

СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЛИТОСФЕРЫ



По данной теме - минералогии

выполняются лабораторные работы:

- «Физико-диагностические свойства минералов»
- «Важнейшие породообразующие минералы»

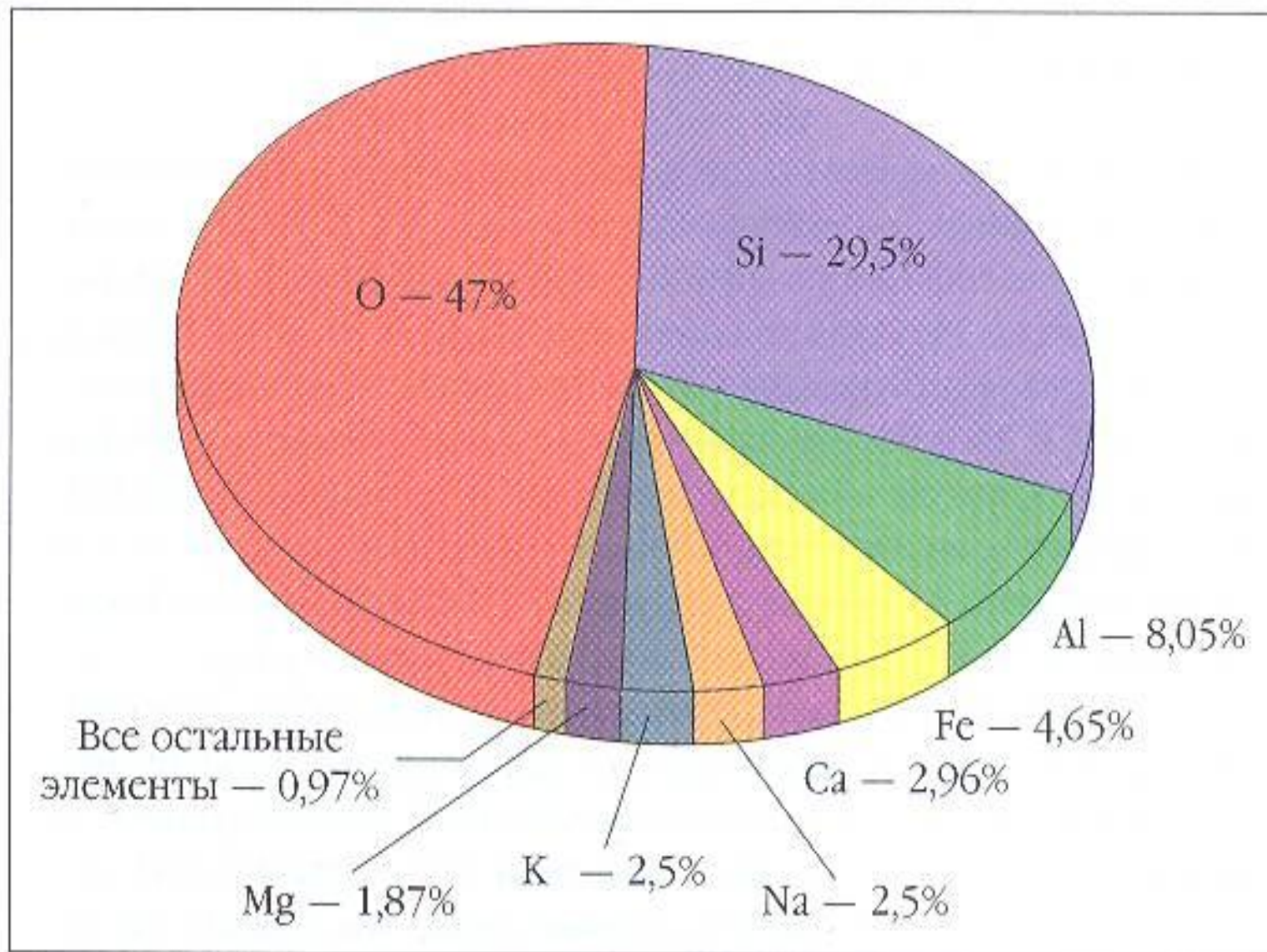
Ход этих работ описан в файле «Текст практикума, часть 1-ая». *Дома Вы можете проверить свойства соли и тех минералов, которые имеются в вашей местности.*

- Приглашаем посетить также Учебный геологический музей ЮУрГУ,
- кор. 1А(хим. факультет), ауд. 101
- Скачать базу данных можно по ссылке:

<https://cloud.mail.ru/public/LpTt/7JVTkkPnF>

- Student --studentassusu

1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ



Процентное содержание химического элемента в земной коре наш советский ученый А.Е. Ферсман предложил назвать в честь американского ученого— коллегии, Кларк (они вместе с В.И.Вернадским тоже установили такой же состав в начале 20 века)

| O | Si | Al | Fe | Ca | Na | K | Mg | Пр. |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 47 | 29,5 | 8,05 | 4,65 | 2,96 | 2,5 | 2,5 | 1,87 | 0,97 |

Химический состав по А.П.Виноградову (и другим авторам)

| Химический состав, % (кларки*) | Fe | O | Si | Mg | Ni | S | Al | Ca | Na | K | проч. | ~90 % |
|-----------------------------------|--|------|------|-------|-----|-----|------|------|-----|-----|-------|-----------|
| Земля | 34,60 | 29,5 | 15,2 | 12,70 | 2,4 | 2,0 | 1,10 | 1,10 | 0,6 | 0,1 | 0,70 | Fe, O, Si |
| Земная кора | 4,65 | 47,0 | 29,5 | 1,87 | – | – | 8,05 | 2,96 | 2,5 | 2,5 | 0,97 | O, Si, Al |
| Метеориты каменные | 25,60 | 34,6 | 17,8 | 13,90 | 1,4 | 2,0 | 1,40 | 1,60 | 0,7 | – | 1,00 | Fe, O, Si |
| Мантия | Состав соответствует вещественному составу каменных метеоритов Ультраосновные породы, силикаты, содержащие тяжелые минералы с Mg и Fe (оливин ряда от форстерита до фаялита и пироксены) | | | | | | | | | | | |
| Верхняя мантия твердая | Пиролиты – первичный недифференцированный субстрат (базальт 25 % и перидотит 75 %) в кристаллическом состоянии. Из минералов преобладает форстерит (Mg_2SiO_4), с глубиной растет доля фаялита (Fe_2SiO_4) | | | | | | | | | | | |
| Астеносфера | То же в аморфном состоянии, частично в расплаве | | | | | | | | | | | |
| Средняя мантия | То же, кристаллическая решетка с более плотной упаковкой | | | | | | | | | | | |
| Нижняя мантия | Под действием очень высоких давлений происходит распад минералов на простые окислы SiO_2 , MgO , FeO с плотнейшей упаковкой кристаллической решетки | | | | | | | | | | | |
| Метеориты железные | Fe – 91 %, Ni – 8 %, S, P, Co ~ 1 % | | | | | | | | | | | |
| Ядро | Вещественный состав предположительно соответствует составу железных метеоритов Жидкое состояние во внешнем ядре, твердое – во внутреннем | | | | | | | | | | | |

Распространенность химических элементов в земной коре (по порядку уменьшения)

| Порядок | Колебания (в %) | Элементы | | Общее содержание в порядке (в %) |
|---------|----------------------------|------------|--|-------------------------------------|
| | | Количество | Виды | |
| I | 100 ... 10 | 2 | O, Si | 75,13 |
| II | 10 ... 1 | 7 | Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, H | 23 |
| III | 1 ... 0,1 | 6 | Ti, C, Cl, P, S, Mn | 1,48 |
| IV | 0,1 ... 0,01 | 10 | F, Ba, N, Sr, Cr, Zr, V, Ni, Zn, Cu | 0,33 |
| V | 0,01 ... 0,001 | 14 | Sn, Rb, W, Li, B, Y, Co, Pb, Cs, Mo, Br, Th u. a. | 0,05025 |
| VI | 0,001 ... 0,0001 | 21 | Yb, Sn, La, Se, Cd, As, U, Be, Hf, Ar, Ga, Ge, J u. a. | 0,008525 |
| VII | 0,0001 ... 0,00001 | 10 | Se, Sb, Nb, Ta, Pt, Eu, In, Bi, Tl, Ag | 0,000266 |
| VIII | 0,00001 ... 0,000001 | 9 | Hg, Pd, Os, Rh, Te, He u. a. | 0,00002 |
| IX | 0,000001 ... 0,0000001 | 3 | Au, Ne, Ru | 0,000001 |
| X | 0,0000001 ... 0,0000000001 | 4 | Kr, Xe, Ra, Pa | <<< 0,000001 |

В целом, мы видим:

В земной коре установлено около 85 химических элементов таблицы Менделеева.

- Химические элементы (ХЭ) распределены крайне неравномерно: на долю **8** приходится **около 99 %**, из которых на долю 2 – более 75%;
- Все другие ХЭ встречаются в малом количестве – менее тысячных – миллионных %, поэтому и месторождения других металлов кроме алюминия и железа очень трудно найти и содержание металлов в них будет первые или десятые доли %.
- ХЭ в земной коре в свободном виде не встречаются, а образуют **твердые химические соединения – минералы.**

Химические элементы

- Встречаются в земной коре и недрах Земли в виде природных химических соединения: SiO_2 , FeS_2 и другие – минералов (примитивное понятие).
- **Псевдосталактиты халцедона до 4 см длиной. Старая Ситня, Московская область.**



2. Основы минералогии

Минералы - составные части горных пород в виде твердых

- природных индивидов (кристаллов или зерен)
- определенного химического состава,
- упорядоченной (кристаллической) внутренней структуры,
- с характерными химическими и физическими свойствами.

Кристаллами принято называть индивиды относительно правильной геометрической формы, напоминающие многогранники, видимые на глаз.

Зерны – индивиды мелкие (менее 1 мм) или (и) произвольной неправильной формы.

Что такое минерал

Когда геологи используют термин «минерал»,

они обычно имеют в виду вещества

- имеющее естественное происхождение
- неорганические твердые
- имеющие упорядоченную внутреннюю структуру
- с характерным химическим составом
- с характерными физическими и химическими свойствами

На этой фотографии изображен минерал

цитрин.

Цитрин – это желтая разновидность кварца, химическая формула которого SiO_2 .



Кристаллы граната в форме ромбододекаэдров

- Альмандин. Мама, Вост. Сибирь, Россия. Кристаллы до 2,5 см. Образцы: Мин. Музей им. А.Е. Ферсмана РАН. (К-4824, К-4825, обмен 2000 г.). Фото: А.А. Евсеев.



Что такое минерал

- Голубой минерал на этой фотографии – кианит – Al_2SiO_5



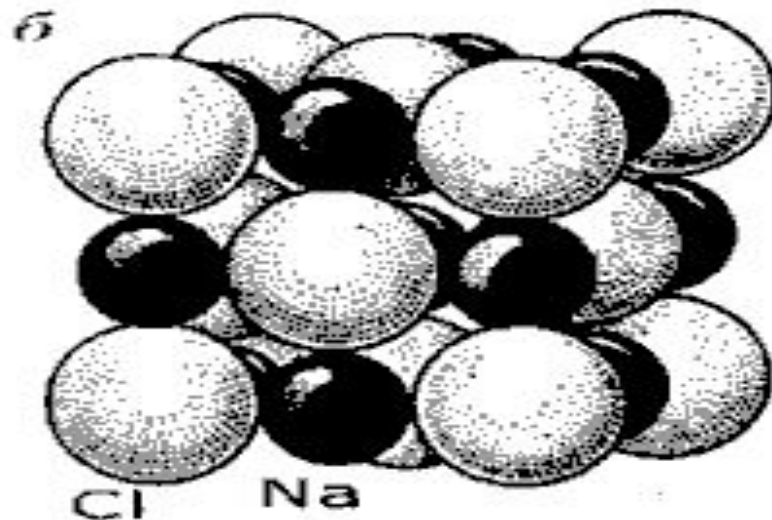
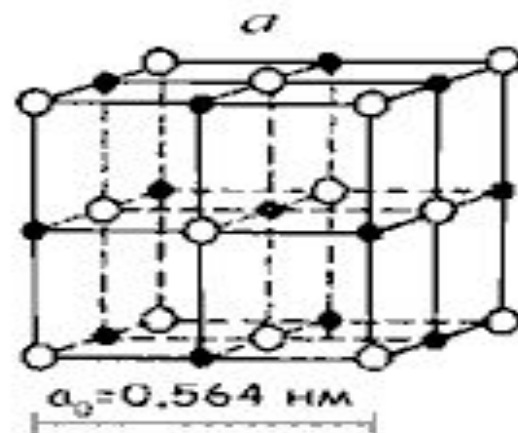
1. Кристалл пирита, 4,5 см. Навахун, Испания.

