

# ***МИНЕРАЛОГИЯ***

*Курс лекций для студентов I курса  
Специальности геология*



# Минералогия как наука

- 1. Минералогия** — наука о минералах, их составе, строении, свойствах, условиях образования и изменения. Зародилась эта наука в глубокой древности в процессе практической деятельности, человека. О тесной связи минералогии и практики говорит само название науки: латинское слово «**minera**» в переводе означает руда, рудник, рудная жила.
- 2.** До недавнего времени к минералам относили лишь продукты природных процессов, возникшие в земной коре и входящие в ее состав. Изучение космического пространства, сведения о котором мы получаем в виде метеоритов и образцов пород Луны, и мантии Земли позволило расширить понятие о минерале и объектах исследования минералогии.

Под **минералом** понимается продукт природных физико-химических процессов в земной коре или в космосе, обособленный от окружающей среды и обладающий определённым химическим составом и кристаллической решёткой.

- **Предметом минералогии** являются не только продукты природных процессов — минералы, а и сами процессы, при которых возникают или претерпевают различные изменения эти продукты. Следовательно, **минералогия является наукой, восстанавливающей историю минералов**. Она рассматривает и изучает минерал в его развитии и принадлежит к числу геологических наук, которые с разных сторон изучают неорганическое тело Земли.

# Связь минералогии с геологическими науками

Минералогия

Кристаллография

Петрография

Геохимия

Учение о  
полезных  
ископаемых

Геммология

# Деление минералогии:

- 1. минералогия земной коры;
- 2. минералогия мантии;
- 3. минералогия космоса;
- в зависимости от подходов к минералам в минералогии выделяются:
  - 1) физика минералов
  - 2) химия минералов
  - 3) структурная минералогия
  - 4) минералогическая кристаллохимия
  - 5) генетическая минералогия
  - 6) экспериментальная минералогия
  - 7) прикладная минералогия
  - 8) региональная минералогия
  - 9) систематическая минералогия.

# Конституция минералов

- Под **конституцией минералов** понимают химический состав и внутреннее строение минералов, которые взаимосвязаны между собой и являются важнейшими свойствами минералов.
- Конституция минералов определяется составляющими минералы структурными единицами (атомами и ионами).
- При образовании минералов его структурные единицы стремятся к **симметричному расположению** и определённой **координации**, что приводит к образованию трёхмерных периодических структур, выраженных в виде **пространственных кристаллических решёток**.
- Пространственная решётка состоит из **элементарных ячеек** со свойственными им «постоянными» решёток –  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $c_0$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ .
- Элементарная ячейка для каждого минерала является типичной и из неё закономерным путём периодического повторения можно построить весь кристалл минерала с его внешними свойствами и формами.

# Химический состав и свойства минералов

- В состав минералов входят почти все химические элементы таблицы Менделеева, однако их участие в составе минералов неодинаковое.
- Наряду с **главными** элементами, определяющими самостоятельность минерального вида, имеются элементы, входящие в минерал лишь в качестве **примесей**. Так, например, кремний (Si) образует более 400 минералов, примесями могут быть Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Cr.
- В настоящий момент не известны минералы образованные рубидием (Rb) и гафнием (Gf).

# Минералы – химические соединения

## I. Гомоатомные соединения

В случае образования минерала из одного химического элемента они называются **гомоатомные**. К ним относятся минералы типа простых веществ и самородных элементов. Например *золото, серебро, платины, алмаз*, и т.п. Эти минералы имеют специфические свойства:

- **инертность** в отношении химического взаимодействия с другими элементами. Они как правило химически устойчивые в условиях земной поверхности;
- практически всегда имеют **примеси**, хоть в небольших количествах (доли %);
- в структурном отношении они в большинстве своем кристаллизуются в **кубической сингонии**.



В результате соединения нескольких химических элементов образуются минералы различного состава, среди которых особенно развиты **простые, комплексные и двойные соли**

## II. Простые соли (бинарные соединения)

- **Простые соли** в большинстве представляют собой бинарные соединениями, т.е. соединения в состав которых входят только два элемента (катион и анион). **Катионы** в них могут образовывать соединения с различными **анионами**. **Например:** с серой – сульфиды ( $\text{FeS}_2$ ) с хлором – хлориды ( $\text{NaCl}$ ), с фтором – фториды ( $\text{CaF}_2$ )
- Среди них встречаются такие, у которых несколько катионов соединены с определенным анионом (халькопирит -  $\text{CuFeS}_2$ , перовскит -  $\text{CaTiO}_2$ ).
- Эти соединения также рассматриваются как бинарные: у которых сумма положительно заряженных частиц (+) находится в строгом соответствии к сумме отрицательно заряженных частиц (-).

