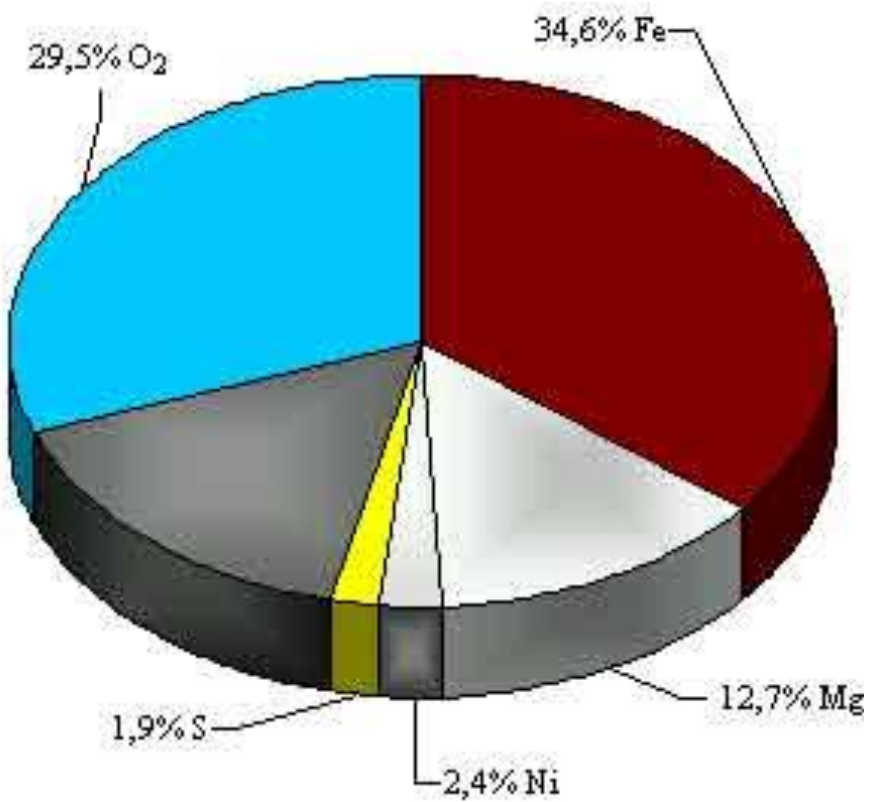


# Минералы

- Земная кора больше чем на 98% сложена небольшим числом химических элементов: O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K.
- Два элемента, кислород и кремний, составляют 74% массы земной коры, в отличие от среднего состава Земли. Особенно высоко содержание кислорода, поэтому В. М. Гольдшмидт называет земную кору оксисферой, или кислородной оболочкой.
- Алюминий, железо, кальций, натрий, калий и магний - еще 24,3%. Все вместе они формируют почти 99% земной коры.