2. «Пиритовый доллар» - дисковый сферолит пирита.

Диаметр 8 см. Иллинойс, США.



**«Минерал – это кристаллическое твердое тело» с
закономерным расположением атомов или ионов**



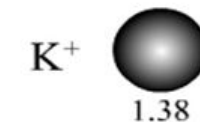
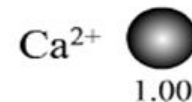
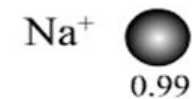
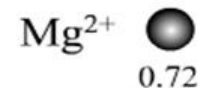
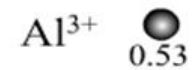
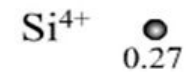
Образование любого минерала

- Можно представить как присоединение химических элементов друг ко другу на минимальное расстояние, которое зависит:
 - от строения атомов,
 - атомных или ионных радиусов химических элементов и
 - типа химических связей

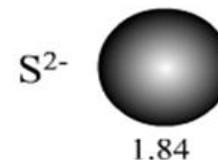
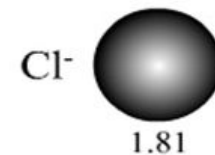
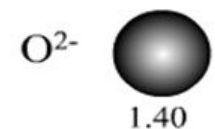
Внутренняя структура минералов

- Мы можем условно рассматривать ионы в структуре минералов как сферы различного размера. Ионы с противоположными зарядами образуют связи. Формирование внутренней структуры растущих кристаллов минералов зависит от размера ионов, составляющих данный минерал. На этом слайде показаны относительные размеры ионов, составляющих наиболее распространенные минералы. Цифры соответствуют тонному радиусу в Ангстрёмах (Ангстрёмы = 0,00000001 см).

Катионы



Анионы



Периодическая система

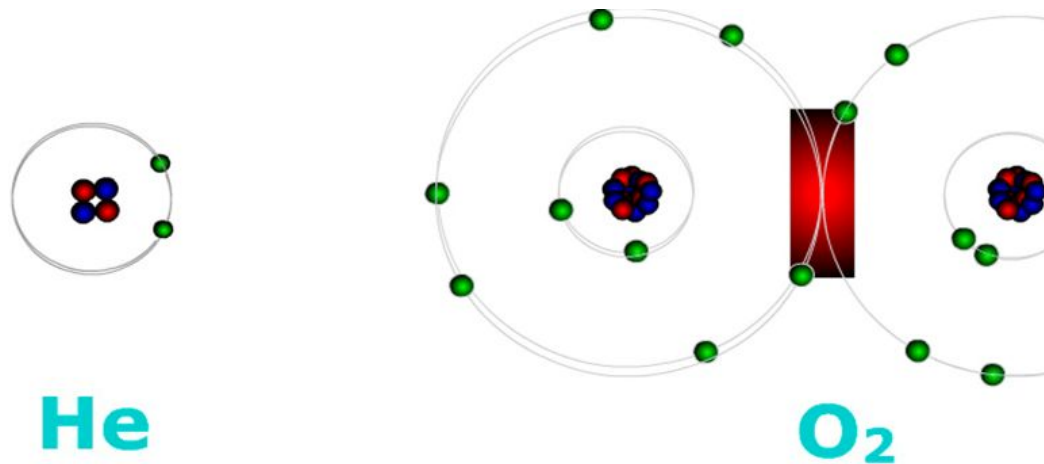
Атомный номер

Символ химического элемента

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 55 Cs | 56 Ba | 57 La* | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |
| 87 Fr | 88 Ra | 89 Ac** | 104 Rf | 105 Db | 106 Sg | 107 Bh | 108 Hs | 109 Mt | | | | | | | | | |
| * 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ** 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lw | | | | | | | | | | | | | | | | | |

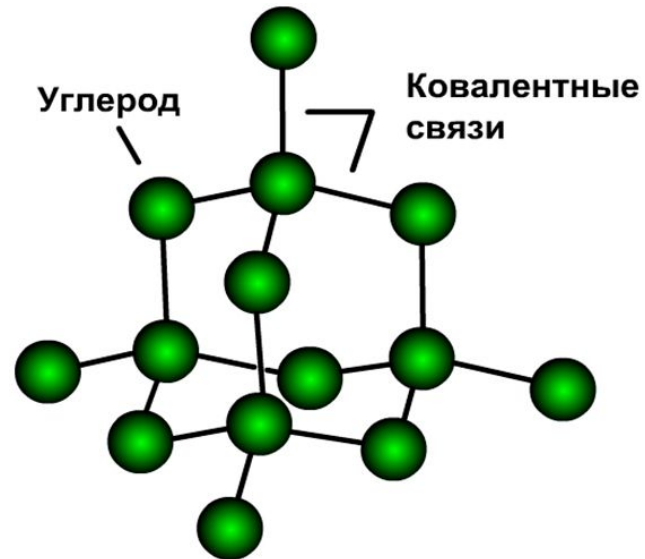
- Периодическая система включает все известные химические элементы. Атомный номер химического элемента соответствует числу протонов в ядре атома данного элемента в ядре натрия (Na) 11 протонов, в ядре титана (Ti) 22 протона и т. Д. У всех элементов в первой колонке периодической системы (H, Li, Na, K, Rb, Cs и Fr) есть только один валентный электрон (т. Е. электрон внешней электронной оболочки). Атомы этих элементов с легкостью отдают этот электрон другим атомам, например атомам галогенных элементов (F, Cl, Br, I и At). В результате между этими атомами образуются ионные химические связи.

2.1. Типы химических связей между атомами



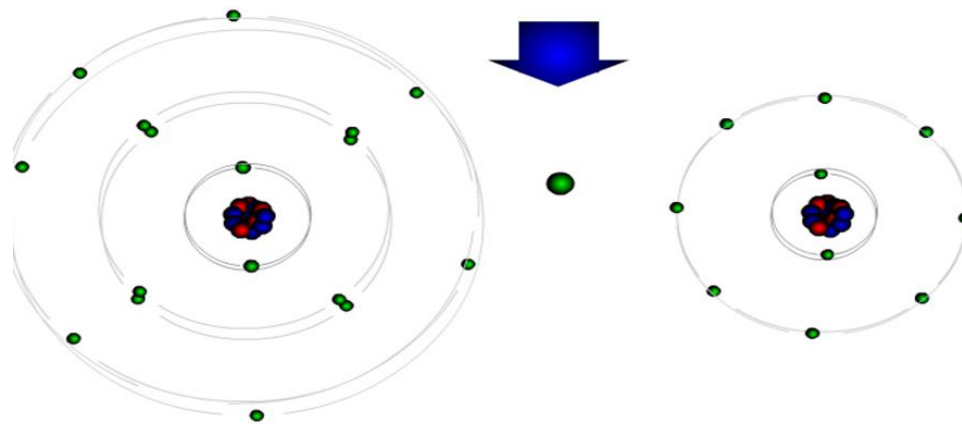
- Химические связи между атомами возникают, когда электроны одного атома взаимодействуют с электронами и ядром другого атома. Можно сказать, что атомы как бы стремятся заполнить свои внешние электронные оболочки. В атоме гелия (He) внешняя оболочка заполнена, так как атом гелия содержит два электрона, которых достаточно для заполнения К-оболочки. В то же время, внешняя оболочка атома кислорода, для заполнения которой необходимо 8 электронов, содержит только 6 электронов. Таким образом, для заполнения внешней оболочки атома кислорода не хватает двух электронов. Один из способов, с помощью которых атом кислорода может достроить свою внешнюю электронную оболочку, это обобществление электронов, т.е. два электрона становятся общими для двух атомов кислорода. В результате между двумя атомами возникает прочная химическая связь. Связь этого типа называется **ковалентной**.

Ковалентная связь между атомами углерода в алмазе



- На этом слайде показана внутренняя структура алмаза. Алмаз состоит только из атомов углерода (C). Каждый атом углерода образует ковалентные связи с четырьмя другими атомами углерода. Ковалентные связи между атомами углерода очень прочные – алмаз является самым твердым минералом в природе.

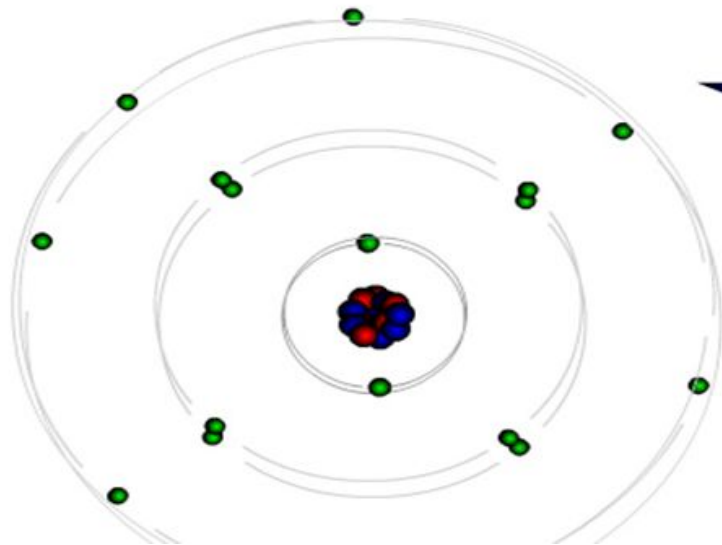
Ионная связь



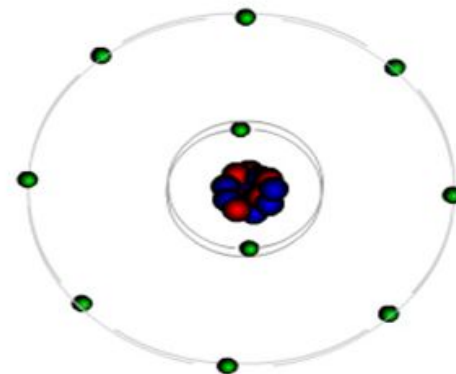
Атом хлора на этом слайде достраивает свою электронную оболочку другим способом. Хлору (Cl) требуется один электрон, чтобы достроить свою внешнюю электронную оболочку. Атом натрия (Na), наоборот, имеет один «лишний» электрон (на его внешней оболочке только один электрон, и необходимо ещё 7, чтобы ее достроить). Если атом Cl сближается с атомом Na, он может «отобрать» у Na один электрон. Если это происходит, атом Cl приобретает электрический заряд. Ион хлора имеет символ Cl. Поскольку атом натрия теряет одну частицу с отрицательным зарядом (электрон), он становится положительно заряженным. Символ иона натрия Na. Ионы натрия и хлора, имеющие противоположные по знаку заряды, притягиваются друг к другу. Поэтому когда атом хлора «отбирает» электрон у атома натрия, между ними возникает химическая связь.

