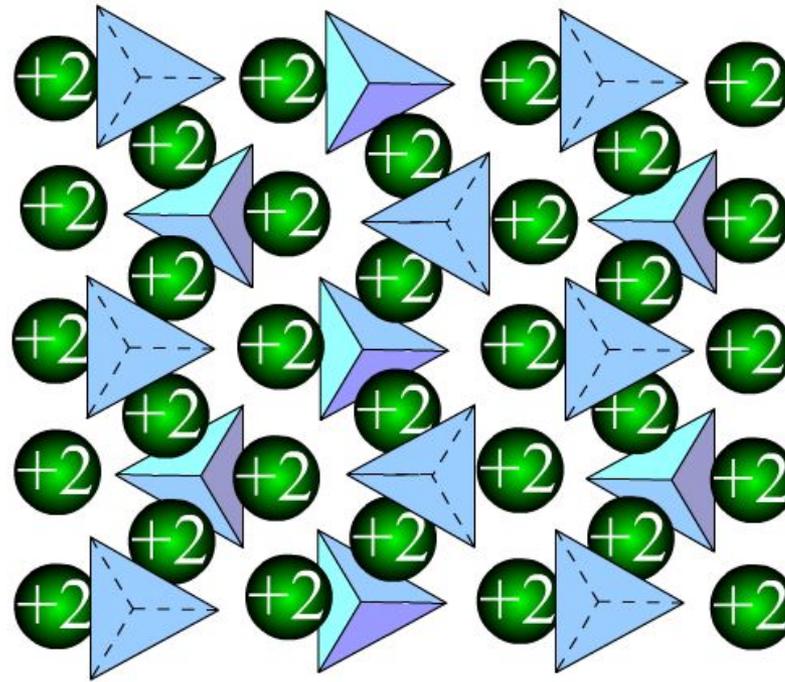
Кислород и кремний, составляют 74% массы земной коры.
+ Al, Fe, Mg, Ca, Na, K. - еще 24,3%.

Состав земной коры (в химических элементах, мас. %)

Элементы	По А.П.Виноградову (1962)	По В. Мейсону (1971)	По А.А. Ярошевскому (1988)
O	49,13	46,60	47,90
Si	26,00	27,72	29,50
Al	7,45	8,13	8,14
Fe	4,20	5,00	4,37
Mg	2,35	2,09	1,79
Ca	3,25	3,63	2,71
Na	2,48	2,83	2,01
K	2,35	2,59	2,40
H	0,15	-	0,16
Ti	0,61	-	0,52
C	0,36	-	0,27
S	-	-	0,10
Mn	-	-	0,12

- Химические элементы в земной коре находятся в составе минералов
- Минералы - **природные химические соединения или отдельные химические элементы, возникшие в результате физико-химических процессов, происходящих в Земле.**
- В земной коре минералы находятся преимущественно в кристаллическом состоянии, редко – в аморфном.

Структура оливина



Кристаллическое вещество – твердое вещество, состоящее из ионов, атомов, молекул, которые **геометрически правильно распределены в пространстве.**

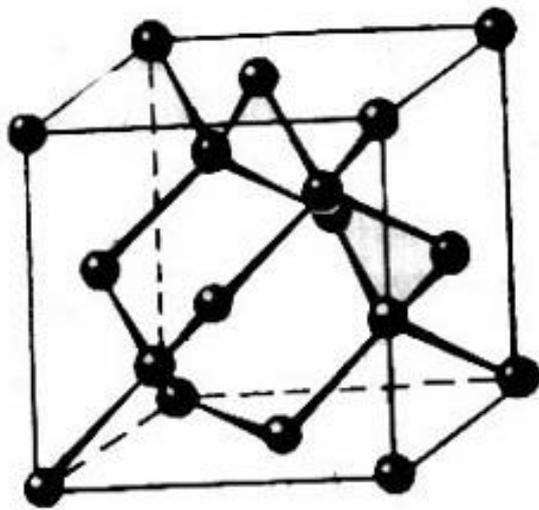
Свойства кристаллических веществ обуславливаются как их составом, так и внутренним строением. т.е. кристаллической

- Элементарные частицы, соединяясь в кристаллическую структуру, используют характерные для них типы химических связей.
- По степени однородности связей все минералы (**кристаллические решетки**) могут быть разделены на две группы
- 1. в структуре присутствуют **связи только одного типа, одинаковые по всем направлениям** (алмаз, флюорит, галит)
 2. связи **разные по разным направлениям** – некоторые силикаты, карбонаты, сульфаты и др., например графит, слюды

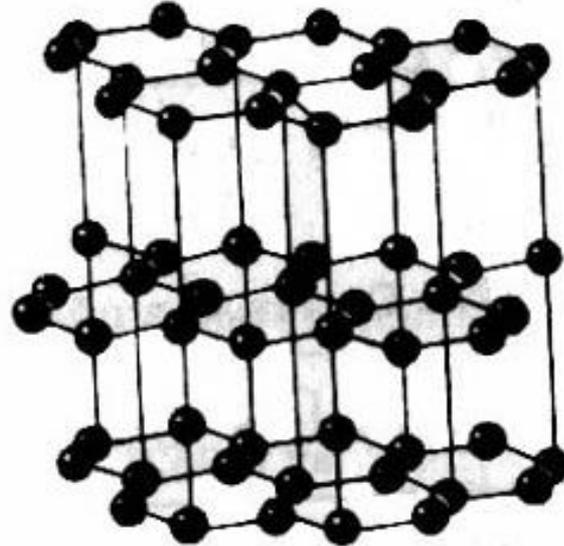
- Притяжение между противоположно заряженными ионами называется **ионной связью** и служит **главной** связующей силой в минералах.
- **ковалентная связь (самая прочная)** - внешние электроны вращаются вокруг ядер по общим орбитам, происходит перекрывания электронных облаков атомов.

Минералы с ковалентной связью обычно имеют высокие твердость и температуру плавления (алмаз).

- **ван-дер-ваальсова связь** – слабая.
- Возникает между электронейтральными структурными единицами (слоями или группами атомов) и распределена неравномерно.
- обеспечивает притяжение между противоположно заряженными участками в более крупных структурных единицах. Например, между слоями графита, образованными благодаря сильной ковалентной связи атомов углерода.



α

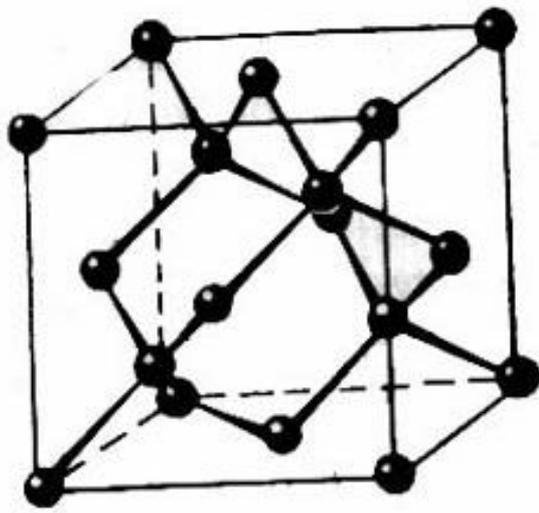


β

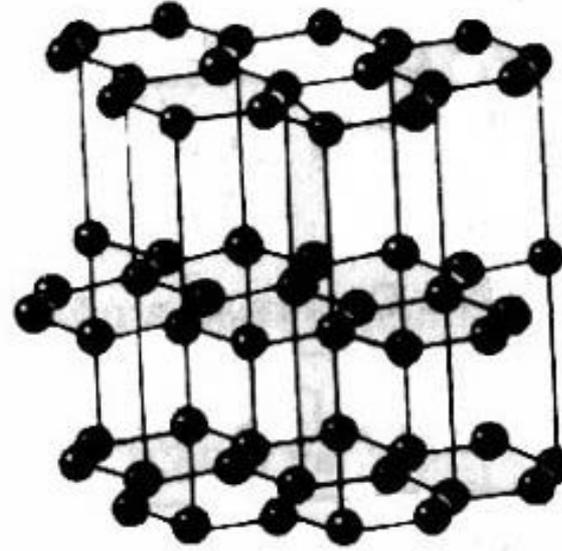
Кристаллические решетки: а - алмаза (С), б - графита (С)

У графита расстояние между атомами углерода в пределах плоских слоев решетки составляет 1,42 А, между слоями 3,39 А.

Отсюда способность графита легко расщепляться на тонкие листочки, параллельные слоям решетки, и с трудом ломаться по неровным поверхностям в других направлениях.



a



b

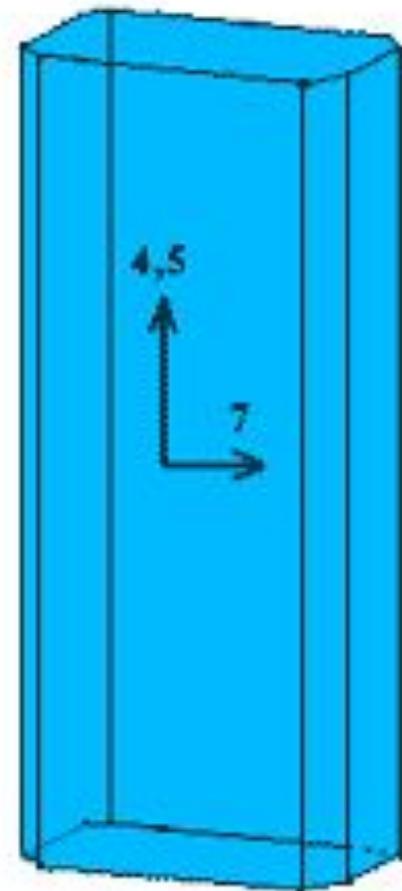
Кристаллические решетки: а - алмаза (С), б - графита (С)

Расстояния между элементарными частицами и характер связей между ними в разных направлениях неодинаковы, **что обуславливает и различие свойств.**

Такое явление называется *анизотропией* кристаллического вещества.

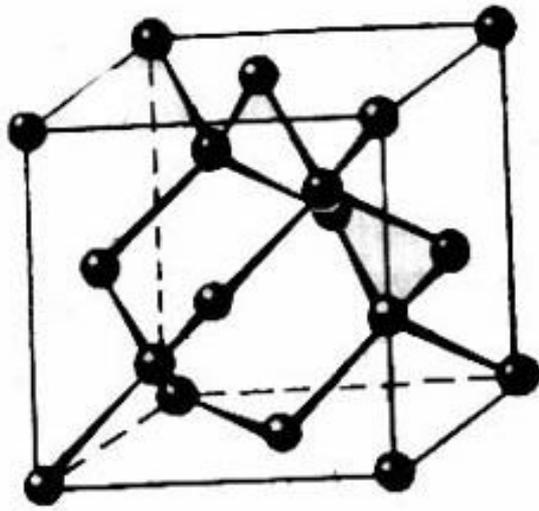
Анизотропия проявляется во многих особенностях кристаллических веществ.

Кианит – различная твердость по разным направлениям.