### III. Комплексные соединения

- Комплексные соединения – наиболее распространены в природе минералов. Они характеризуются определенными **радикалами**, т.е. группами атомов с отрицательной валентностью, которые участвуют в химических реакциях как одно целое;
- Главными радикалами являются: силикаты- $\text{SiO}_4$ , фосфаты- $\text{PO}_4$ , карбонаты- $\text{CO}_3$ , сульфаты- $\text{SO}_4$ , нитраты- $\text{NO}_4$ ;
- Радикалы являются комплексными анионами и присоединяют при образовании минералов количество катионов, необходимое для компенсации отрицательной валентности. В комплексных анионах малые высоковалентные катионы, окружены большими низковалентными анионами. Например: в силикатах - очень мелкие ионы кремния (Si) окружены крупными атомами кислорода (O);
- Комплексные анионы представляют собой в кристаллической решетке самостоятельные анионные группы с небольшим координационным числом центрального катиона. Прочность валентной связи между центральным катионом комплекса и окружающими его анионами больше, чем между этими анионами и катионами расположенные вне комплекса. **Например:** для кальцита внутри группы заряд углерода равен +2, а КЧ=3, т.е. прочность связи между C и O выражается отношением  $4/3$ , в то время как вне комплекса заряд кальция =2, а координационное число = 6, т.е. прочность связи между Ca и O =  $2/6$  ( $1/3$ ).
- Внутри комплекса прочность связи всегда  $>1$ .
- Комплексные анионы по сравнению с простыми ионами выделяются большой величиной своих радиусов. **Например:** радиус сульфат-иона ( $\text{SO}_4$ )=2,95Å, а радиус O=1,32 Å;
- В минералогии в качестве комплексных ионов встречаются почти исключительно радикалы простых кислородных кислот.

## IV. Двойные соли

- **Двойные соли** - пользуются широким развитием в минеральном мире. Они представляют собой соединения, содержащие два или более типов катионов, занимающих в кристаллической решетке особые места.
- Обычно кислородный радикал у обеих солей бывает одинаков, **например: доломит –  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$** , но также бывают двойные соли с различными кислотными радикалами: **каинит –  $\text{KCl} \cdot \text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$** .
- Наиболее склонными к образованию двойных солей оказываются катионы, обладающие наибольшей основностью, уменьшающейся с увеличением заряда катиона и уменьшением размера ионного радиуса.
- Наиболее активные катионы обладают наибольшим ВЭКом, к ним относятся щелочные металлы  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  и т.д.
- Понятие ВЭКа был введён А.Е.Ферсманом в середине 50-х годов прошлого века.
- ВЭК – средний пай энергии, вносимый данным ионом в кристаллическую решётку, отнесённый к единице валентности.

# Формулы минералов.

- Состав минерала обозначается химической формулой, которая условно отражает качественную и количественную характеристику слагающих минерал элементов.
- Формулы минералов могут быть *эмпирическими и структурными*.
- **Эмпирические формулы** выражают **количественный состав** минералов и не дают представления о сочетаниях и связях составляющих минерал элементов;
- **Структурные формулы** не только дают представление о химическом составе, но и позволяют судить о типе химического соединения и о взаимных связях между отдельными элементами.
- Формулы минералов составляются по данным валового химического анализа и выражаются в %.
- При сокращённом написании структурных формул близко связанные друг с другом атомы выделяют в группы посредством круглых скобок, а радикалы – квадратные скобки. **Например: форстерит –  $Mg_2[SiO_4]$ , каолинит –  $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$ .**
- Молекулы воды в кристаллогидратах пишутся в конце формулы **Например: гипс –  $Ca[SO_4] \cdot 2H_2O$ .**
- Если в формуле есть дополнительные анионы OH, и др. они ставятся перед радикалом **Например: апатит –  $Ca_5(F,Cl,OH)[PO_4]_3$ .**
- Изоморфные группы заключаются вместе в круглые скобки и отделяются друг от друга запятыми, причем элементы присутствуют в большом количестве пишутся впереди.
- **Например: сфалерит –  $(Zn, Fe, Mg, Cu, Ge, Yn, Tl)_2S$ .**

# Координационное число

- Число атомов ( ионов противоположного знака ), составляющих ближайшее окружение данного атома ( иона ), называется его координационным числом ( Кч ), а геометрическая фигура, получающаяся при соединении центров этих атомов ( ионов ) прямыми линиями – его координационным многогранником ( КМ ).
- **Например:** 1. структура поваренной соли ( NaCl ): Кч(Na) – 6, КМ (Na) – октаэдр.
- 2. структура алмаза ( С ): Кч -4, КМ – тетраэдр.
- 3. структура флюорита ( Ca F<sub>2</sub>): Кч(Ca) – 8, КМ (Ca) – гексаэдр, Кч (F)– 4, КМ (F)– тетраэдр.
- В структурах одному и тому же координационному числу могут соответствовать различные координационные многогранники.
- Например:
- **Кч**                      **КМ**
- 1                      -                      точка
- 2                      -                      гантель
- 3                      -                      треугольник
- 4                      -                      тетраэдр ( квадрат )
- 6                      -                      октаэдр ( тригональная призма )
- 8                      -                      гексаэдр
- 12                      -                      кубookтаэдр.