Ионная связь

Анион

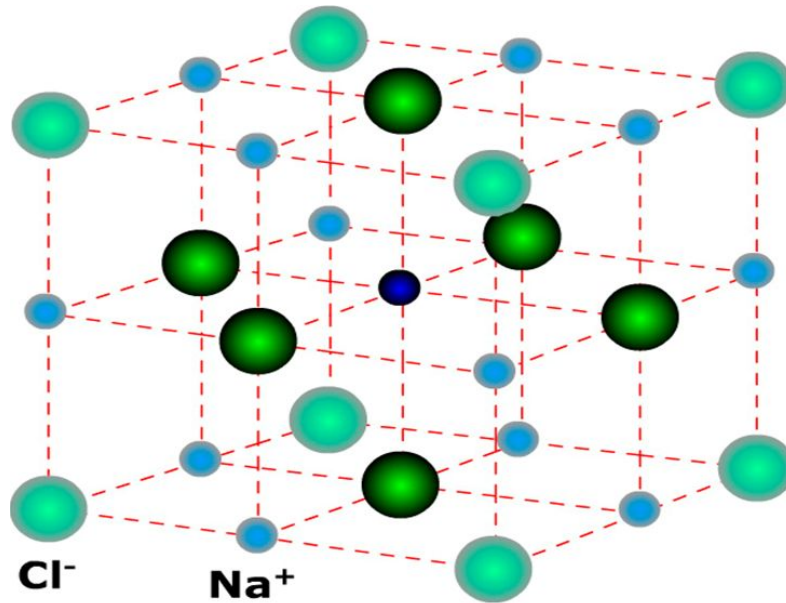


Катион



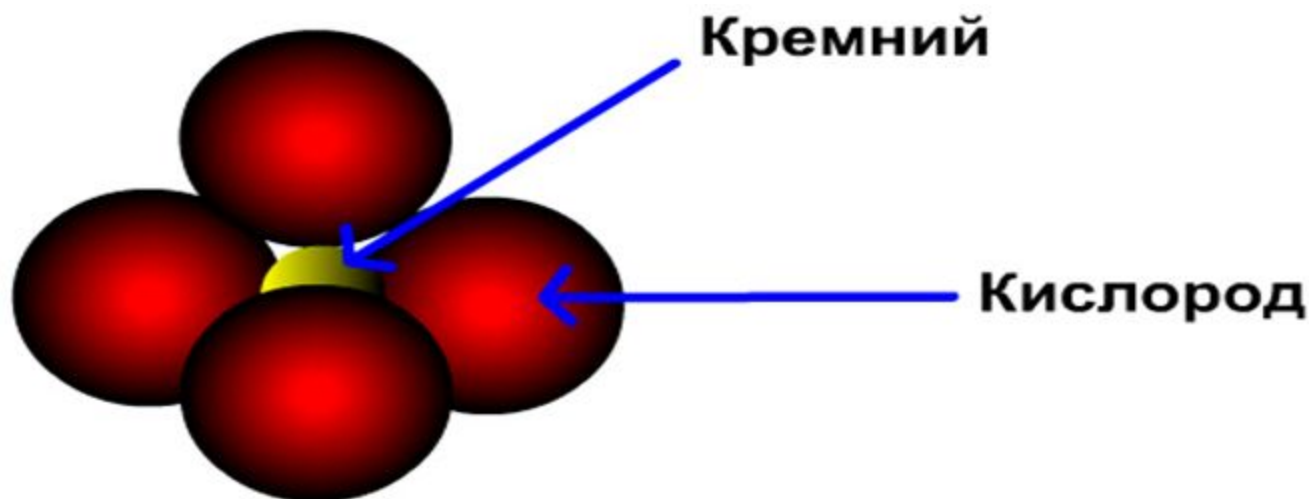
- Ионные связи достаточно прочные, но не такие прочные как ковалентные связи. Ионные и ковалентные связи наиболее важные типы химических связей между атомами в минералах. Положительно заряженные ионы называются **катионами**, а отрицательно заряженные – **анионами**.

Ионная связь



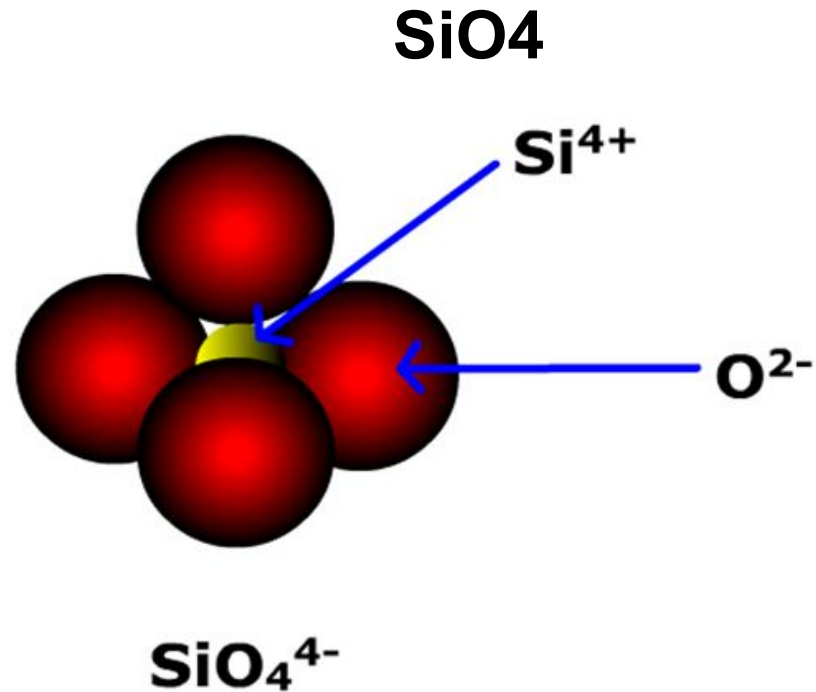
- На этом слайде изображена структура минерала галита (NaCl). Связанные между собой ионы Na⁺ и Cl⁻ образуют кубическую структуру. Обратите внимание, что каждый ион Na⁺ (голубой) окружен 6 ионами Cl⁻ (зеленый) и наоборот, каждый ион Cl⁻ окружен 6 ионами Na⁺. Структура минерала определяется чередованием положительно и отрицательно заряженных ионов. Силы притяжения между положительно и отрицательно заряженными частицами формируют связи между атомами. Такой тип химических связей называется **ИОННЫМ**.

Химические связи в кремнекислородном тетраэдре SiO_4



Если атом хлора полностью отбирает электрон у атома натрия, химическая связь между ними является на 100 % ионной. 100% ковалентная связь предполагает, что электроны становятся общими для двух атомов и проводят равное время на электронных оболочках каждого атома. Однако большинство химических связей в минералах является комбинацией ковалентных и ионных связей. Связь между атомами кремния (Si) и кислорода является характерным примером. Атом кислорода «пытается» отнять один электрон у атома кремния. Однако этот электрон по-прежнему проводит на электронной оболочке атома кремния. Поэтому связь между Si и O является на 50% ковалентной.

Химические связи в кремнекислородном тетраэдре



Хотя, в действительности, связи между атомами в минералах имеют смешанную природу, удобно считать химические связи на 100% ионными. Следующие слайды рассказывают, как связи между положительно и отрицательно заряженными частицами определяют внутреннюю структуру минералов.

Другие типы химических связей



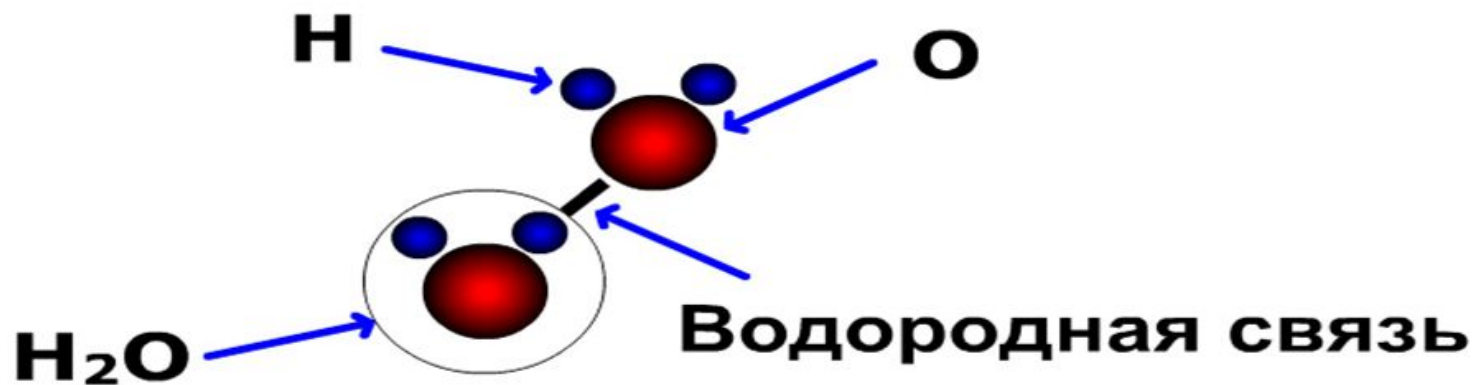
Металлическая связь характерна для атомов металлов, которые имеют тенденцию легко расставаться с электронами внешней оболочки. Свободные электроны становятся общими для всех ионов в структуре металла. Минералы с металлическими связями являются хорошими проводниками и имеют металлический блеск. Пирит, показанный на этом слайде, состоит из атомов железа (Fe) и серы (S). Для атомов в структуре пирита характерен металлический тип связи.

Другие типы химических связей



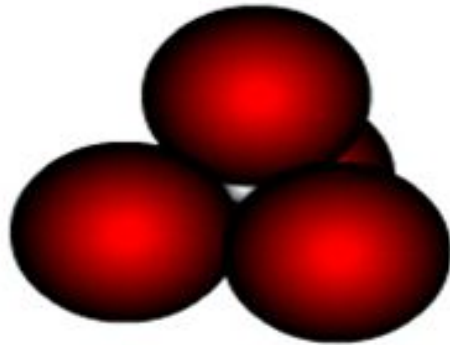
Ван дер Ваальсовы связи это слабые химические связи, которые возникают между электрически нейтральными частицами. Минералы, в которых атомы связаны Ван дер Ваальсовыми связями, обычно отличаются низкой твердостью. Графит состоит из атомов углерода, которые образуют плоскостные структуры с прочными ковалентными связями. Однако, индивидуальные плоские слои атомов углерода связаны между собой слабыми Ван дер Ваальсовыми связями. Благодаря этому, графит очень мягкий минерал.

Другие типы химических связей



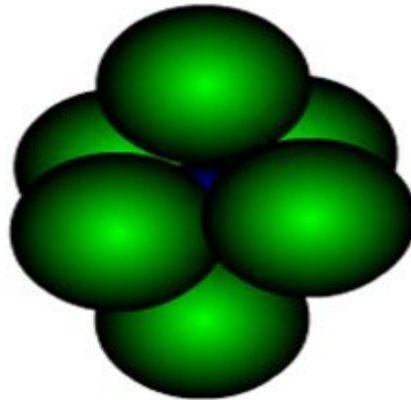
Водородные связи это слабые связи, возникающие в некоторых соединениях, где есть атомы водорода. Молекулы, внутри которых атомы связаны прочной ковалентной связью, могут образовывать с другими молекулами воды водородные связи. Водородные связи образуются потому, что внутренние связи в молекуле воды не являются на 100% ковалентными, общие электроны более тяготеют к ядру атома кислорода, чем к ядрам атома водорода. Поэтому вокруг ядер атомов водорода образуется слабый положительный заряд, а вокруг ядра кислорода – отрицательный. Положительно заряженная часть одной молекулы воды притягивается к отрицательно заряженной части другой молекулы – между ними возникает водородная связь.