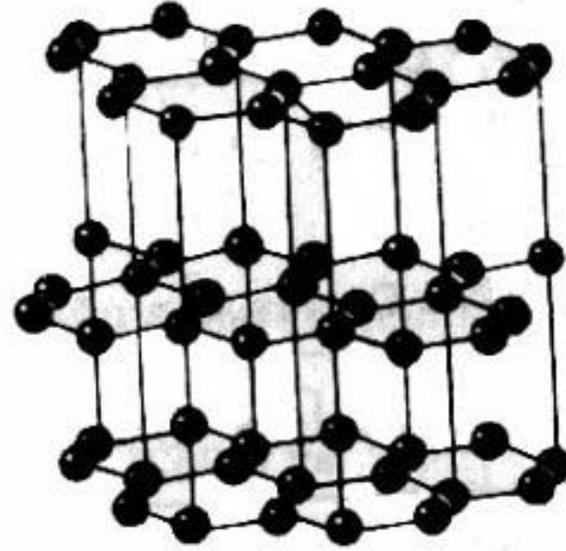


- В аморфных веществах закономерность в расположении частиц отсутствует.
- Свойства зависят только от состава и во всех направлениях статистически одинаковы, т.е. аморфные вещества изотропны.

- В различных физико-химических условиях **вещества одинакового химического состава** могут приобретать **разное внутреннее строение**
- следовательно, и разные физические свойства и создавать таким образом разные минералы.
- Это явление называется ***полиморфизмом*** (греч. "поли" - много).



α



β

Кристаллические решетки: а - алмаза (С), б - графита (С)

углерод (С): графит и алмаз.

В структуре алмаза сцепления между атомами углерода однотипны и прочны, у графита – наоборот.

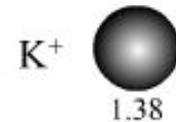
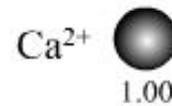
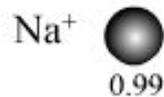
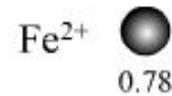
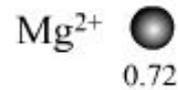
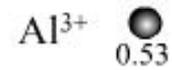
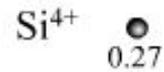
У графита низкие твердость – 1 и плотность – 2,1-2,3

У алмаза, соответственно 10 и 3,5.

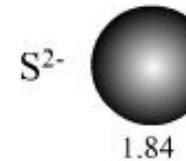
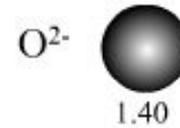
- Явление **изоморфизма** – **одинаковая форма, но состав разный** (твердые растворы).
- различные химические элементы закономерно входят в решетку, замещают друг друга.
- Если замещающие друг друга ионы или атомы имеют одинаковую валентность, тогда будет **изовалентный** изоморфизм (Mg^{2+} - Fe^{2+} в оливине),
- если разную – **гетеровалентный** (Ca^{2+} на Na^{+} и одновременно, чтобы сохранился заряд: Al^{3+} на Si^{4+}).

Изоморфизм

Катионы



Анионы



Размеры ионов, которые слагают наиболее распространенные породообразующие минералы.

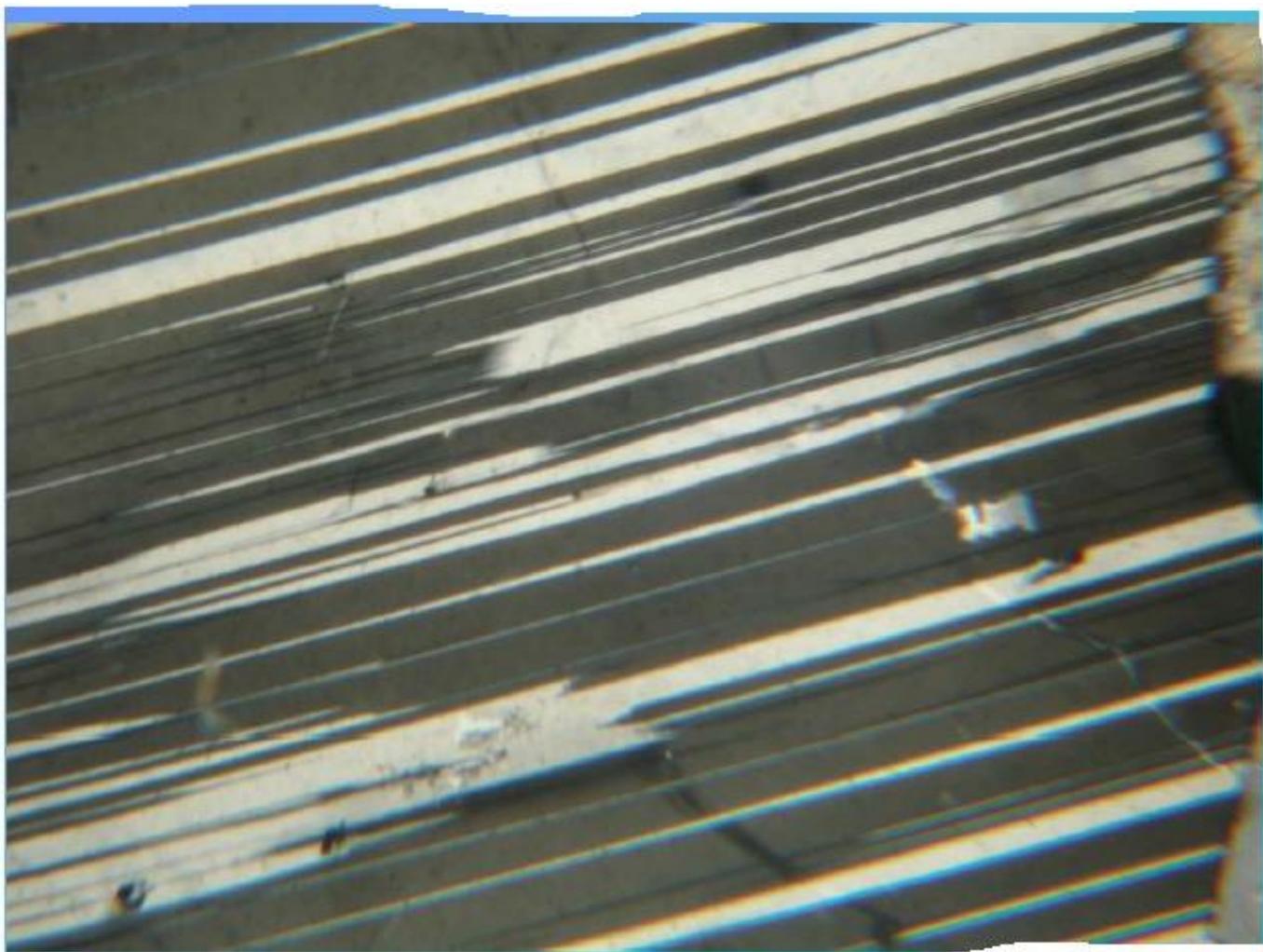
Цифры – размеры в ангстремах.

- **Формы нахождения минералов в природе**
- зависят главным образом от условий образования.
- отдельные кристаллы и их закономерные сростки (двойники),
- обособленные минеральные скопления,
- минеральные агрегаты.

- Изолированные кристаллы и двойники, возникают в благоприятных для роста условиях. При этом форма кристаллов отражает как состав и внутреннюю структуру минерала, так и условия образования.
- Размеры кристаллов



Удлиненный кристалл берилла



Все четные индивиды имеют одну ориентировку, а нечетные — другую.

четные индивиды гаснут в одном положении, а нечетные — в ином.