## 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



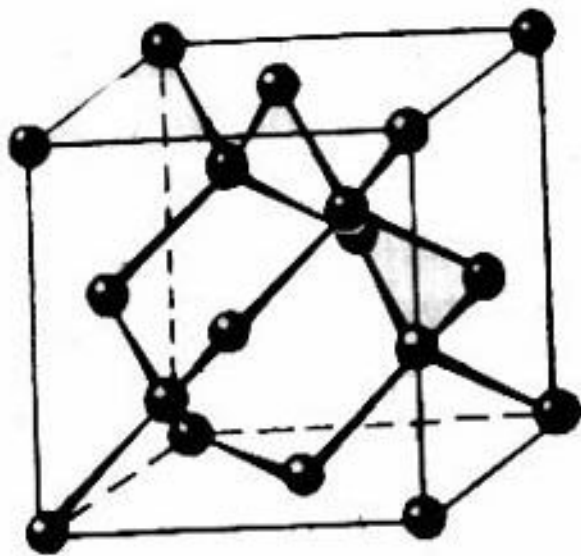
Химический состав земной коры



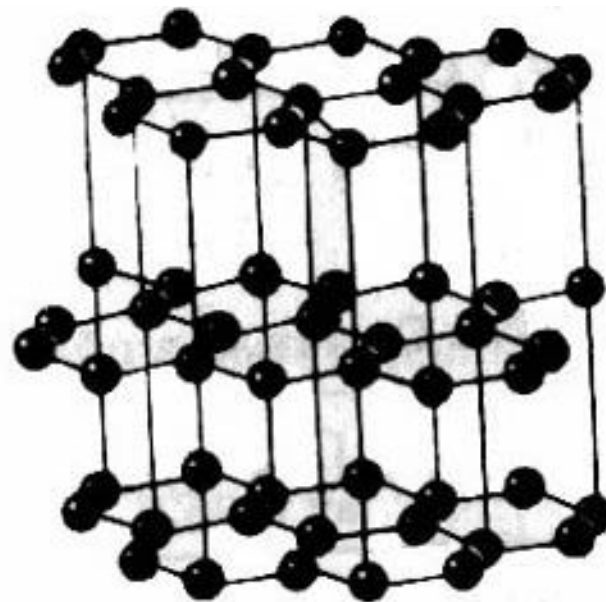
- Химические элементы в земной коре находятся в составе минералов - **природных химических соединений или отдельных химических элементов, возникших в результате физико-химических процессов, происходящих в Земле.**
- В земной коре минералы находятся преимущественно в кристаллическом состоянии, и лишь незначительная часть - в аморфном.
- Свойства кристаллических веществ обуславливаются как их составом, так и внутренним строением, т.е. кристаллической структурой.

- Кристаллическое вещество – твердое вещество, состоящее из ионов, атомов, молекул, которые **геометрически правильно распределены в пространстве.**
- Элементарные частицы, соединяясь в кристаллическую структуру, используют характерные для них типы химических связей. По степени однородности этих 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.
- В случае **ковалентной связи** внешние электроны вращаются вокруг ядер по общим орбитам, соединяя атомы между собой. Это самый прочный тип связи. Минералы с ковалентной связью обычно имеют высокие твердость и температуру плавления (например, алмаз).
- **ван-дер-ваальсова связь** слабая. Возникает между электронейтральными структурными единицами (слоями или группами атомов) и распределена неравномерно. Эта связь обеспечивает притяжение между противоположно заряженными участками в более крупных структурных единицах. Такой тип связи наблюдается между слоями графита, образованными благодаря сильной ковалентной связи атомов углерода.



а



б

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* или *неравносвойственностью кристаллического вещества*.

Анизотропия проявляется во многих особенностях кристаллических веществ. Например, в способности образовывать многогранники - кристаллы, форма которых разнообразна и зависит, прежде всего, от



- Проявление анизотропии можно видеть на примере графита. Расстояние между атомами углерода в пределах плоских слоев решетки составляет 0,14 нм (1,42 Å), между слоями оно 0,33 нм (3,39 Å).
- Это объясняет способность графита легко расщепляться на тонкие листочки, параллельные слоям решетки, и с трудом ломаться по неровным поверхностям в других направлениях, где расстояния между частицами и силы сцепления между ними больше.
- В аморфных веществах закономерность в расположении частиц отсутствует. Свойства зависят только от состава и во всех направлениях статистически одинаковы, т.е. аморфные вещества изотропны или равносвойственны.

- В различных физико-химических условиях вещества одинакового химического состава могут приобретать разное внутреннее строение, а, следовательно, и разные физические свойства и создавать таким образом разные минералы.
- Это явление называется *полиморфизмом* (греч. "поли" - много). В качестве примера полиморфизма можно назвать две модификации углерода (C): графит и алмаз.
- В структуре алмаза сцепления между атомами углерода однотипны и прочны. Отсюда и свойства алмаза, резко отличные от свойств графита: например, низкие твердость – 1 и плотность – 2,1-2,3 у графита и высокие – у алмаза, соответственно 10 и 3,5 и др.

- Явление *изоморфизма* – **одинаковая форма, но состав разный** (твердые растворы).
- Примесь различных химических элементов, которые закономерно входят в решетку, замещают друг друга.
- Например, ряды пироксенов, плагиоклазов, карбонатов, оливина. 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  $Na^{2+}$  и одновременно, чтобы сохранился заряд:  $Al^{3+}$  на  $Si^{4+}$ ).