Тетраэдр



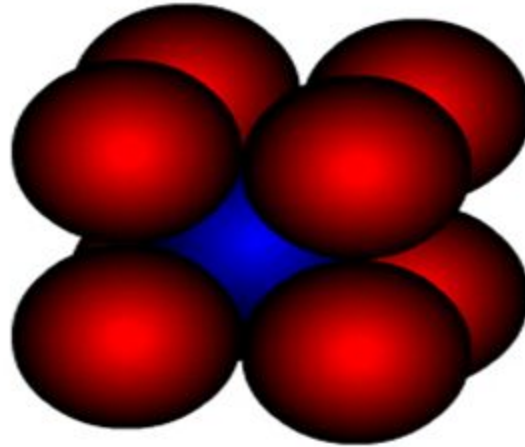
Радиус иона кислорода O^{2-} в 5 раз больше ионного радиуса кремния Si^{4+} . Когда размеры ионов отличаются так сильно, они образуют структуру, которая называется тетраэдром. Маленький ион Si^{4+} окружен 4 ионами O^{2-} .

Октаэдр



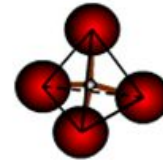
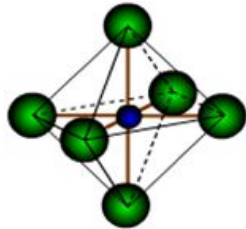
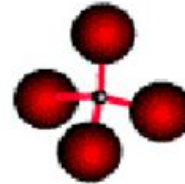
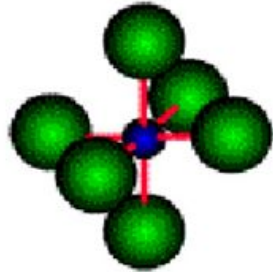
Ионный радиус Na^+ равен 0.99 и сильно отличается от ионного радиуса Cl^- равного 1.81 Ангстрёма. В минерале галите (NaCl) атомы хлора и натрия образуют структуру, показанную на этом слайде. Обратите внимание, что маленький ион натрия окружен 6 ионами хлора. Такая структура называется **октаэдром**.

Куб



Во время роста кристаллов ионы, слагающие минерал, стремятся заполнить пространство наиболее экономичным образом, то есть расположиться ближе друг к другу. Если катионы и анионы имеют примерно одинаковый радиус, они образуют структуру, показанную на этом слайде. Обратите внимание, что синий ион в центре окружен 8 красными ионами.

Октаэдр и тетраэдр



Эта анимация показывает, как октаэдрическая и тетраэдрическая структуры иллюстрируются с помощью геометрических фигур. Соответствующие геометрические фигуры, показанные синим, называются октаэдр (слева) и тетраэдр (справа).

2.2. Внутренняя структура и форма кристаллов



Галит

Форма кристаллов минерала зависит от его внутренней структурой.

При формировании кристалла галита ионы Na⁺ и Cl⁻ образуют кубическую структуру. Каждый ион Na⁺ окружен 6 ионами Cl⁻, поэтому позиция, которую занимает натрий называется октаэдрической. Размеры кубических кристаллов галита на этой фотографии 1-2 мм. Каждый кристалл построен из миллионов ионов Na⁺ и Cl⁻, образующих кубическую структуру, показанную на этом слайде.

Внутренняя структура и форма кристаллов

© Amethyst Galleries



Пирит

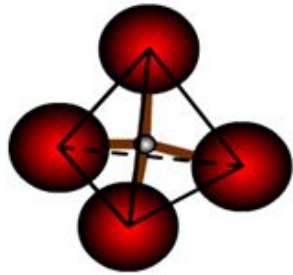
© Amethyst Galleries



Галенит

Минералы пирит (FeS_2) и галенит (PbS) также имеют кубическую структуру.

Внутренняя структура и форма кристаллов



В основе структуры минерала кварца лежат кремнекислородные тетраэдры SiO_4 . В структуре кварца каждый тетраэдр образует связи с 4 другими тетраэдрами, в результате чего формируется трехмерная структура. Обычно кристаллы кварца имеют форму гексагональных призм, что обусловлено его внутренней структурой.

Внутренняя структура минералов

© Amethyst Galleries



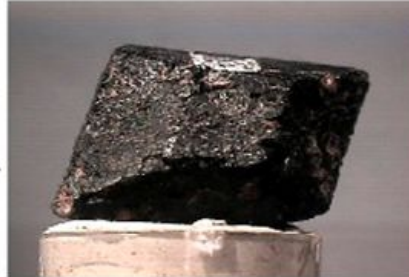
Сколецит (цеолит)
 $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

© Amethyst Galleries



Гроссуляр (гранат)
 $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

© Amethyst Galleries



Авгит (пироксен)
 $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_6$

© Amethyst Galleries

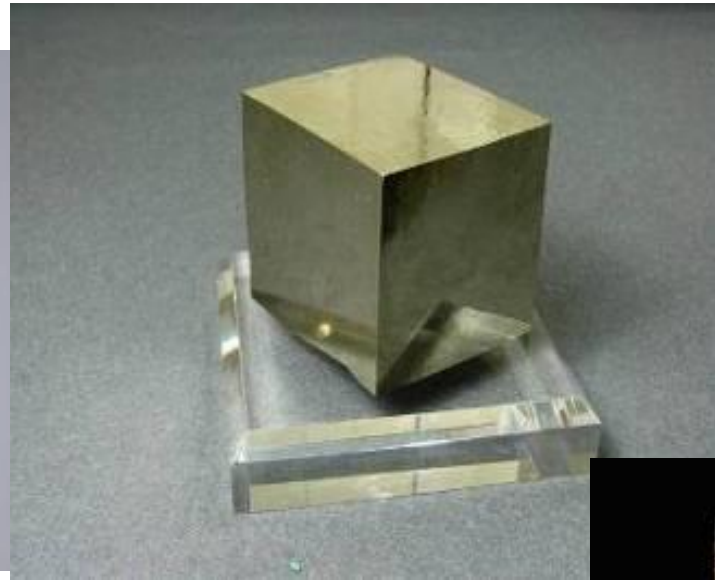


Оливин
 Mg_2SiO_4

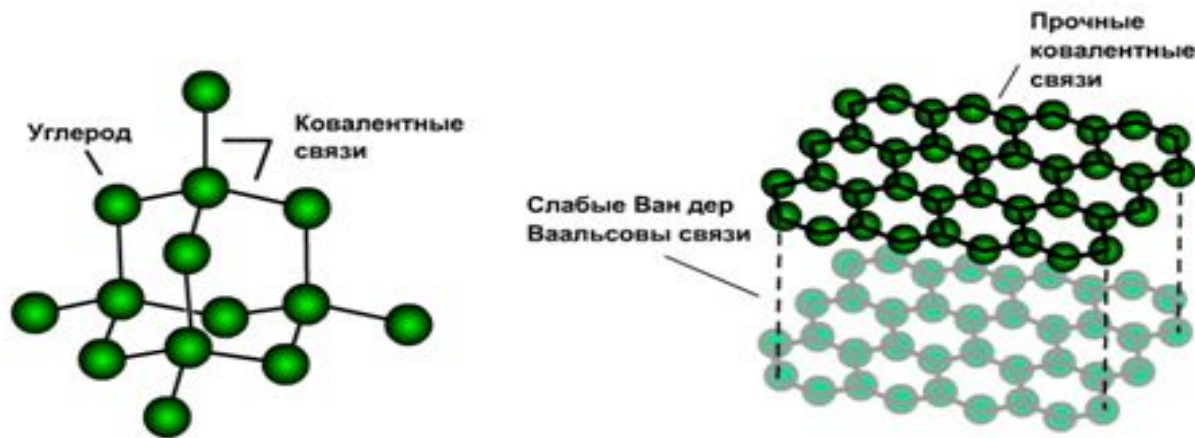
На этих фотографиях кристаллы некоторых других минералов. Форма кристаллов минерала зависит от его внутренней (кристаллической) структуры.

Морфология индивидов :

алмаз, пирит гранат (куб.), турмалин (триг.)



2.3. Полиморфизм минералов: алмаз и графит



Минералы, имеющие одинаковый химический состав, но разную структуру называются **полиморфными разновидностями**, а сама способность одних и тех же химических соединений образовывать кристаллы с различной внутренней структурой – **полиморфизмом**. Графит и алмаз являются полиморфными разновидностями С.

В структуре алмаза атомы С связаны прочными ковалентными связями и образуют трехмерный каркас. Поэтому алмаз является самым **твердым** минералом в природе.

В структуре графита атомы С образуют плоскостные структуры с прочными ковалентными связями, которые связаны между слабыми Ван дер Ваальсовыми связями - графит очень **мягкий минерал**.

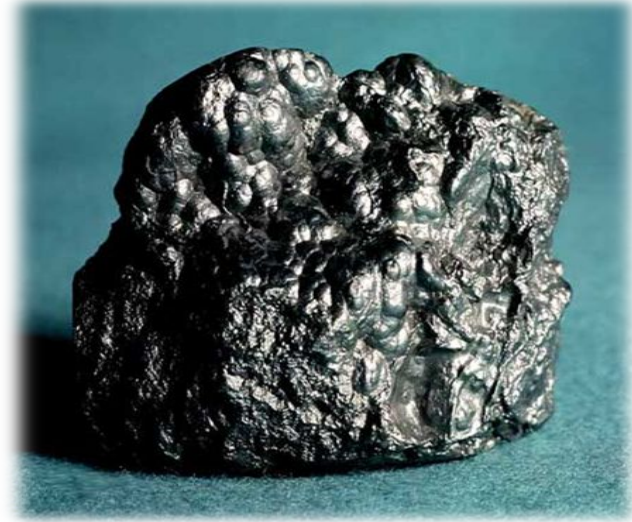
Полиморфизм

- это явление кристаллизации химических соединений одного состава с образованием различных кристаллических структур и морфологий.

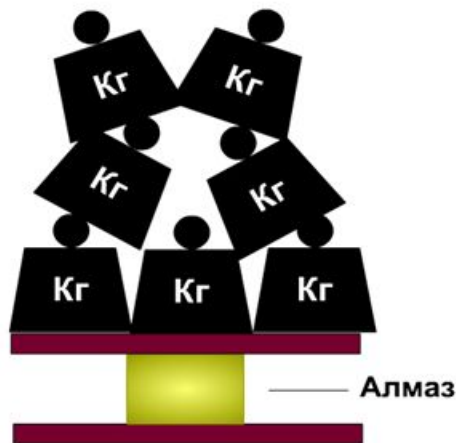
Примеры полиморфных разновидностей (модификаций):

С в виде графита и алмаза;

CaCO₃ – кальцита и арагонита.



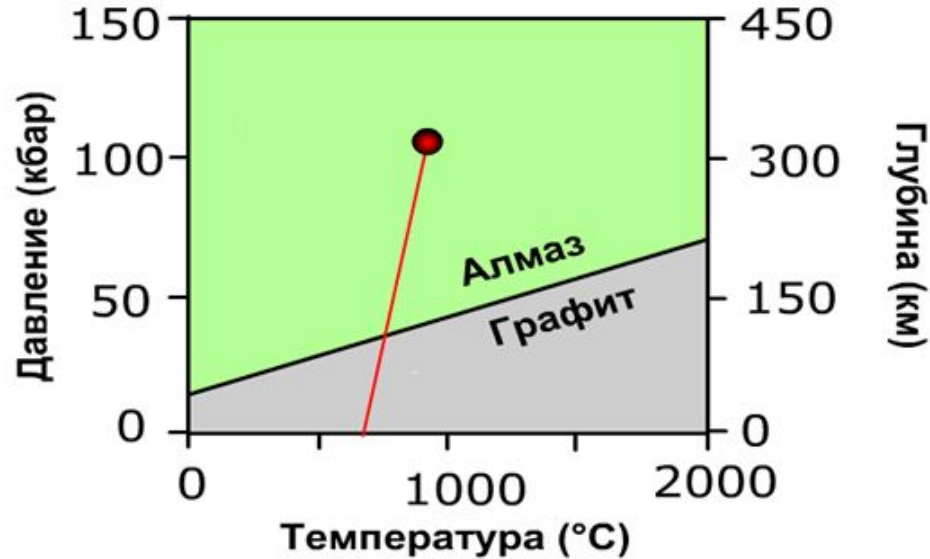
Полиморфизм минералов



Графит, плотность которого $2,1 \text{ г/см}^3$, стабилен до глубин порядка 50-60 км. Если кристалл графита поместить на большую глубину, давление повышается настолько, что структура графита становится неустойчивой, и атомы углерода образуют новую структуру с более плотной упаковкой – структуру алмаза. Плотность алмаза $3,5 \text{ г/см}^3$.