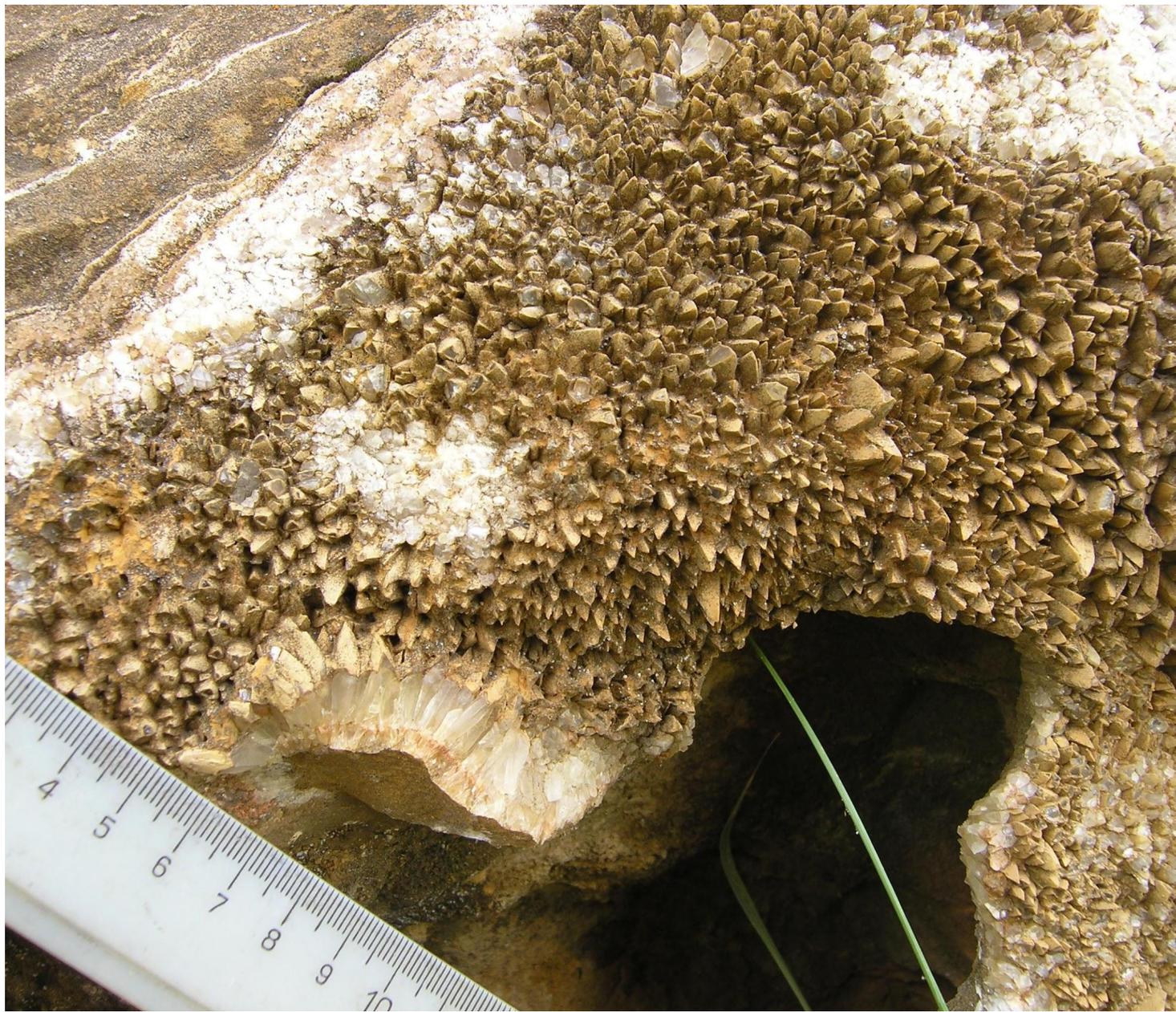
Двойники ставролита



друзы и щетки



Друза кальцита



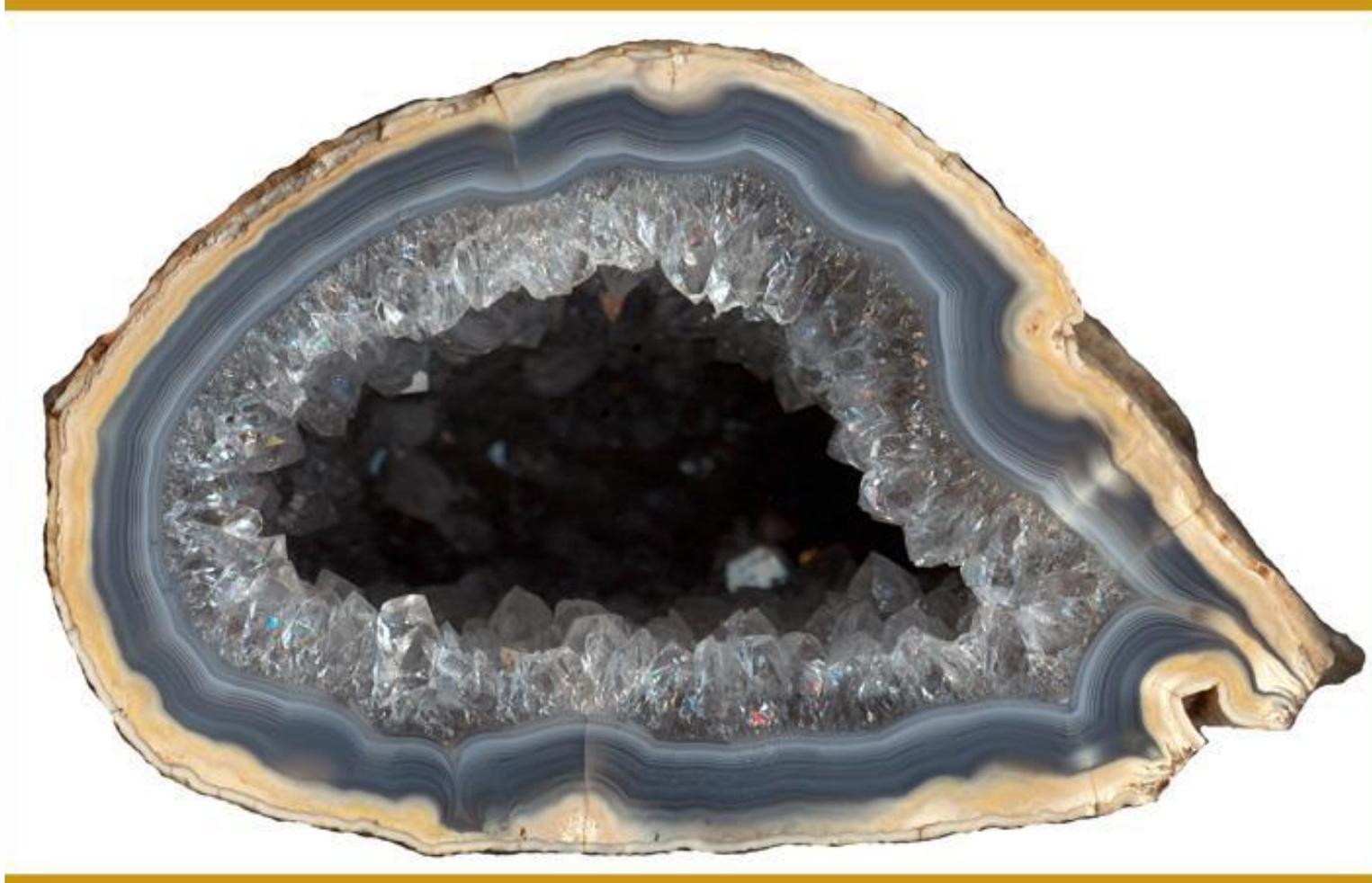




Дендриты – образуются благодаря быстрому росту кристаллов по некоторым направлениям.



Дендриты золота



Секреции

Обычно имеют концентрическое строение, отражающее стадийность формирования.

Мелкие секреции - *миндалины*, крупные – *жеоды*



Конкреции

Концентрическое или радиально-лучистое строение.

Мелкие округлые конкреции называются *оолитами*.





Глендонит («беломорская рогулька»). Радиально-кристаллическая конкреция, обрастающая глинисто-карбонатной конкрецией.



Натечные образования из просачивающихся подземных вод.
сталактиты, сталагмиты.



Натечные образования азурита в малахитовой рубашке

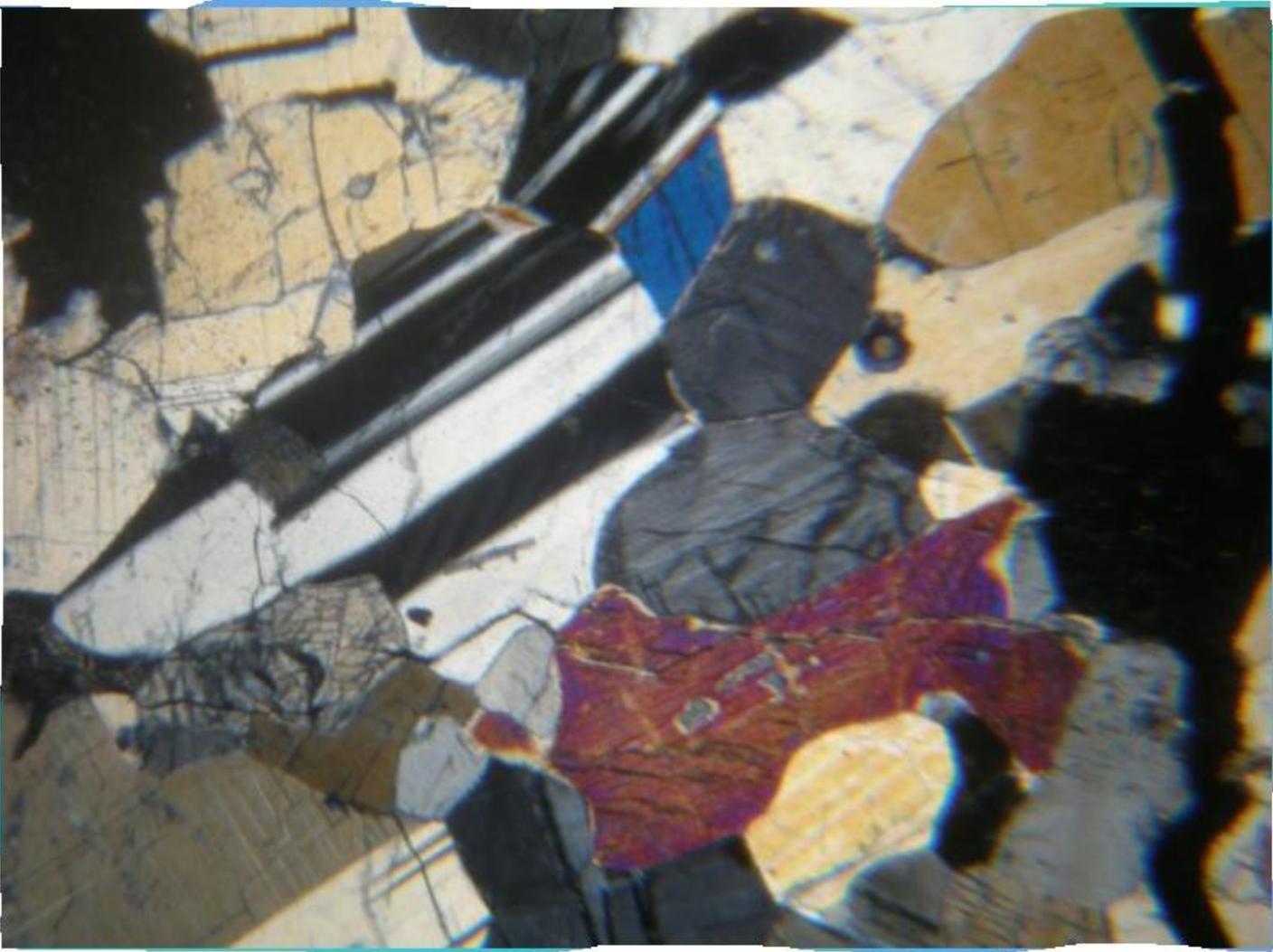


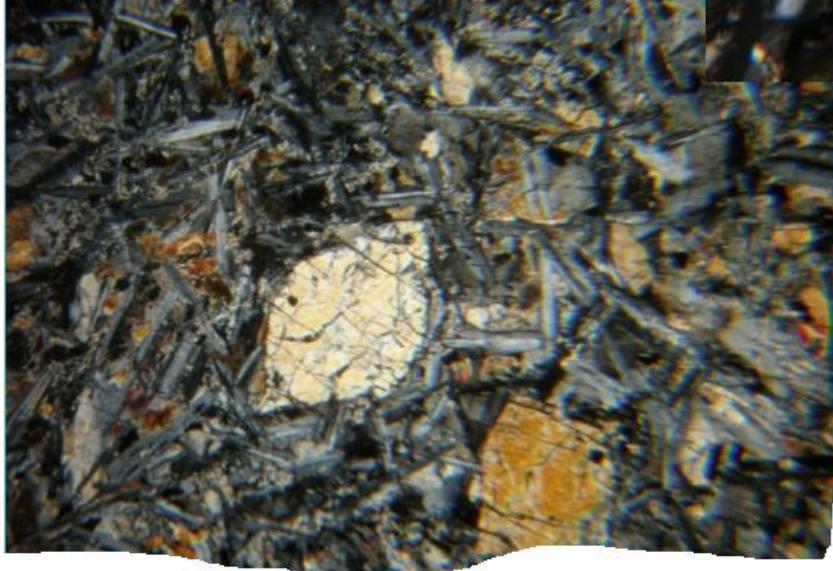
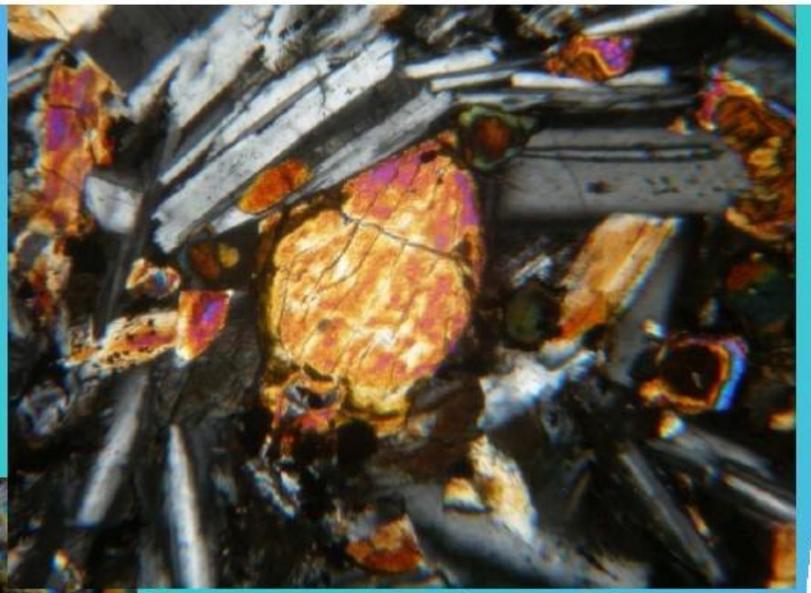
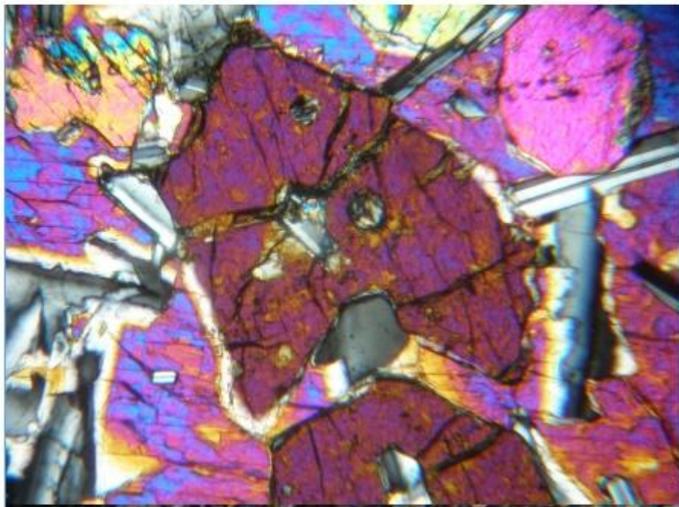
Волокнистый агрегат