# Формы нахождения воды в минералах

- **Вода** – существенная составная часть многих минералов. Кроме этого процессы минералообразования происходят непосредственно в водной среде, при разных температурах (гидротермальные воды), в которых вода является растворителем и переносчиком минеральных веществ в ионном или коллоидном виде.
- Вода в минералах может быть трех типов: кристаллизационной, цеолитной и адсорбционной.
- **1) Кристаллизационная (конституционная, координационная) вода** – вода, содержащаяся в минералах в виде молекулы  $H_2O$ , является следствием их гидратации.
- Минералы содержащие кристаллизационную воду, принято называть **кристаллогидратами**. В соответствующих формулах вода фигурирует целыми молекулами,  $H_2O$ .
- **Например:**  $Ca(SO_4) \cdot 2H_2O$  –  $Ca(SO_4) \cdot 0,5H_2O$  –  $Ca(SO_4)$   
гипс(монокл. с.)      алебастр      ангирит (ромб. с.)
- Прочность связи кристаллизационной воды в отдельных кристаллогидратах весьма различна. В большинстве случаев выделение кристаллизационной воды происходит при температуре до 300 С
- **Признаки:** 1) строгое положение в кристаллической решетке;  
2) строгое количество молекул  $H_2O$  в формуле минерала.
- Выделение кристаллизационной воды сопровождается разрушением кристаллической решетки с образованием безводного соединения или кристаллогидрата с промежуточным количеством воды.

- **2) Цеолитная вода** – имеет место в так называемых цеолитах – минералах класса силикатах, которые имеют ячеисто – каркасное строение кристаллической решётки.
- **Например:** п/к каркасные силикаты – натролит, анальцим (группа цеолитов)
- . В пустотах этого каркаса и располагаются молекулы H<sub>2</sub>O. При нагревании или под давлением эта вода свободно выходит из каркаса, при этом кристаллическая решетка не разрушается благодаря тому, что молекулы воды не принимают непосредственного участия в построении структуры минерала.
- Удаленная цеолитная вода, может быть легко восстановлена минералом.
- **3) Адсорбционная вода** – представляет собой молекулы H<sub>2</sub>O, которые благодаря силе поверхностной энергии минерала механически притягиваются к его поверхности.
- Содержание адсорбционной воды постоянно изменяется. Она удаляется из минералов, главным образом до температуры 110 С, при этом кристаллическая структура минерала не разрушается.
- **Например:** гидрогётит – FeO(OH)\*2H<sub>2</sub>O в процессе дегидратации превращается в безводный гидроксид железа – гётит FeO(OH)

Различают следующие типы адсорбционной воды:

- **А) межплоскостная вода** – характерна для силикатов со слоистым строением кристаллической решетки.
- Каждый пакет слоистой структуры может иметь небольшую мощность с двумя, тремя или четырьмя листочками и значительное протяжение вдоль слоя. Такой двухмерный слой адсорбирует воду всей поверхностью, и в структуре минерала его слои чередуются со слоями адсорбированной воды. В результате адсорбции воды или ее потери решетки минерала разбухает или сжимается но не разрушается. Например: монтмориллонит –  $(Al, Mg)_2(OH)_2[Si_4O_{10}]_n \cdot nH_2O$ , решётка которого при поглощении воды разбухает, что приводит к значительному увеличению объёма минерала.
- Увеличение расстояния между слоями в периоде  $C_0$  – в 3 раза (от 9,6 до 28,9А).
- **Б) вода включений** – захороненные остатки минералообразующей среды в различного рода пустотах минерала.
- По подсчетам В.И. Вернадского, на долю воды находящейся во включениях в минералах, приходится около 0,1 всей массы воды океанов.
- Эта вода по существу является механически включённой в минералы, но в отличии от обычной адсорбционной воды может быть выделена только при более высоких температурах, так как она выполняет ультрамикроскопические пустоты и при этом разрушается структура минералов.
- В минералогии существует термогравиметрический метод исследования воды в минералах, основанный на измерении потери массы минерала при его нагревании. **Например:** СТА -409 Luxx, прибор выпускаемый немецкой фирмой Netch.