## Изоморфизм

Катионы	Анионы
Si <sup>4+</sup> 0.27	O <sup>2-</sup> 1.40
Al <sup>3+</sup> 0.53	
Mg <sup>2+</sup> 0.72	Cl <sup>-</sup> 1.81
Fe <sup>2+</sup> 0.78	
Na <sup>+</sup> 0.99	S <sup>2-</sup> 1.84
Ca <sup>2+</sup> 1.00	
K <sup>+</sup> 1.38	

Размеры ионов, которые слагают наиболее распространенные породообразующие минералы. Цифры – размеры в ангстремах. Ионы имеющие одинаковый заряд и близкие размеры могут заместить друг друга

- Формы нахождения минералов в природе разнообразны и зависят главным образом от условий образования.
- Это либо отдельные кристаллы и их закономерные сростки (двойники), либо четко обособленные минеральные скопления, либо, чаще, скопления минеральных зерен - минеральные агрегаты.
- Отдельные 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 минералов варьируют в очень широких пределах – от гигантов весом в 5 т (кристалл кварца из Бразилии) до столь мелких, что их грани можно различить только под электронным микроскопом.

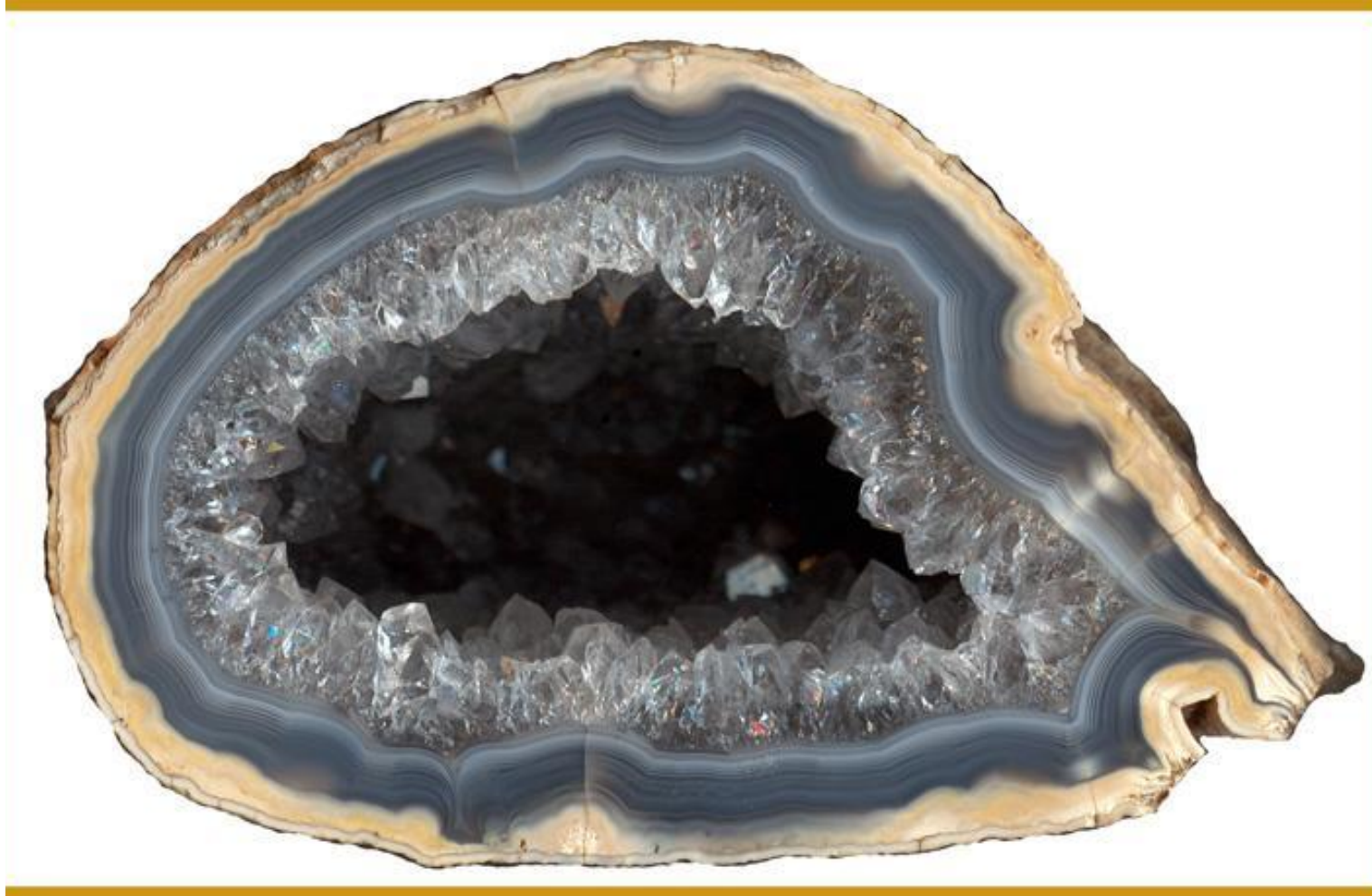


*друзы и щетки*, представляющие скопления кристаллов, приросших к стенкам пещер или трещин.



*Дендриты* – фигуры в виде ветвей дерева, кустарника, образующиеся благодаря быстрому росту кристаллов по некоторым направлениям.





*Секреции* - результат постепенного заполнения ограниченных пустот минеральным веществом, отлагающимся на их стенках. Они имеют обычно концентрическое строение, отражающее стадийность формирования. Мелкие секреции называются