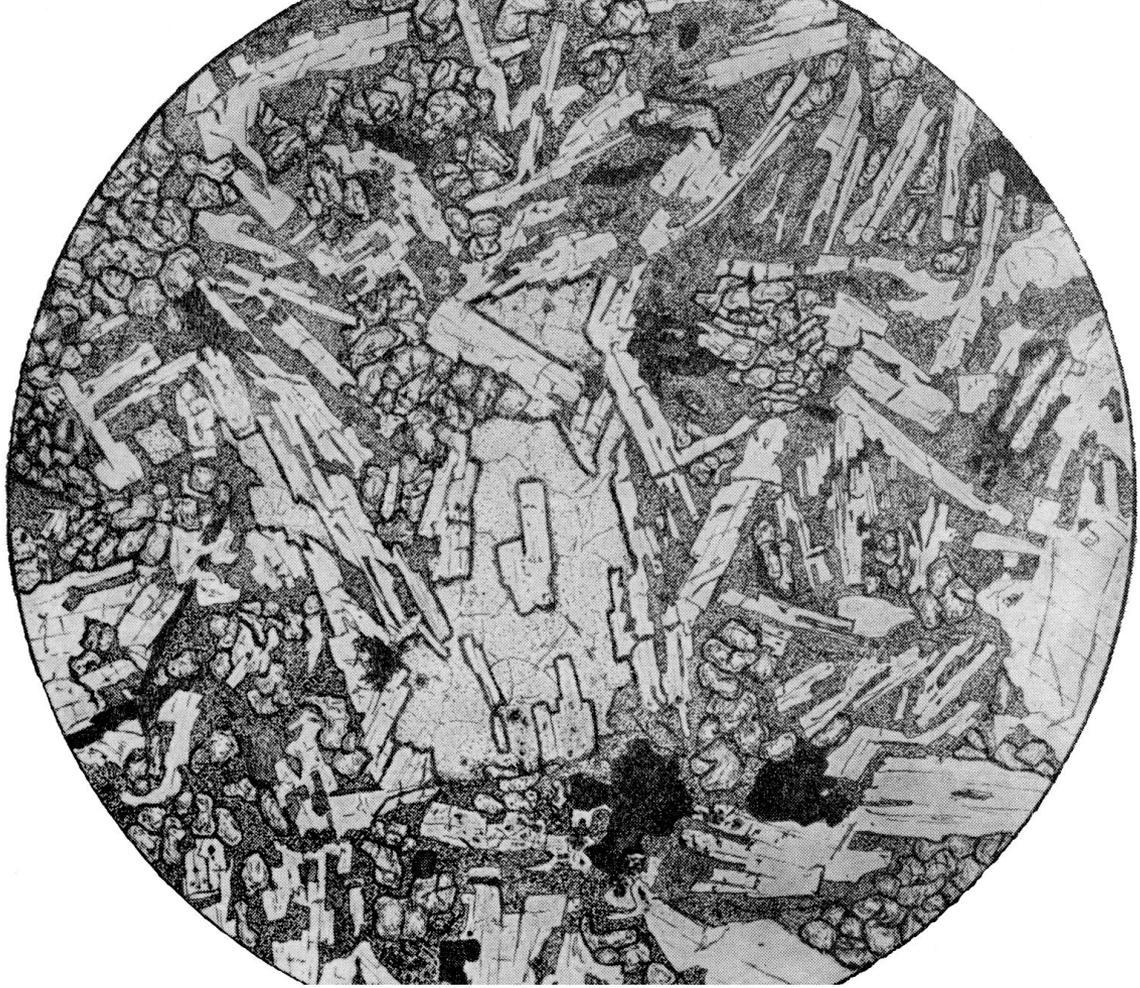


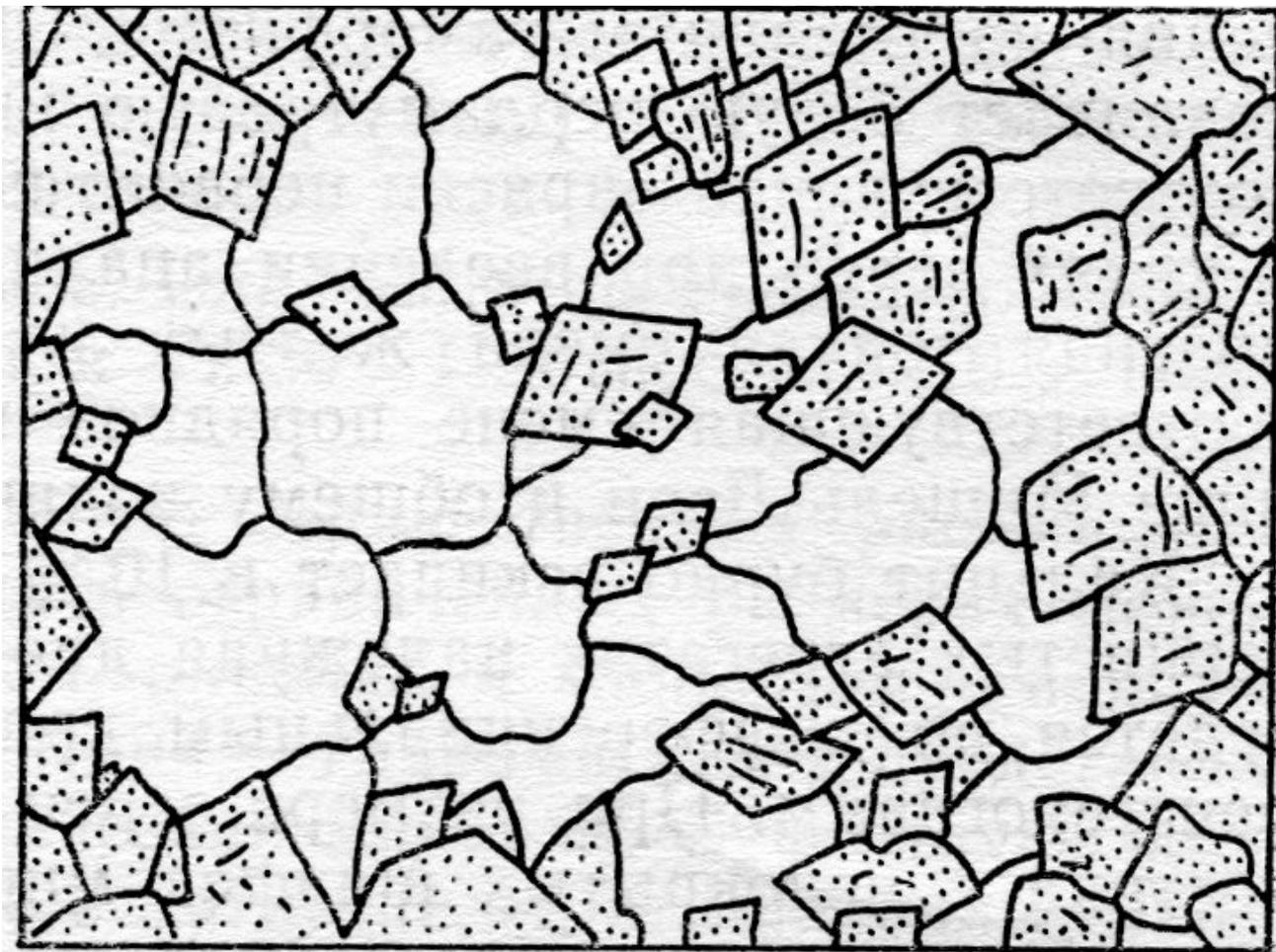
Колломорфные агрегаты, имеющие гладкую округлую поверхность, построены из волокон, которые радиально отходят от общего центра.

- Наиболее широко развиты **минеральные агрегаты кристаллического, аморфного или скрытокристаллического строения** слагающие толщи пород.
- Образуются при более или менее одновременном выпадении из растворов или расплавов множества минеральных частиц.