Полиморфизм минералов

При высоких давлениях стабилен алмаз.



Красная точка показывает рост давления и температуры в горных породах по мере их погружения на большие глубины. Если в породе первоначально присутствовал графит, когда красная точка пересекает линию, разделяющую поля стабильности графита и алмаза, структура графита становится неустойчивой и образуется алмаз.

2.4. Изоморфизм

- это способность химических элементов одинаковой валентности и близких ионных радиусов замещать друг друга в кристаллической решетке минерала в ограниченном (несовершенный) или от 0 до 100% (совершенный) количестве

.

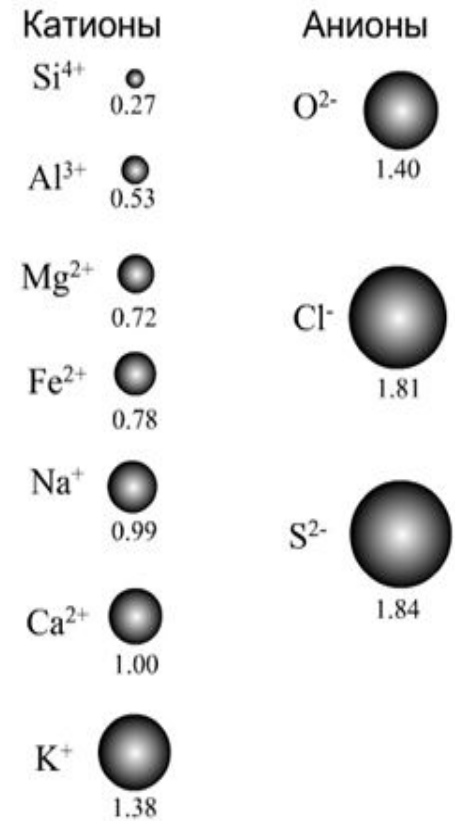
Это способность отражается на оптических свойствах минералов: цвет, преломление света и др.

Изоморфизм

На этом рисунке показаны размеры ионов, которые слагают наиболее распространенные породообразующие минералы.

Цифрами обозначен радиус ионов в Ангстрёмах (1 Ангстрём = 0.0000001см). Ионы **Fe²⁺** и **Mg²⁺** имеют **одинаковый заряд и близкие ионные радиусы**. Благодаря этому сходству, Fe²⁺ и Mg²⁺ сходным образом участвуют в геохимических процессах. Если какой-либо минерал содержит Fe²⁺, в его структуре с большой вероятностью будет участвовать также некоторое количество ионов Mg²⁺. Оба иона занимают одинаковые позиции в структуре минералов. Замещение одних атомов или их соединений в структуре минералов другими называется **изоморфизмом**.

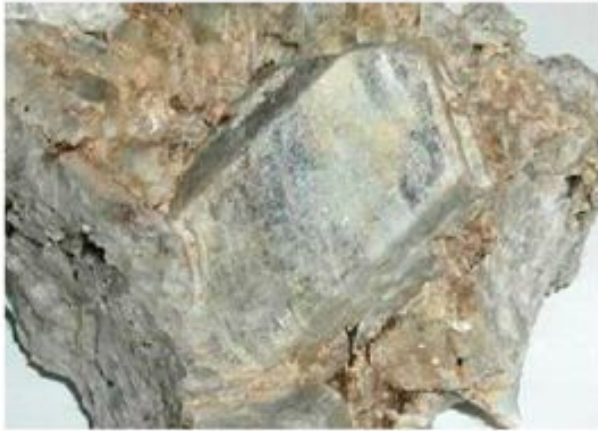
Na и **K** имеют одинаковый заряд и относительно близкие ионные радиусы, также могут замещать друг друга в структуре некоторых минералов.



Примеры изоморфизма

| | | |
|---|---|---|
| Mg_2SiO_4 | $(Mg, Fe) 2SiO_4$ | Fe_2SiO_4 |
| <i>Форстерит</i> | Оливин - члены изоморфного ряда промежуточного состава, изовалентный, совершенный | <i>Фаялит</i> |
| полевой шпат - альбит- $Na[AlSi_3O_8]$ | Гетеровалентный, многоатомный несовершенный, | полевой шпат - анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$ |

Изоморфизм



Альбит ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)



Микроклин (KAlSi_3O_8)

Na^+ и K^+ имеют одинаковый заряд (+1) и относительно крупные размеры. Na^+ и K^+ могут замещать друг друга в структуре некоторых минералов. Формула полевого шпата **микроклина** KAlSi_3O_8 . Если кристаллизация микроклина происходила в присутствии богатого натрием флюида, часть ионов K^+ в структуре этого минерала может замещаться ионами Na^+ . Чисто натровая разновидность щелочного полевого шпата называется **альбитом** ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).

Изоморфизм

© Amethyst Galleries



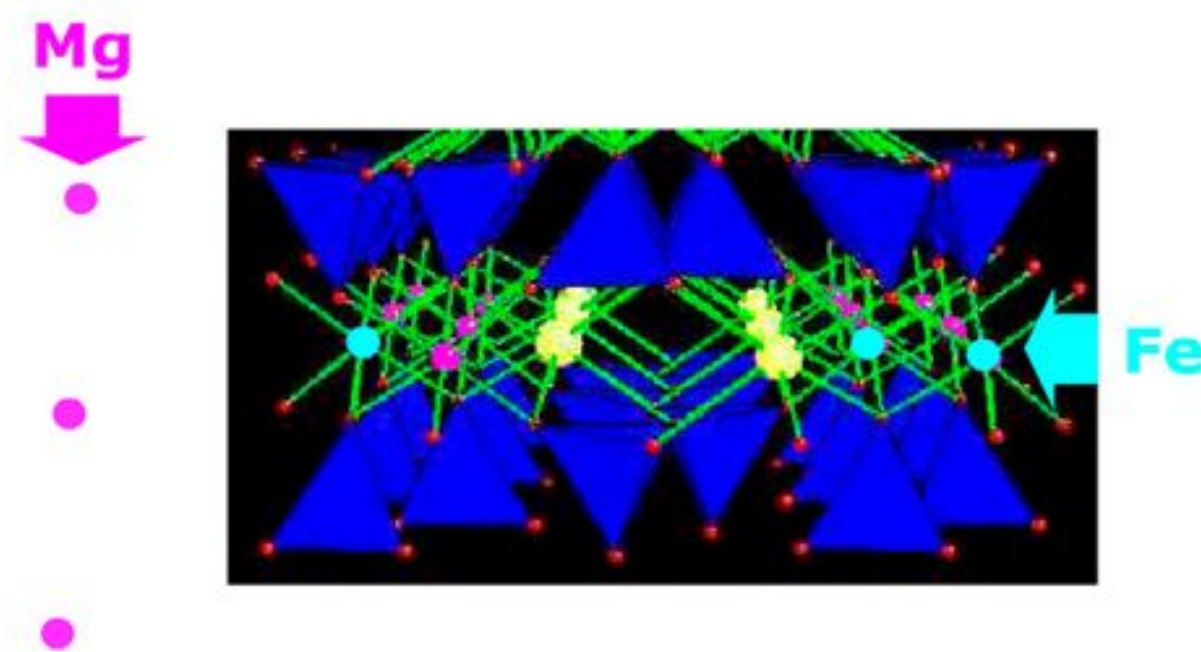
Тремолит ($\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$)



Актинолит ($\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$)

Ионы Mg^{2+} и Fe^{2+} имеют одинаковый заряд и близкие размеры, поэтому они могут замещать друг друга в структуре некоторых минералов. Тремолит, в котором почти нет железа, образуется в бедных железом породах. Если кристалл тремолита взаимодействует с богатым железом флюидом, содержание железа в тремолите может увеличиваться. В ходе этого процесса происходит изоморфизмное замещение атомов магния атомами железа, и тремолит превращается в актинолит.

Изоморфизм



На этом рисунке показана модель структуры минерала диопсида $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$, который относится к группе пироксенов. Кремнекислородные тетраэдры SiO_4 показаны на этом рисунке синим цветом, ионы Ca^{2+} - желтым, а ионы Fe^{2+} - темно-красным. Три иона Mg^{2+} замещаются ионами Fe^{2+} (голубые) и в результате содержание Fe в минерале увеличивается.

3. Классификация минералов

В природе зарегистрировано около 4000
(около 5000) минеральных видов.

Часто минералы одного и
того же состава - Al_2SiO_5

– андалузит

– силлиманит

– кианит

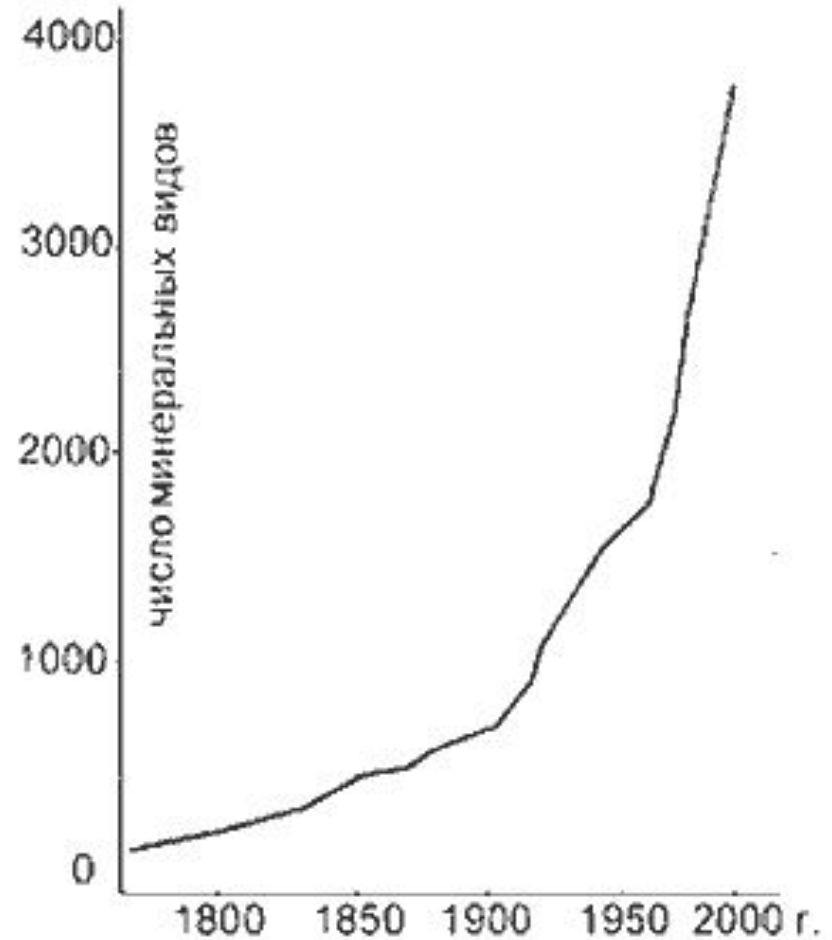
отличаются друг от друга кристаллическ
структурой и физическими свойствами

полиморфизм.