*Конкреции* - более или менее округлые образования, возникшие путем осаждения минерального вещества вокруг какого-либо центра кристаллизации. С этим часто связано концентрическое или радиально-лучистое строение конкреций. Мелкие округлые образования обычно концентрического строения называются *оолитами*.





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



Натечные образования, осложняющие поверхности пустот, возникают при кристаллизации минерального вещества из просачивающихся подземных вод. Возникают гроздевидные, почковидные агрегаты. Натёки, свисающие со сводов пустот, называются *сталактитами*, растущие вверх со дна пещер - *сталагмитами*. На поверхности трещин могут развиваться плоские минеральные пленки, имеющие разное строение.



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.
- Они 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*.



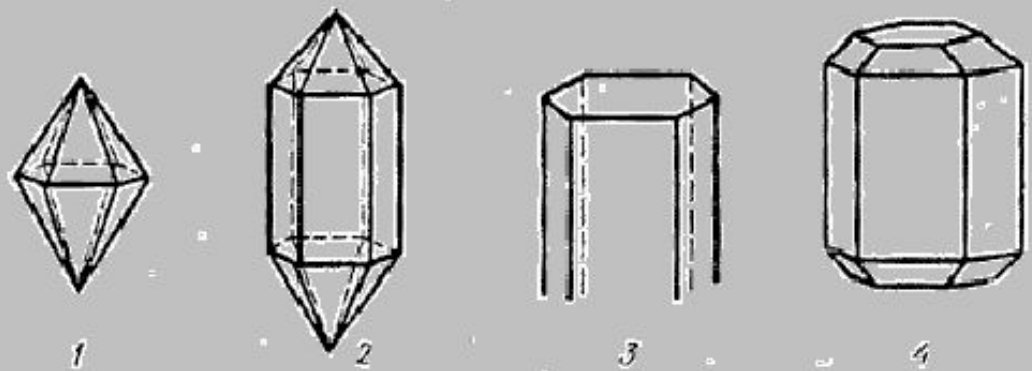
- Величина зерен зависит от условий кристаллизации и изменяется от крупных до землистых.
- В жилах кристаллические агрегаты часто имеют массивное (сливное) строение, при котором отдельные зерна на глаз не различимы.
- *Аморфные агрегаты* представляют собой однородные плотные или землистые массы, обладающие матовым, восковым или слабо жирным блеском.
- *Скрытокристаллические агрегаты* внешне напоминают аморфные и отличаются от них только микроскопически. Они представляют собой коллоидные системы, состоящие из тонкодисперсных кристаллических частиц и заключающей их среды.