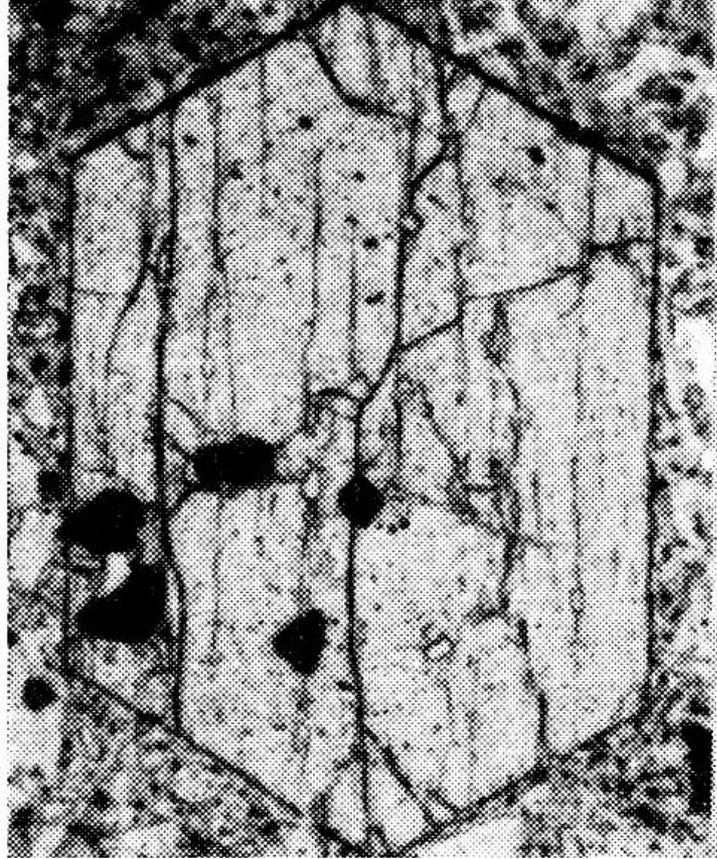


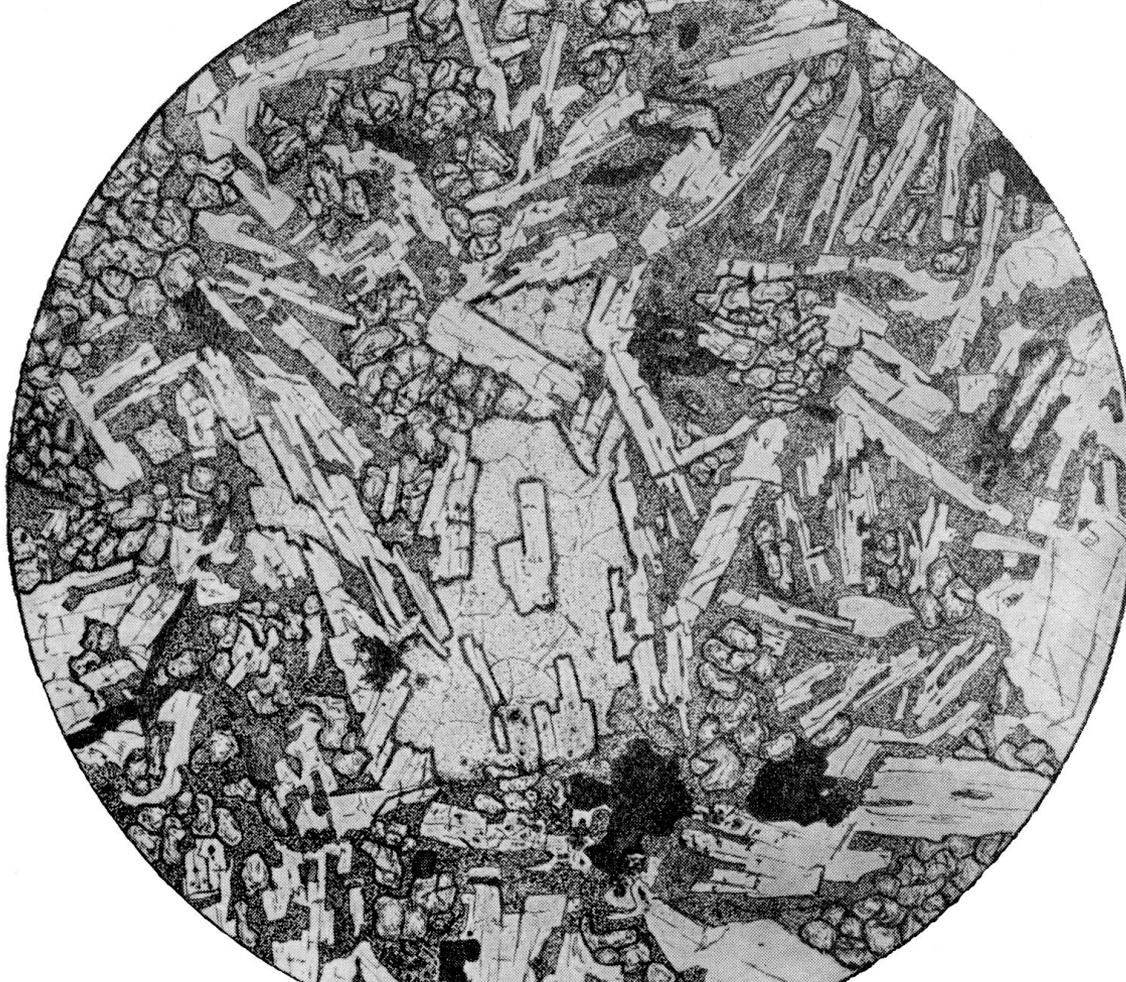






В кристаллических (зернистых) агрегатах минералы могут иметь собственные, характерные для них ограничения (*идиоморфные* или *эвгедральные*), или же выполнять пространство оставленное другими минеральными зернами, т.е. имеют неправильную форму (*ксеноморфные* или *агедральные*).





Один и тот же минерал может быть идиоморфным по отношению к одним минералам, а ксеноморфен по отношению к другим. Тогда он называется *гипидиоморфным или субгедральным*.

- Величина зерен зависит от условий кристаллизации
- В жилах кристаллические агрегаты часто имеют массивное (сливное) строение, при котором отдельные зерна на глаз не всегда различимы.





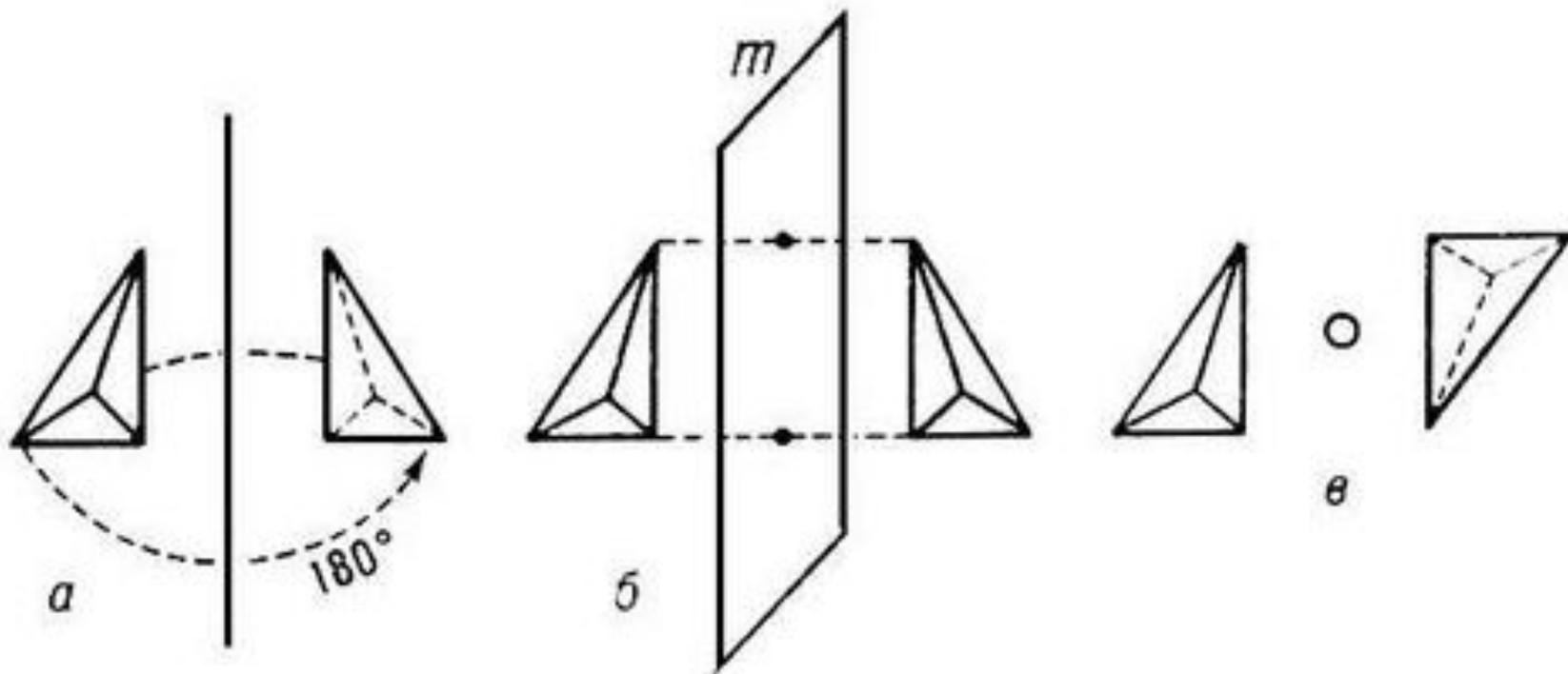
- *Аморфные агрегаты* представляют собой однородные плотные или землистые массы.
- *Скрытокристаллические агрегаты* внешне напоминают аморфные и отличаются от них только микроскопически.

- Встречаются минеральные образования, состав которых не соответствует форме, которую они слагают- *псевдоморфозы* (греч. "псевдо" - ложный).
-
- Возникают при химических изменениях ранее существующих минералов или заполнении пустот, образовавшихся при выщелачивании минеральных или органических включений.

- **Морфология кристаллов**

все разнообразие форм кристаллов делят на **семь** крупных подразделений, называемых **сингониями**, отражающими степень симметричности кристаллов.

- В каждую сингонию входят кристаллы, у которых отмечается одинаковое расположение кристаллографических осей и одинаковые элементы симметрии (центр, оси и плоскости)



оси симметрии

плоскости симметрии

центр симметрии

Для графических построений и в классификационных целях минералоги и кристаллографы используют кристаллографические оси и осевые системы. В зависимости от длины отрезков, отсекаемых на кристаллографических осях, и взаимного расположения этих осей различают семь осевых систем.

Кубическая сингония. Три равновеликие оси пересекаются под прямым углом.

Тетрагональная сингония. Два отрезка оси одинаковой длины пересекаются под прямым углом, третья ось перпендикулярна им, и отсекаемый на ней отрезок имеет иную длину.

Ромбическая сингония. Три оси разной длины пересекаются под прямыми углами.

Моноклинная сингония. Две оси разной длины пересекаются под косым углом, третья ось составляет с ними прямой угол.

Триклинная сингония. Три оси разной длины пересекаются под косыми углами.

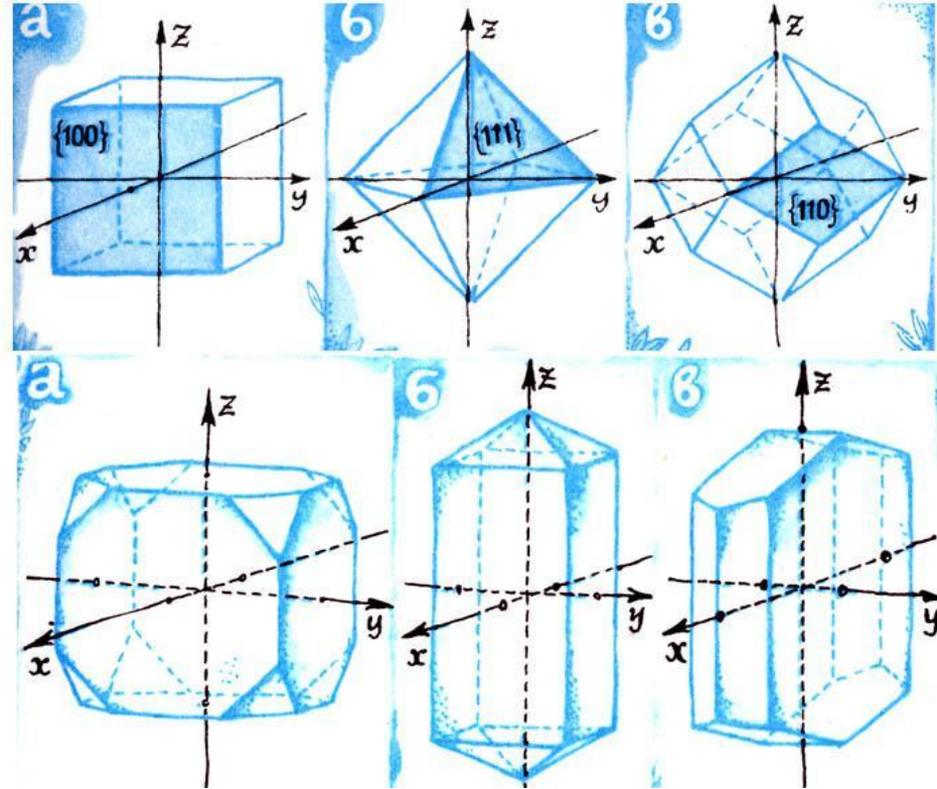
Тригональная сингония. Три отрезка осей равной длины пересекаются в одной плоскости под углом 60° , третья ось перпендикулярна этой плоскости, и отсекаемый на ней отрезок имеет иную длину.