Классификации минералов

- **инструмент** систематизации минералов , результатом применения которого является – распределение множества минералов на группы по какому-либо **признаку** – **свойству**.



Первые классификации минералов(18 век):

- по цвету
- по форме кристаллов
- по твердости (шкала Мооса, которую до сих пор используют для определения относительной твердости минералов)

– Актинолит-биссолит,
поле ок. 4 см. Дашкесан,
Азербайджан.



Классификации минералов (19 век):

По химическому составу – по преобладающему элементу (минералы вольфрама, минералы бериллия, др.)

По кристаллографическому признаку – например, имеющие кубическую форму кристаллов (в результате пирит (FeS_2) и галит (NaCl) попадали в одну группу кубических минералов)

По генетическому признаку – по происхождению, объединяются в одну группу минералы вулканов, минералы гидротермальных жил и минералы осадочного происхождения и т.п. Одни и те же минералы часто оказываются в разных классах.

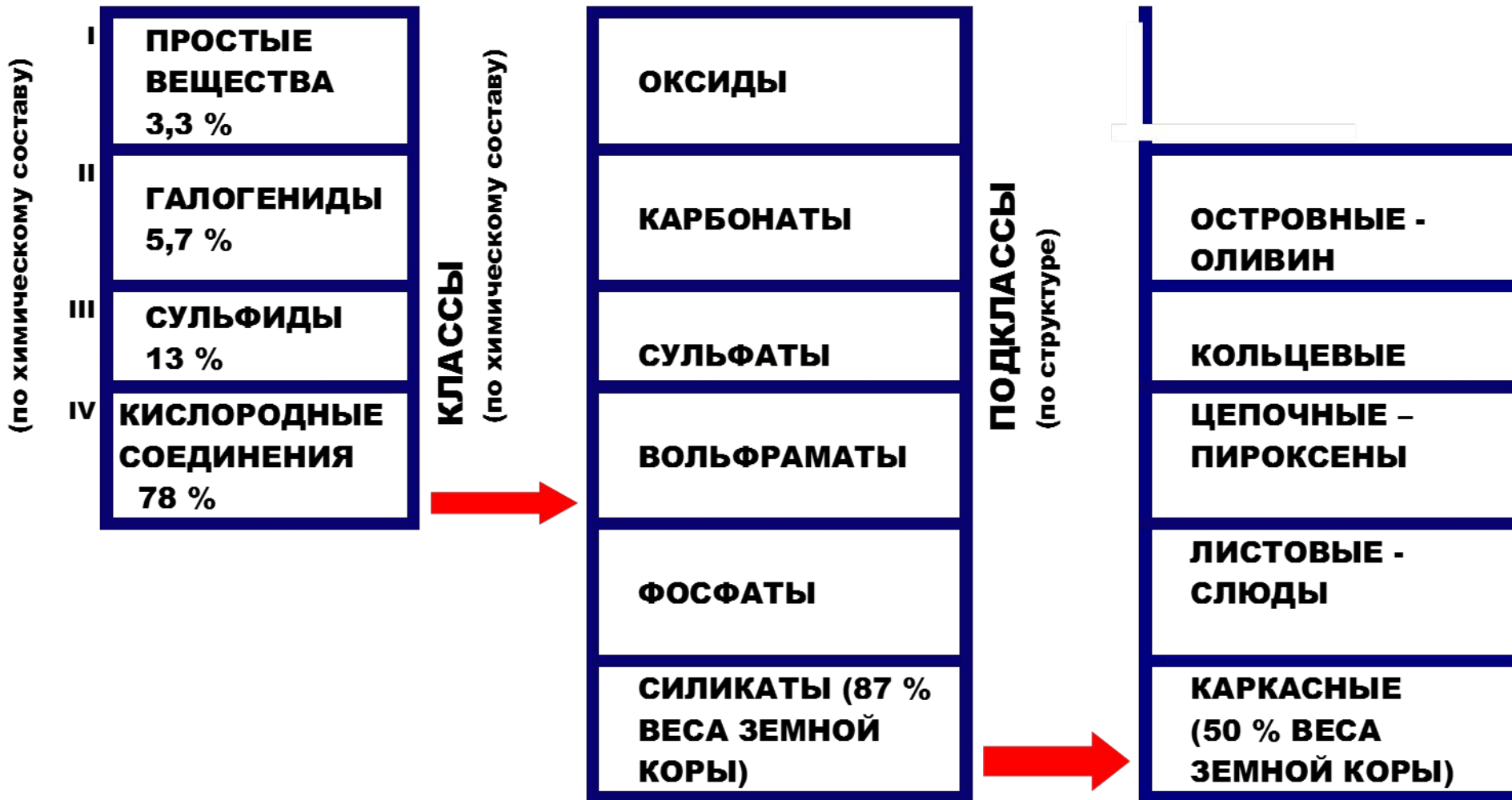
Выделяются **типоморфные** минералы, имеющие определенный генезис, например: нефелин, лабрадор – только магматического генезиса, серпентин, тальк – метаморфическое происхождение

Современная кристаллохимическая классификация минералов

опирается на 2 принципа:

- сходство химического состава – ведущий признак (№1), по которому выделяют классы минералов;
- сходство кристаллической структуры – признак №2
 - подклассы минералов

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛОВ

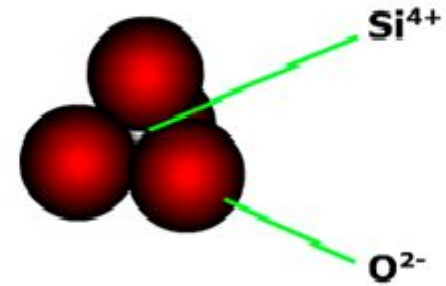


| Типы | Классы | Примеры минералов | Кол-во видов, % | Содержание, % |
|-------------|--------------------------|--|-----------------|---------------|
| Простые | Самородные элементы | Медь, золото, серебро | 3,3 | 0,10 |
| | | Сера, графит, алмаз | | |
| Сернистые | Сульфиды и их аналоги | Галенит, сфалерит, халькопирит | 13 | 1,15 |
| | | Пирит, арсенопирит, молибденит | | |
| Кислородные | Оксиды и гидроксиды | Кварц, касситерит, корунд, | 12,5 | 17 |
| | | Магнетит, ильменит, гематит, гетит | | |
| | | Периклаз, брусит, рутил, бемит | | |
| | Силикаты и Алюмосиликаты | Оливин, гранат, дистен, эпидот, берилл | 25 | 75 |
| | | Пироксены, амфиболы | | |
| | | Слюды, хлориты, тальк, серпентин | | |
| | | Полевые шпаты, нефелин, кварц | | |
| | Карбонаты | Кальцит, доломит, магнезит, малахит | 4,5 | 1,7 |
| | Сульфаты | Ангидрит, барит, гипс | 9,0 | 0,5 |
| | Фосфаты | Апатит | 17 | 0,7 |
| Галоиды | Хлориты Фториды | Галит, сильвин, карналлит | 5,7 | 1,5 |
| | | Флюорит | | |

Учитывая ХС земной коры, мы видим, что

- среди минералов преобладают - класса **силикаты**, которые составляют примерно 75% массы и 25 % (- около 1000 минералов) от общего количества видов;
- в основе силикатов лежат кремнекислородные тетраэдры – группировки SiO_4 , которые соединяются друг с другом, а также с катионами натрия , калия, кальция, магния и другими по-разному, в результате чего выделяют подклассы силикатов;
- На 2-ом месте по распространенности находятся оксиды и гидроксиды, к которым относят и кварц - SiO_2 (кварц можно отнести и к простым силикатам, без катионов, а из одних кремнекислородных тетраэдров).
- Поэтому **силикаты и оксиды – породообразующие минералы**, которые чаще всего мы видим в горных породах.

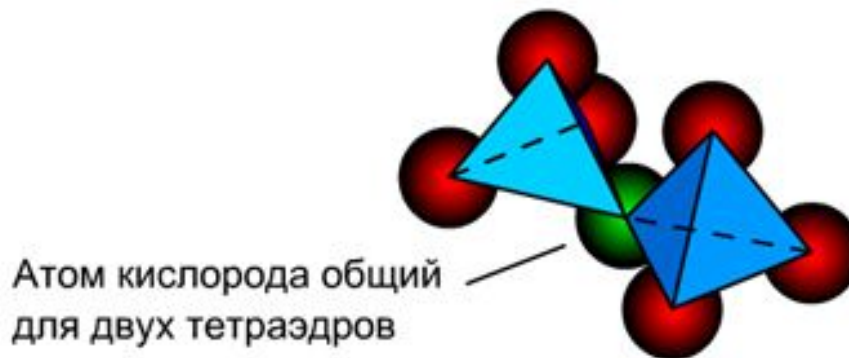
Структура силикатов



Для элемента – кислород и кремний – составляют более 70% массы земной коры, поэтому они - Si и O являются важными составляющими наиболее распространенных породообразующих минералов. Кремний в природных соединениях обычно связан с 4 атомами кислорода, которые образуют кремнекислородный тетраэдр SiO₄, показанный на этом слайде. Кислород может также занимать другие структурные позиции, однако его участие в кремнекислородных тетраэдрах SiO₄ является очень важным.

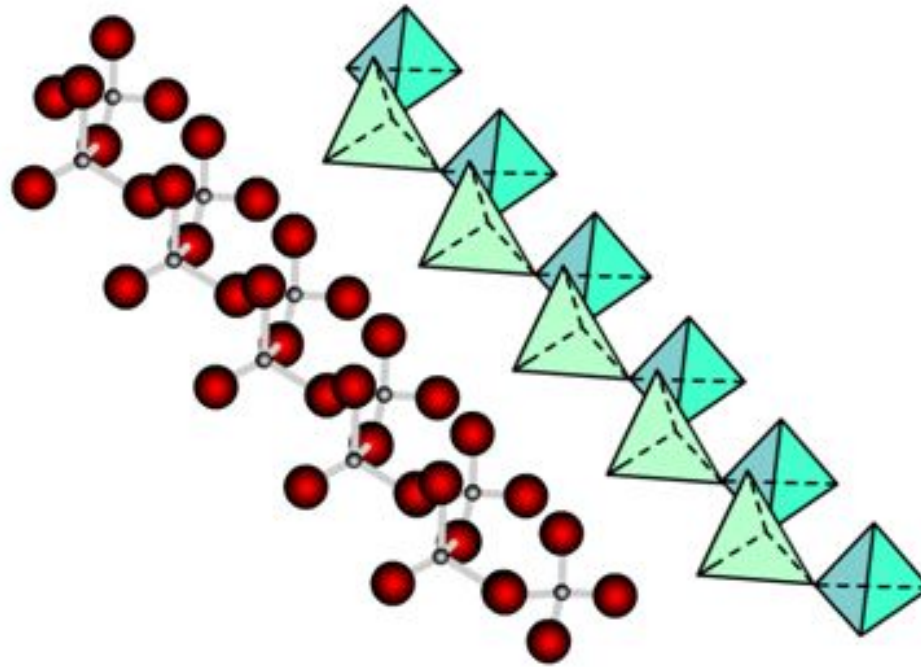
Кремнекислородные тетраэдры SiO₄ являются основой структуры минералов из группы силикатов (куда входят многие породообразующие минералы). Тетраэдры SiO₄ могут занимать в структуре силикатов изолированное положение, или могут быть связаны с другими тетраэдрами с образованием колец, цепочек, бесконечных плоских сеток и трехмерных каркасов, состоящих из тетраэдров.