- Встречаются минеральные образования, состав которых не соответствует форме, которую они слагают, - это называемые *псевдоморфозы* (греч. "псевдо" - ложный).
- Они возникают при химических изменениях ранее существующих минералов или заполнении пустот, образовавшихся при выщелачивании каких-либо минеральных или органических включений. К первым относятся, например, часто встречающиеся псевдоморфозы лимонита по пириту, когда кубические кристаллы пирита ( $\text{FeS}_2$ ) превращаются в скрытокристаллический лимонит, ко вторым - псевдоморфозы опала по древесине и др.

- **Морфология кристаллов**

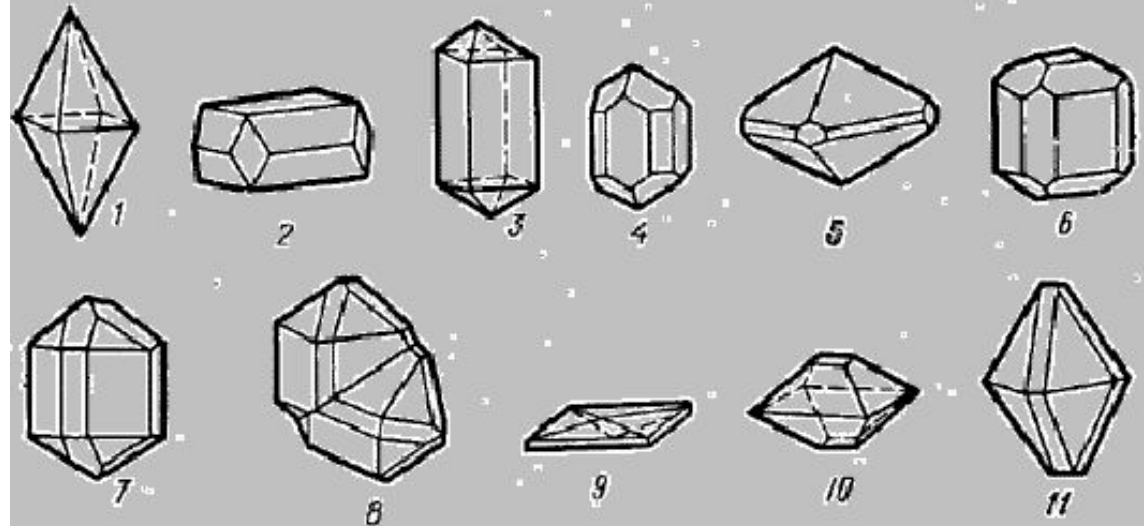
- следует отметить, что в природе один и тот же минерал в разных условиях образует кристаллы различной формы, а разные минералы могут давать одинаковые кристаллы.
- Детально вопросами морфологии занимается кристаллография – одна из наук геологического цикла.
- все разнообразие форм кристаллов делят на 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)

- *Кубическая* сингония объединяет наиболее симметричные кристаллы, которые имеют несколько осей симметрии высшего порядка – 4 оси 3 порядка (рис), нет единичных направлений. Кристаллы изометричные.
- *Гексагональная и тригональная* – кристаллы имеют одну ось шестого или третьего порядка (рис);
- *Тетрагональная* - кристаллы имеют одну ось четвертого порядка (рис).
- В кристаллах средних сингоний ось  $c$  всегда перпендикулярна плоскости в которой располагаются  $a$  и  $b$ . Направление  $c$  по всем свойствам, в том числе по химической связи резко отличается. Преобладают листоватые и цепочечные структуры решеток, а сами кристаллы большей частью удлиненные или таблитчатые.
- *Ромбическая, моноклиная и триклинная* сингонии – в кристаллах отсутствуют оси симметрии высшего порядка (рис). По внешнему виду они между изометричными и удлиненными и листоватыми.