Гексагональная сингония. Положение осей аналогично их положению в тригональной сингонии.

Кубическая – три равновеликие оси под прямым углом

Тетрагональная – две оси одинаковой длины под прямым углом, третья перпендикулярна им, но длина другая

Ромбическая – три оси разной длины под косыми углами



а - кубическая, б – тетрагональная, в – ромбическая

Моноклинная – две разные оси под косым углом, третья составляет с ними прямой угол.

Триклинная - три оси разной длины под косыми углами

Тригональная - три оси равной длины пересекаются в одной плоскости под углом 60, третья перпендикулярна этой плоскости и она другой длины

Гексагональная – как в тригональной

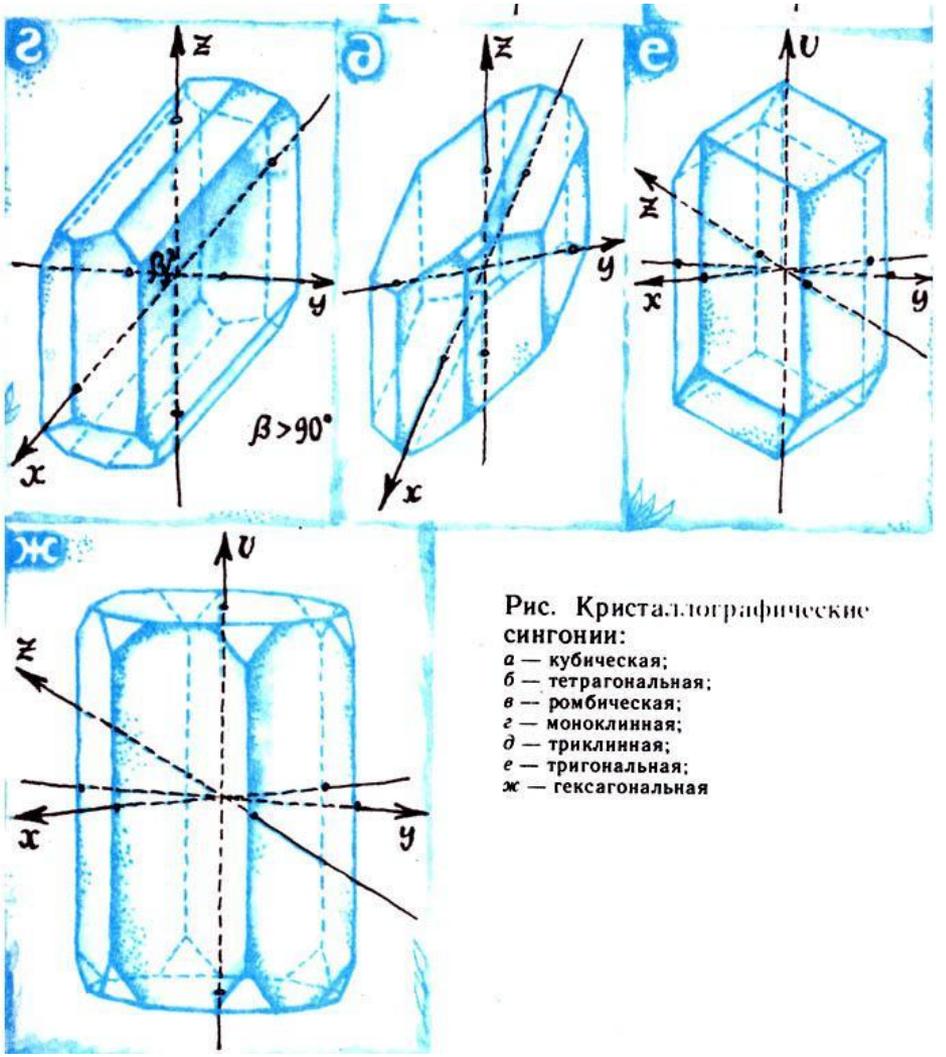
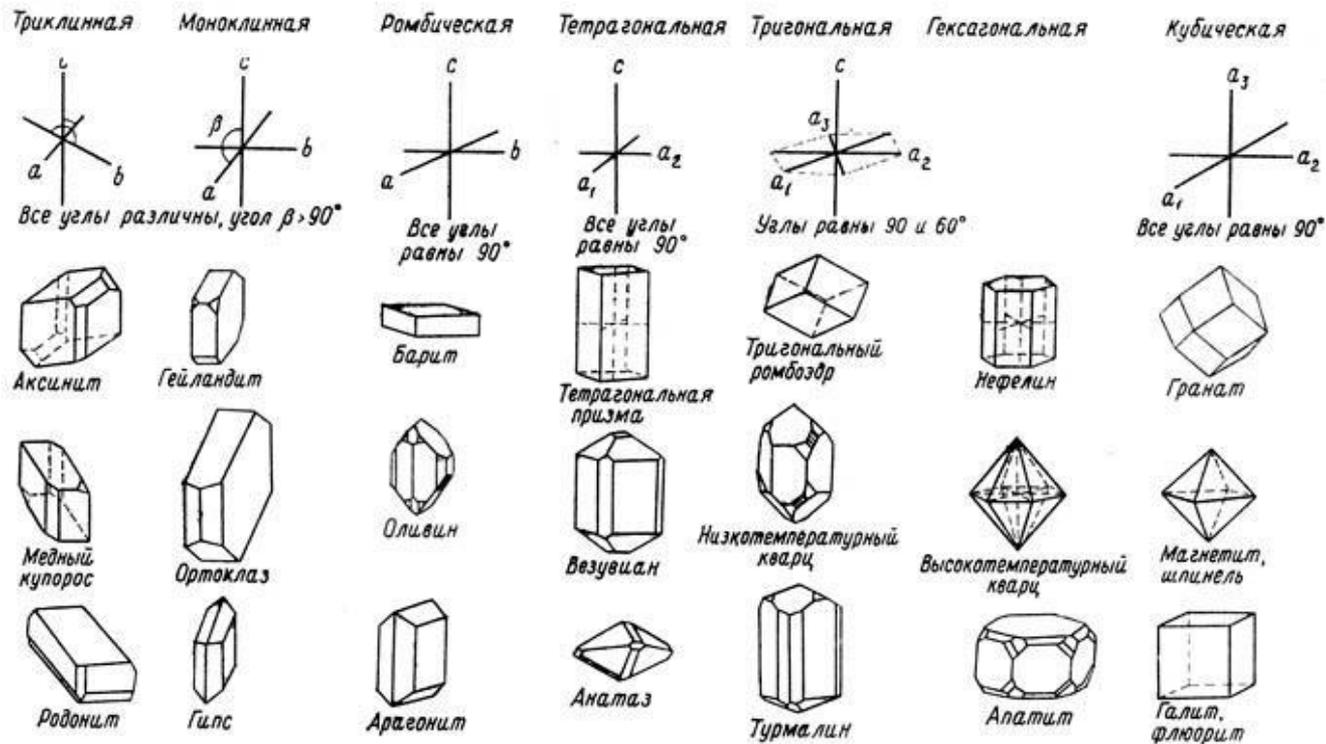


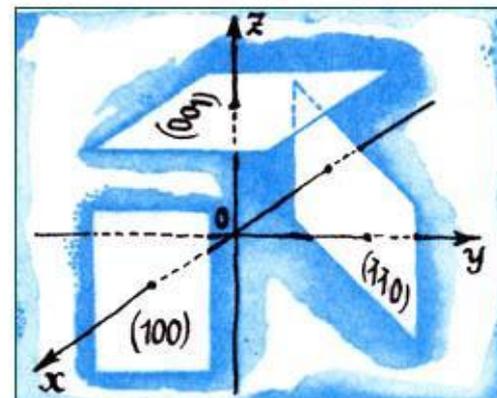
Рис. Кристаллографические сингонии:
а – кубическая;
б – тетрагональная;
в – ромбическая;
г – моноклинная;
д – триклинная;
е – тригональная;
ж – гексагональная

Г - моноклинная, д – триклинная, е – тригональная, ж - гексагональная



Используем системы координат, чтобы обозначить положение граней кристаллов. Это положение определяется углами, а не расстояниями. Назовем ось, направленную в сторону наблюдателя - Ox , вправо - Oy , вверх Oz . Идущие в этих направлениях значения на оси являются положительными, противоположные - отрицательными. Это обычное умолчание, принятое в элементарной математике. Каждую грань обозначают символом - заключенными в скобки числами (индексами). Индексы граней кристаллов - всегда целые и обычно небольшие числа. Большой индекс имеет та грань, которая составляет с данной осью больший угол.

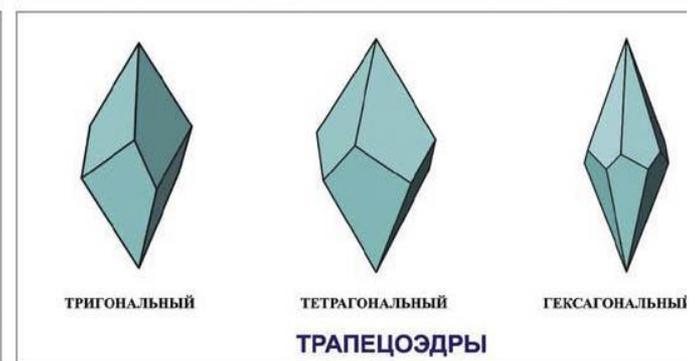
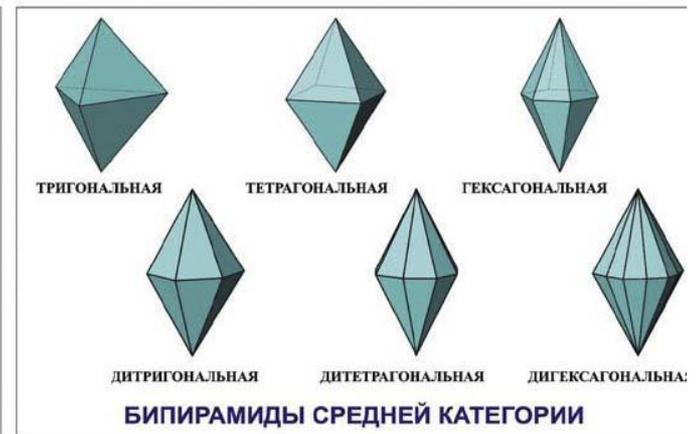
Если грань параллельна какой-нибудь оси, то ее индекс по этой оси равен нулю. Пересечение грани с отрицательной частью оси обозначается минусом над соответствующим индексом. Так, символ (100) означает, что грань пересекает ось Ox в ее передней (положительной) части и параллельна координатной плоскости yOz ; грань (001) пересекает ось Oz и параллельна плоскости xOy ; грань (110) пересекает ось Ox сзади и ось Oy спереди и параллельна оси Oz .