Образование связей между кремнекислородными тетраэдрами SiO_4



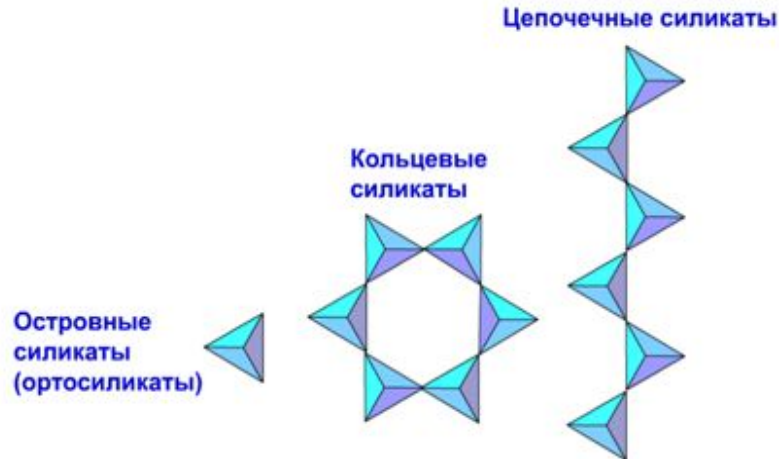
На этом слайде показано объединение двух SiO_4 тетраэдров за счет общего атома кислорода. Электрически нейтральному атому кислорода нужно два электрона, чтобы заполнить внешнюю электронную оболочку. Поэтому кислород охотно образует ковалентные связи с двумя соседними атомами кремния.

Цепочки кремнекислородных тетраэдров SiO_4



Этот рисунок показывает объединение кремнекислородных тетраэдров в бесконечные цепочки двумя разными способами: точечная и полиэдрическая модели. Каждый тетраэдр связан с двумя другими посредством общи атомов кислорода.

Островные, кольцевые и листовые силикаты



Силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры изолированы друг от друга, называются **островными силикатами** или **ортосиликатами**.

Силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры образуют кольца, называются **кольцевыми**.

Силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры образуют цепочки, называются **цепочечными**. От структуры зависит морфология минералов

Гроссуляр и циркон



Гроссуляр



Циркон

К островным или ортосиликатам относятся несколько минералов и минеральных групп. В структуре островных силикатов кремнекислородные тетраэдры SiO_4 изолированы друг от друга. На этих фотографиях показаны минералы гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ и ZrSiO_4 .

Оливин и кианит



Оливин

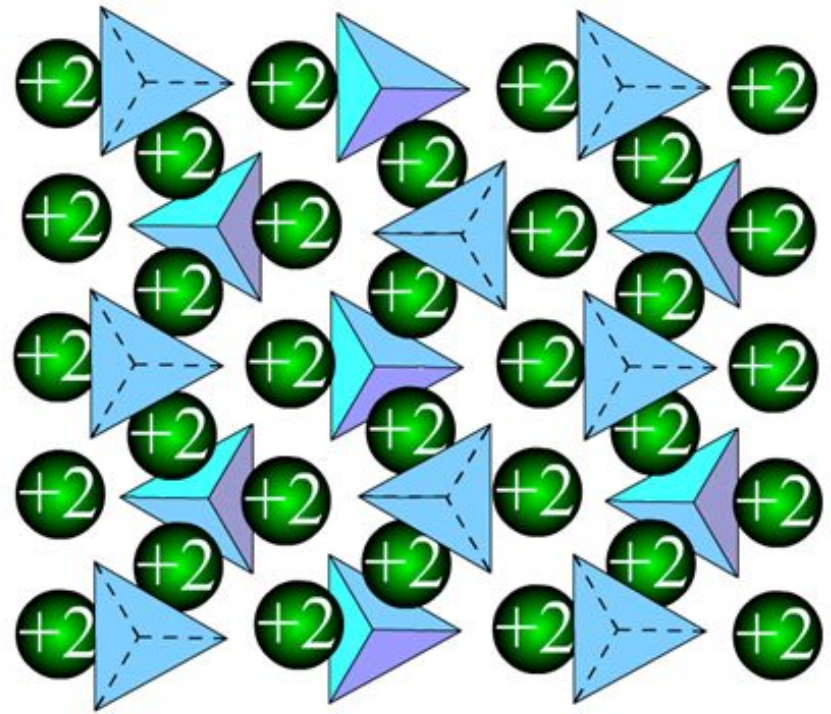


Кианит

Оливин и кианит также относятся к ортосиликатам.

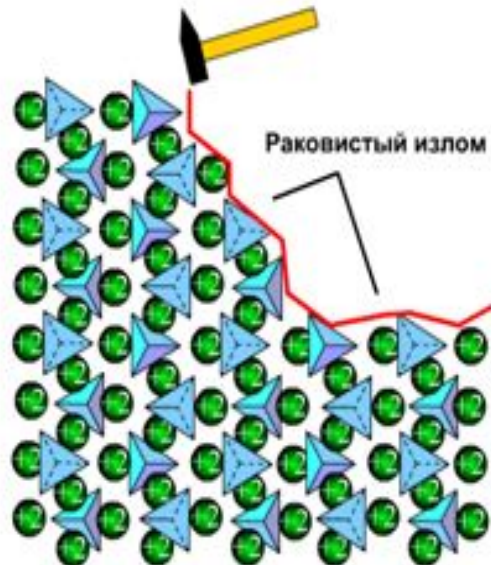
Формула оливина $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$, а формула кианита Al_2SiO_3 .

Структура оливина



В структуре островных силикатов кремнекислородные тетраэдры SiO_4 изолированы друг от друга. Формула оливина – островного силиката - $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$. Чтобы нейтрализовать отрицательные заряды кремнекислородных тетраэдров SiO_4 (каждый из которых имеет заряд 4-), в структуре оливина на каждый кремнекислородный тетраэдр приходится два иона Mg^{2+} или Fe^{2+} .

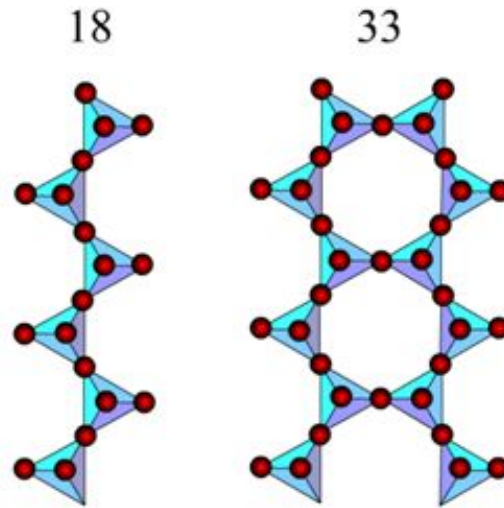
Излом оливина



Раковистый излом обсидиана
(вулканическое стекло)

В структуре оливина между ионами Mg^{2+} и Fe^{2+} и кремнекислородными тетраэдрами возникают ионные связи. Эти связи характеризуются одинаковой прочностью во всех направлениях, то есть в структуре оливина отсутствуют такие плоскости, в пределах которых связи были бы менее прочными. Если кристалл оливина расколоть геологическим молотком, то поверхность раскола будет иметь случайную (незакономерную) форму. Излом оливина напоминает излом стекла или керамики - называется раковистым. На фотографии справа изображен раковистым излом вулканического стекла.

Отрицательный заряд цепочек кремнекислородных тетраэдров SiO_4



Цепочка на этом слайде содержит 18 ионов O^{2-} и шесть ионов Si^{4+} . Таким образом, отношение $\text{Si} : \text{O} = 1:3$. На каждый атом кремния приходится 3 атома кислорода, и ее структура может быть записана как $(\text{SiO}_3)^{-2}$.

Лента содержит 33 иона O и 12 ионов Si . Таким образом, отношение $\text{Si}^{4+} : \text{O}^{2-} = 4:11$.

В структуре ленты на 4 атома кремния приходится 11 атомов кислорода, и ее общий заряд -6. Таким образом, и цепочки и ленты кремнекислородных тетраэдров имеют некомпенсированный отрицательный заряд.

Структура силикатов

Каждая цепочка имеет отрицательный заряд:

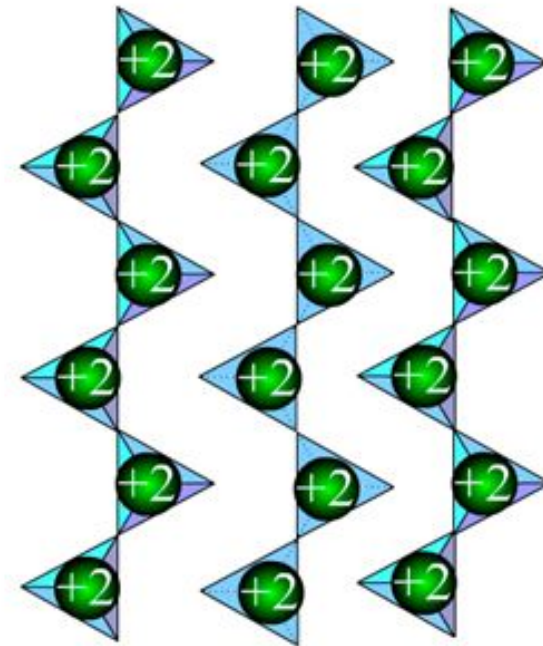


Этот отрицательный заряд нейтрализуется за счет

присоединения катионов. В результате образуются прочные ионные связи между отрицательно заряженными цепочками тетраэдров SiO_4^{4-} и положительно заряженными катионами.

В структуре минералов не может быть некомпенсированных электрических зарядов. Поэтому наряду с цепочками и лентами тетраэдров SiO_4 в структуру минералов входят также **катионы**. Катионы нейтрализуют отрицательный заряд кремнекислородных тетраэдров и объединяют ленты и цепочки в общую структуру за счет образования прочных ионных связей.

Цепочечный
силикат



Пироксены



© Amethyst Galleries

Авгит

Минералы из группы пироксенов являются наиболее распространенными цепочечными силикатами. Август – минерал из группы пироксенов. Пироксены обычно образуют короткопризматические кристаллы (см. слайд).

Формула августа: $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})(\text{Al,Si})_2\text{O}_6$

Пироксены



Диопсид

Другой минерал из группы пироксенов – диопсид. Формула диопсида $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$. В структуре диопсида нет атомов железа. Поэтому диопсид имеет светлую окраску. Цвет многих минералов зависит от присутствия железа.

Богатые железом минералы имеют темную окраску, а бедные – светлую.

Пироксены

© Amethyst Galleries

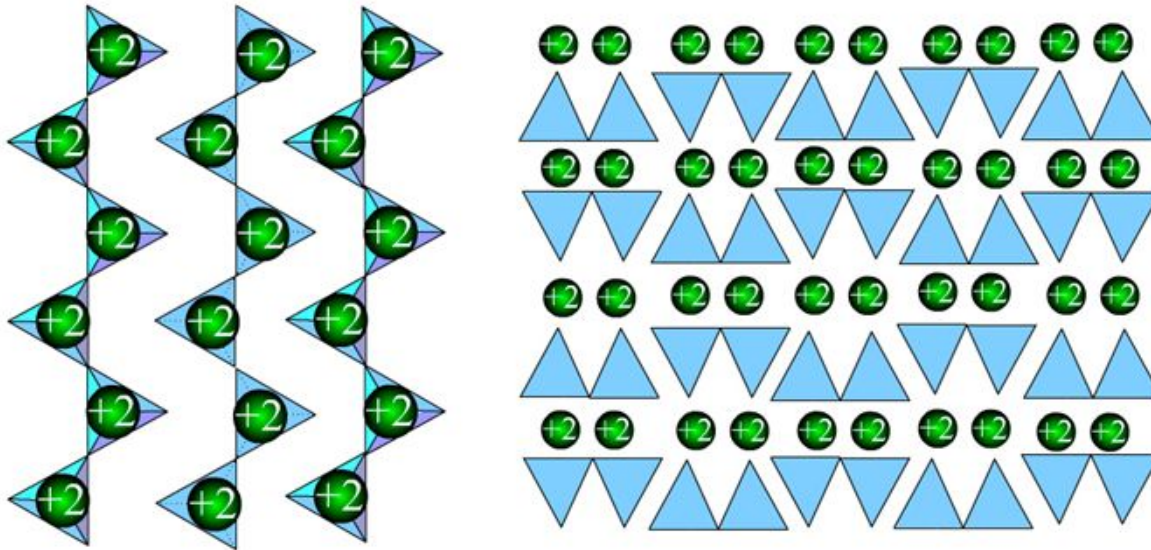


Геденбергит

Геденбергит, который также относится к пироксенам, темно-зеленого цвета из-за присутствия железа.