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)



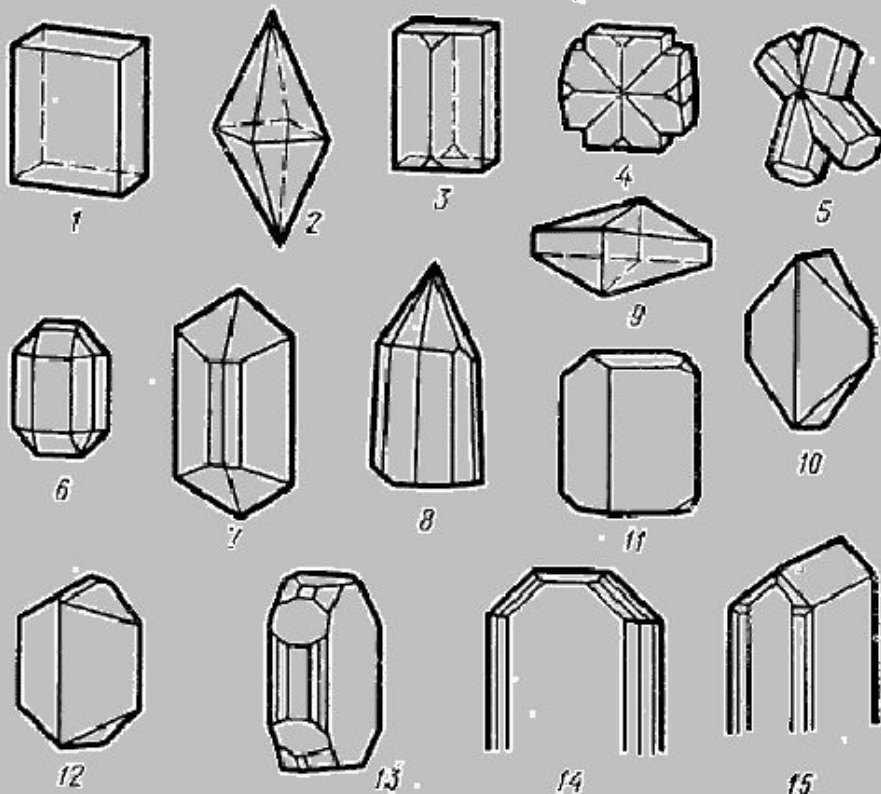
Кристаллы тетрагональной сингонии:

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 — вольфенит, 11 — шеелит



Кристаллы тригональной сингонии:

1 — гематит; 2 — альменит; 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



Форма кристалла даже 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, остrokонечные и плоские, образуются при повторении идентичных элементарных ячеек.

- 
- Если эти ячейки ориентированы в каком-то определенном направлении, кристалл имеет удлиненную форму, если в двух направлениях в ущерб третьему – то форма кристалла таблитчатая.
- Поскольку углы между соответствующими гранями одного и того же кристалла имеют постоянное значение и специфичны для каждого минерального вида, этот признак обязательно включается в характеристику минерала.



- **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 (онтогенез)**
- 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 наслаивание вещества на гранях.
- Зарождение минерала может происходить во взвешенном состоянии, либо на субстрате.
- 
- В дальнейшем может происходить *изменение* минералов. Это бывает еще во время роста но полностью проявляется после образования минерала.
- 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

- **Процессы минералообразования в природе**
- *Эндогенные процессы* – собственно магматическая стадия, пегматитовая стадия и постмагматическая стадия.
- Магма представляет собой силикатный расплав. По мере его охлаждения 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*. Контактный и

- К настоящему времени около 4000 минералов признаны самостоятельными минеральными видами.
- К этому списку постепенно добавляются новые минералы и исключаются давно известные, но дискредитированные по мере совершенствования методов минералогических исследований.
- 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 <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>
Оксиды	Гематит	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Гидроксиды	Брусит	Mg(OH) <sub>2</sub>
Галогениды	Флюорит	CaF <sub>2</sub>
Карбонаты	Кальцит	CaCO <sub>3</sub>
Нитраты	Калиевая селитра	KNO <sub>3</sub>
Бораты	Бура	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>5</sub> (OH)4·8H <sub>2</sub> O
Фосфаты	Апатит	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> F
Сульфаты	Гипс	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Хроматы	Крокоит	PbCrO <sub>4</sub>
Вольфраматы	Шеелит	CaWO <sub>4</sub>
Силикаты	Альбит	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>