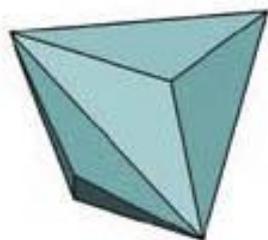


Если грань параллельна какой-нибудь оси, то ее индекс по этой оси равен нулю. Пересечение грани с отрицательной частью оси обозначается минусом над соответствующим индексом. Так, символ (100) означает, что грань пересекает ось Ox в ее передней (положительной) части и параллельна координатной плоскости yOz ; грань (001) пересекает ось Oz и параллельна плоскости xOy ; грань (110) пересекает ось Ox сзади и ось Oy спереди и параллельна оси Oz .

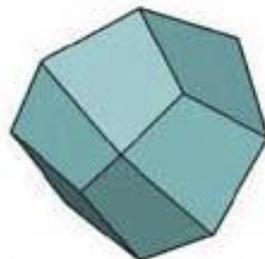
- Совокупность кристаллографически одинаковых граней (т. е. совмещающихся друг с другом под действием операций симметрии данного класса) называются **простой формой**.
- Все грани, образующие одну простую форму кристалла, должны быть равны по размеру и форме.
- Всего существует 47 простых форм, в каждом классе симметрии могут реализоваться лишь некоторые из них. Тот или иной кристалл может быть огранён гранями одной простой формы но чаще — той или иной комбинацией этих форм

Простые формы низших и средних сингоний

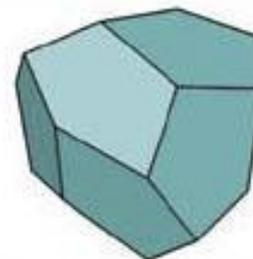




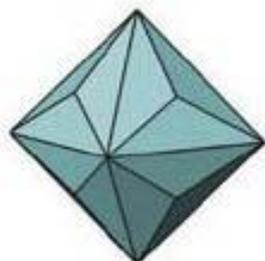
ТРИГОНТРИТЕТРАЭДР



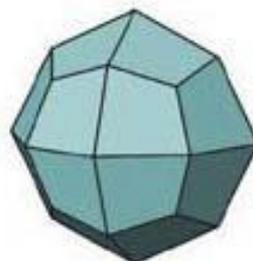
ТЕТРАГОНТРИТЕТРАЭДР



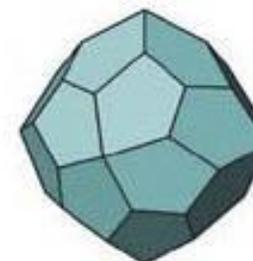
ПЕНТАГОНТРИТЕТРАЭДР



ТРИГОНТРИОКТАЭДР



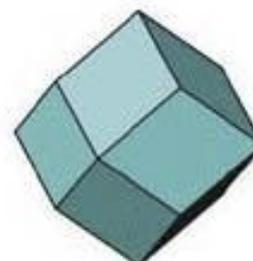
ТЕТРАГОНТРИОКТАЭДР



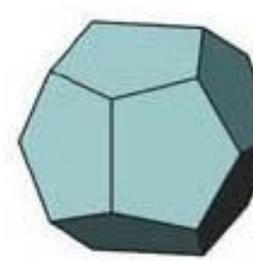
ПЕНТАГОНТРИОКТАЭДР



ТЕТРАГЕКСАЭДР



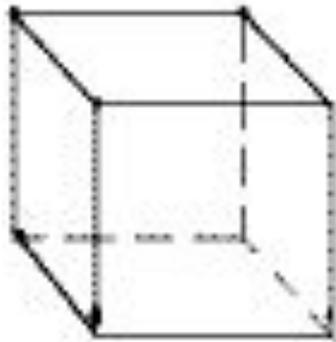
РОМБОДОДЕКАЭДР



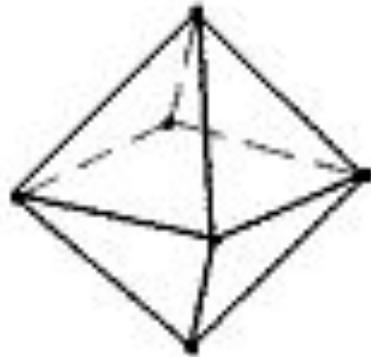
ПЕНТАГОНДОДЕКАЭДР

ПРОСТЫЕ ФОРМЫ КУБИЧЕСКОЙ СИНГОНИИ

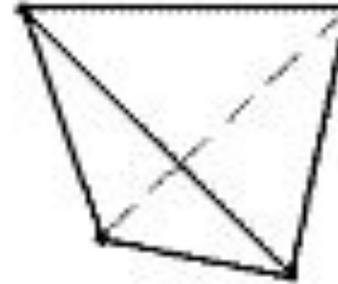
- Открытыми простыми формами сингоний средней категории будут призмы и пирамиды.
- Тригональная призма - три равных грани, пересекающихся по параллельным ребрам и образующих в сечении равносторонний треугольник;
- Тетрагональная призма - четыре равных попарно параллельных грани, образующих в сечении квадрат;
- Гексагональная призма - шесть равных граней, пересекающихся по параллельным ребрам и образующих в сечении правильный шестиугольник.



куб

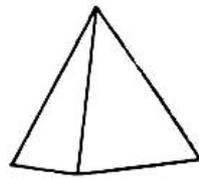


октаэдр

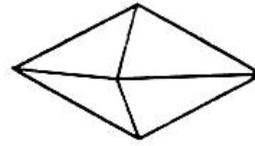


тетраэдр

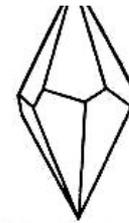
Простые формы кубической
сингонии



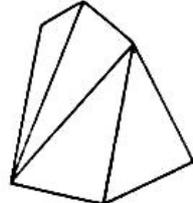
Пирамида



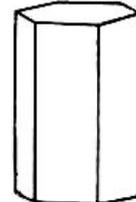
Дипирамида



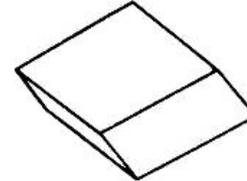
Трапецоэдр



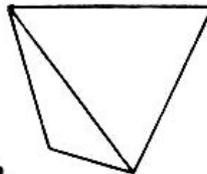
Скаленоэдр



Призма

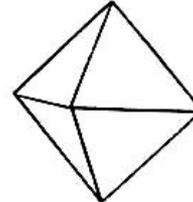


Ромбоэдр

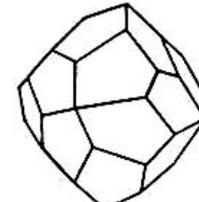


a

Тетраэдр

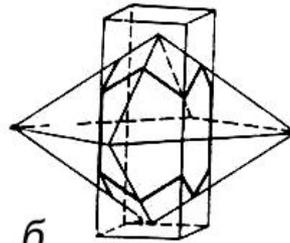


Октаэдр

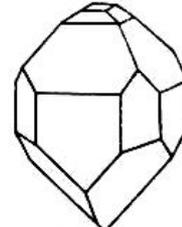


Пентагон-триоктаэдр

Простые формы

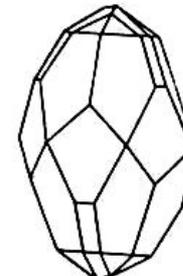


б

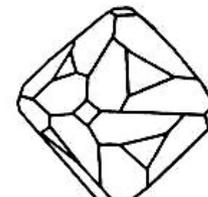
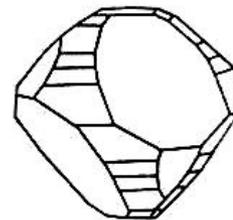


В

Каламин



Кальцит



**Ромбическая,
моноклиная и
триклинная сингонии**

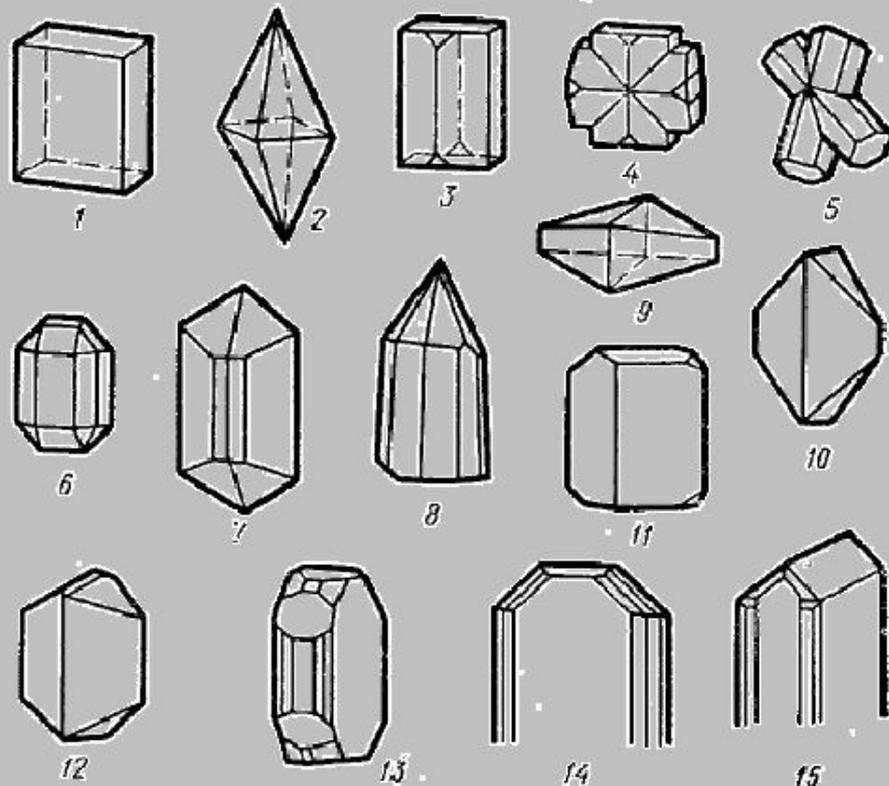
— в кристаллах
отсутствуют оси
симметрии высшего
порядка.

По внешнему виду
они между
изометричными и
удлиненными и
листоватыми.



Кристаллы тригональной сингонии:

1 — гематит; 2 — ильменит; 3, 4 — турмалин; 5 — кристалл турмалина со штриховкой на гранях; 6 — корунд



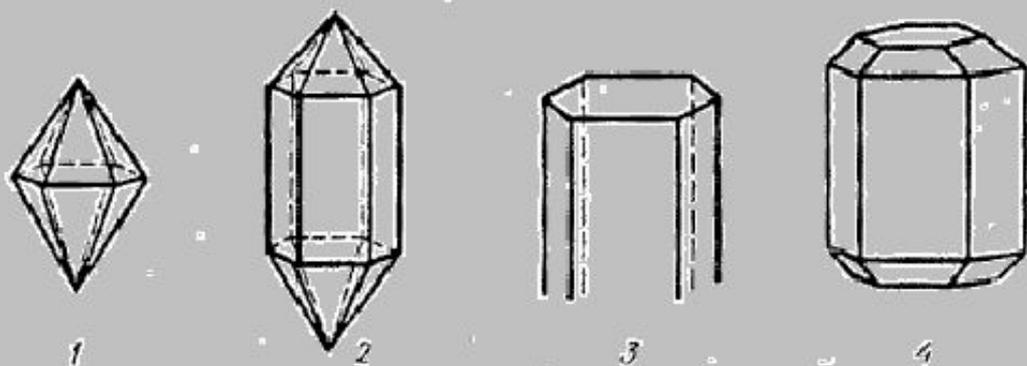
Кристаллы ромбической сингонии:

1 — ромбическая призма; 2 — ромбическая дипирамида; 3 — кристалл ставролита; 4, 5 — сросшиеся кристаллы ставролита в виде крестообразных двойников; 6 — комбинация призм, дипирамиды и пинакоидов (оливин); 7 — комбинация двух призм и дипирамиды (топаз); 8 — кристалл топаза; 9, 10 — кристаллы арсенопирита; 11, 12 — кристаллы андалузита; 13, 14 — колумбит-танталит; 15 — самарскит

Гексагональная и тригональная – одна ось шестого или третьего порядка

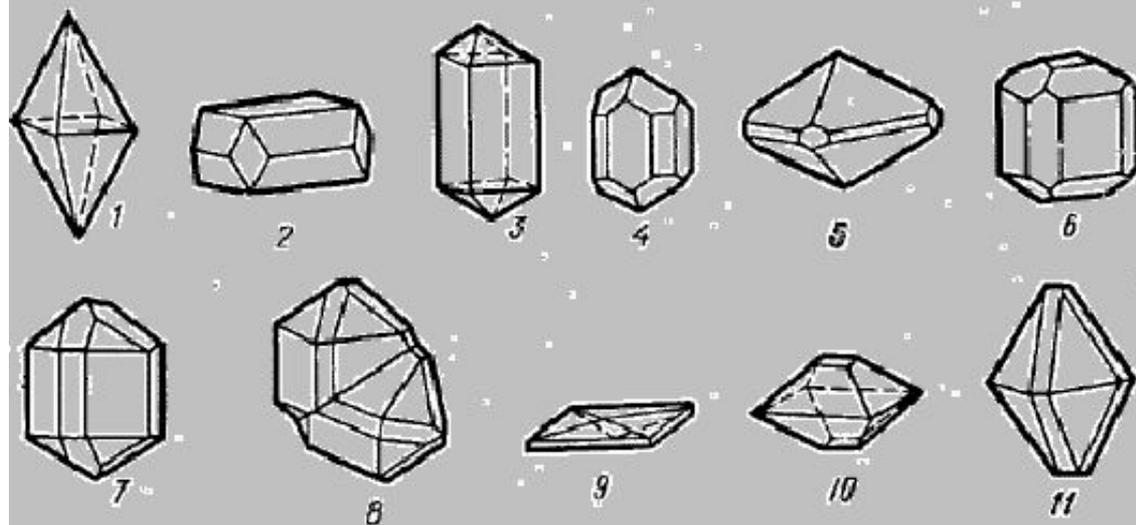
Тетрагональная – одна ось четвертого порядка.

В кристаллах средних сингоний ось **c** всегда перпендикулярна плоскости в которой располагаются **a** и **b**. Кристаллы большей частью удлиненные или таблитчатые.



Кристаллы гексагональной сингонии:

1 — гексагональная дипирамида (кварц, корунд); 2 — комбинация призмы и дипирамиды (кварц); 3 — гексагональная призма (берилл, апатит); 4 — комбинация призмы с дипирамидой и пинакондом (апатит)



Кристаллы тетрагональной сингонии:

1 — тетрагональная дипирамида (анатаз, циркон, ксенотим); 2 — анатаз; 3 — комбинация тетрагональной призмы с тетрагональной дипирамидой (циркон, брукит); 4 — комбинация дипирамиды и двух призм (ксенотим, рутил, циркон); 5 — комбинация двух призм с дипирамидой (везувиян, циркон); 6 — комбинация двух тетрагональных призм и дипирамиды с пинакондом (везувиян); 7 — комбинация двух призм с двумя дипирамидами (касситерит); 8 — двойник касситерита; 9, 10 — вульфенит, 11 — швелит

- *Кубическая* сингония объединяет наиболее симметричные кристаллы, которые имеют несколько осей симметрии высшего порядка – 4 оси 3 порядка, нет единичных направлений. Кристаллы изометричные.



Форма кристалла одного и того же минерала в разных образцах может несколько отличаться; например, кристаллы кварца бывают почти изометричными, игольчатыми или уплощенными. Однако все кристаллы кварца, крупные и мелкие, остроконечные и плоские, образуются при повторении идентичных элементарных ячеек.

- Углы между соответствующими гранями одного и того же кристалла имеют постоянное значение и специфичны для каждого минерального вида.

- **Физические свойства минералов**
- **Оптические свойства.**
 - - *Цвет*
 - - *цвет черты.*
 - - *Прозрачность,*
 - - *Блеск*
- **Механические свойства минералов.**
 - - *Излом*
 - - *Спайность*
 - - *Твердость*
- **Плотность.**
- **Магнитные свойства.**
- **Электрические свойства**

- **Зарождение, рост и изменение минералов (онтогения)**
- Образование минералов может происходить из жидкостей, газа и твердых тел.
- Кристаллизация минерала начинается с зародыша, для образования которого достаточно несколько сотен молекул. В дальнейшем происходит наслоение вещества на гранях.
- Зарождение минерала может происходить во взвешенном состоянии, либо на субстрате.

-

- В дальнейшем может происходить *изменение* минералов.
- Например, *растворение* минерала в условиях ненасыщенного раствора (границы округлые, ребра кривые, вершины притупленные, фигуры растворения).
-
- Регенерация – если измененный минерал попадает в благоприятные условия, он может залечивать искажения формы.

- **Процессы минералообразования в природе**
-
- *Эндогенные процессы* – собственно магматическая стадия, пегматитовая стадия и постмагматическая стадия.
- По мере охлаждения магмы первыми образуются кристаллы минералов, имеющие наиболее высокую температуру плавления.

- Пегматитовая стадия – кристаллизуется остаточный расплав сильно насыщенный газами.
- Постмагматическая стадия – главная роль принадлежит летучим компонентам. Летучие реагируют с уже образованными минералами, часто замещая их (метасоматоз).
-

- *Экзогенные процессы.* На земной поверхности. В процессе выветривания и осадочные минералы.
- *Метаморфогенные процессы.*
Контактовый и региональный метаморфизм

- Пневматолито-гидротермальные процессы. Явление пневматолита (от греческого "пневма" - газ) протекает в тех случаях, когда вследствие перепада давлений происходит вскипание остаточного расплав-раствора и вся жидкость переходит в газообразную фазу, вступая при этом в реакцию с ранее выделившимися твердыми минералами.
- Если отщепление летучих, в том числе и паров воды, на заключительной стадии кристаллизации магмы или образования пегматитов происходило на больших или средних глубинах, то высвободившиеся при этом летучие соединения в газообразной форме могли вступать в химические реакции с вмещающими породами, производя, так называемый, *контактовый метаморфизм*. Степень метаморфизма и состав получающихся продуктов определялись главным образом химической активностью флюида и составом реагирующей с ним породы. Наиболее интенсивные изменения установлены для зон контактов гранитных массивов с известковистыми породами. В результате разнообразных реакций замещения (*метасоматических реакций*) в этом случае возникают породы, получившие название *скарны*. Источниками вещества для их формирования послужили как вмещающие породы, так и некоторые составляющие части магмы. С образованием скарнов нередко связаны крупные месторождения железа, вольфрама, молибдена и некоторых других металлов.
- Если отщепление летучих в магматическом очаге или пегматитовых телах происходило на относительно малых глубинах, то дальнейшая миграция (удаление от магматического очага) такого флюида могла привести, в конечном итоге, к образованию другого типа жильных тел (рис. 14). В тех случаях, когда формирование минерального вещества в этих жилах происходило выше критической точки воды (374,5 °C), т. е. активную роль в этом процессе играли пар и флюиды, принято говорить о собственно *пневматолитовом генезисе*. Если формирование минерального вещества происходило ниже критической точки воды, т.е. вода в качестве самостоятельной жидкой фазы играла существенную роль в процессе образования минеральных ассоциаций, говорят о *гидротермальном генезисе*.
- Минеральный состав пневматолитовых и гидротермальных жил крайне разнообразен. Жилы в большинстве случаев сложены кварцем, карбонатами, которые заключают в себя скопления самородных элементов (Au, Ag, Bi), сульфидов, селенидов и теллуридов таких элементов как Mo, Bi, Cu, Zn, Ag, Pb, Sb, Hg и др., оксисоединений вольфрама, Mo, Sn, U и некоторые другие минералы. Именно с пневматолито-гидротермальными процессами связано образование крупных месторождений редких (W, Mo, Sn, Bi, Sb, As, Hg), цветных (Cu, Pb, Zn), благородных (Au, Ag) и радиоактивных (U, Th) металлов.

- К настоящему времени около 4000 минералов признаны самостоятельными минеральными видами.
- К этому списку постепенно добавляются новые минералы.
-
- В результате в современной систематике минералы объединяются в классы по признаку общего аниона или анионной группы.
- Исключение составляют самородные элементы, которые встречаются в природе сами по себе, не образуя соединений.

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

Класс	Минерал (пример)	Химическая формула
Самородные элементы	Золото	Au
Карбиды	Муассанит	SiC
Сульфиды и сульфосоли	Киноварь	HgS
	Энаргит	Cu ₃ AsS ₄
Оксиды	Гематит	Fe ₂ O ₃
Гидроксиды	Брусит	Mg(OH) ₂
Галогениды	Флюорит	CaF ₂
Карбонаты	Кальцит	CaCO ₃
Нитраты	Калиевая селитра	KNO ₃
Бораты	Бура	Na ₂ B ₄ O ₅ (OH) ₄ ·8H ₂ O
Фосфаты	Апатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F
Сульфаты	Гипс	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Хроматы	Крокоит	PbCrO ₄
Вольфраматы	Шеелит	CaWO ₄
Силикаты	Альбит	NaAlSi ₃ O ₈