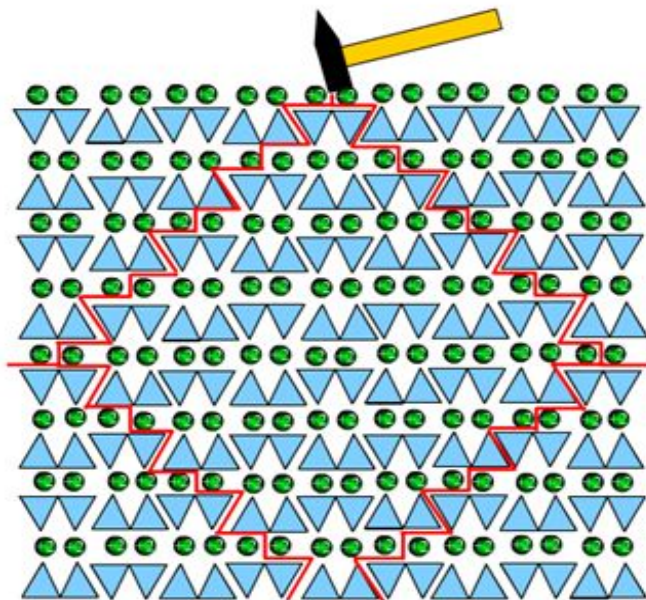
Формула геденбергита: $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$

Структура пироксенов



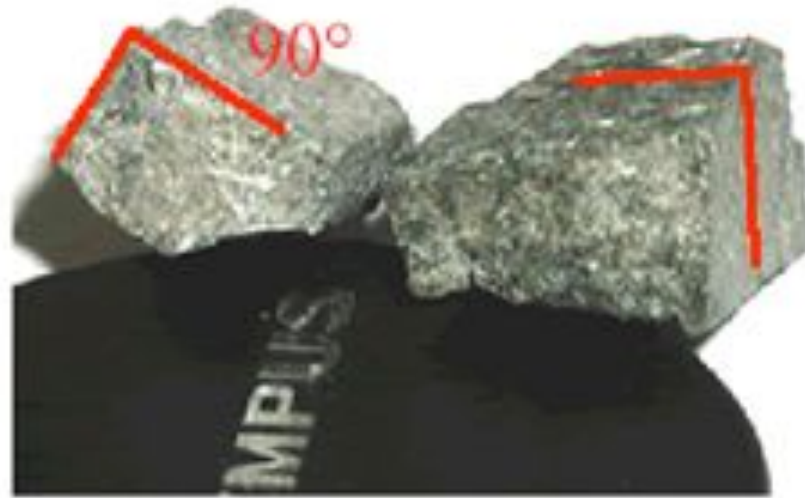
Слева на этом слайде изображена структура пироксена в разрезе, плоскость которого проходит параллельно удлинению цепочек кремнекислородных тетраэдров. Направо изображен разрез перпендикулярно удлинению цепочек. Отрицательно заряженные цепочки связаны друг с другом за счет положительно заряженных катионов.

Спайность в пироксенах



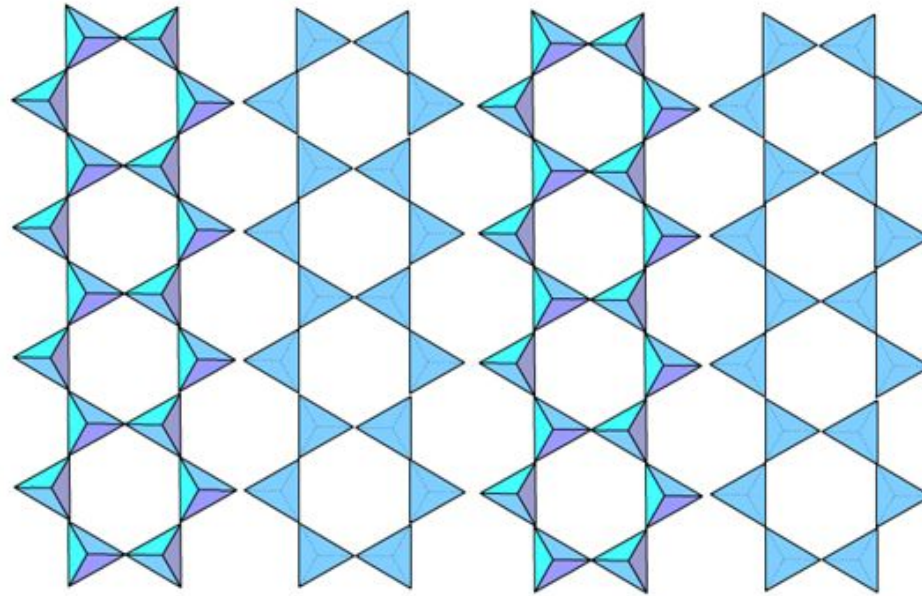
На этом слайде изображена структура пироксена в сечении перпендикулярном к удлинению цепочек SiO_4 . Если кристалл пироксена деформируется (например, при ударе молотком) наиболее слабые химические связи нарушаются первыми. Наиболее слабые химические связи в структуре пироксена это ионные связи между отрицательно заряженными цепочками кремнекислородных тетраэдров и положительно заряженными катионами металлов. При ударе кристалл пироксена раскалывается вдоль двух плоскостей параллельных удлинению цепочек SiO_4 . Угол между плоскостями спайности близок к 90° .

Спайность в пироксенах



Способность кристаллов минералов раскалываться по определенным направлениям называется **спайностью**. Спайность это важное свойство, которое используется при определении минералов. На этой фотографии показана спайность в кристалле пироксена в двух направлениях под угол между плоскостями спайности $\sim 90^\circ$.

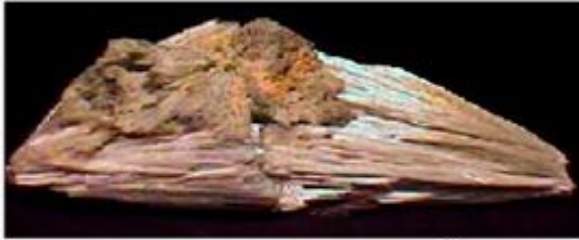
Амфиболы



Минералы из группы амфиболов являются ленточными силикатами. В этой структуре соотношение Si^{4+} и O^{2-} 4:11. На этом слайде показано сечение структуры амфибола параллельно удлинению лент кремнекислородных тетраэдров.

Амфиболы

© Amethyst Galleries



Тремолит



Актинолит

Тремолит и актинолит относятся к группе амфиболов. Формула тремолита: $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Актинолит имеет сходную формулу, однако в его структуре есть железо и несколько меньше магния. Поэтому актинолит имеет более темную окраску, чем тремолит. Формула актинолита: $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$.

Амфиболы



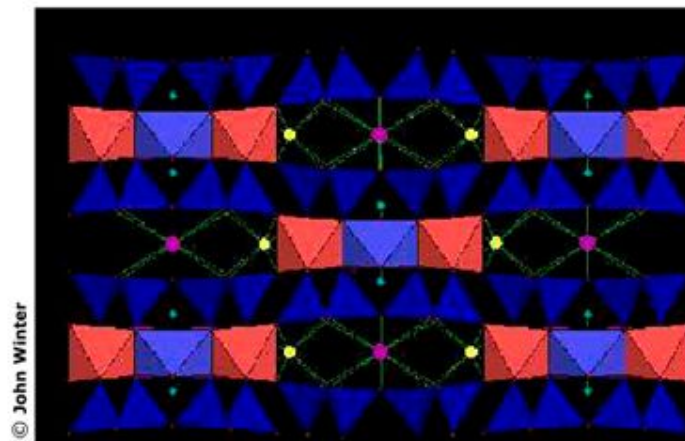
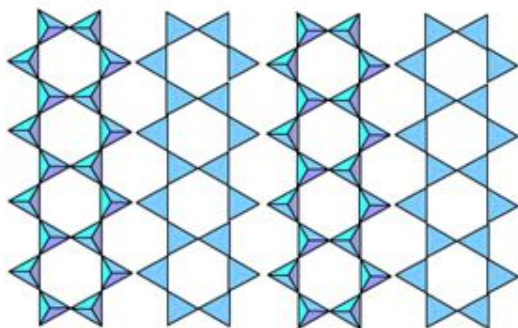
Роговая обманка



Роговая обманка и плагиоклаз

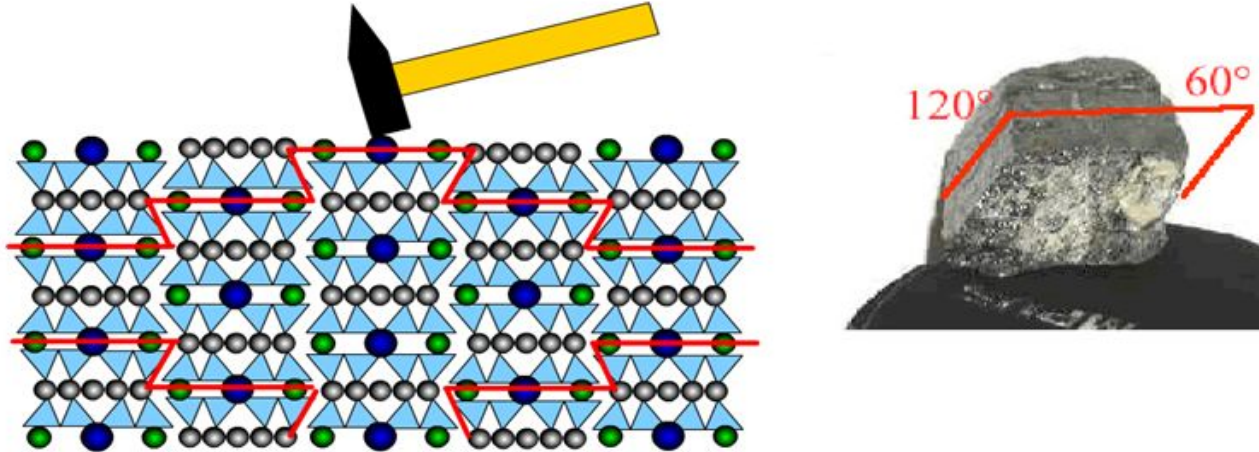
Слева кристалл из группы амфиболов - роговая обманка - $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe, Al})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. Справа горная порода, сложенная светлыми зернами плагиоклаза - к группе полевых шпатов, и черными зернами роговой обманки. Роговая обманка - наиболее распространенный темноцветный минерал в земной коре. В структуру амфиболов могут входить разные химические элементы, включая K, Na, Ca, Fe, Mg, Si и O. Кроме того, амфиболы содержат ионы OH. При нагревании кристаллы амфибола теряют воду, которая содержится в их структуре.

Структура амфиболов



На левом рисунке разрез структуры амфибола параллельно удлинению лент кремнекислородных тетраэдров, а на правом – перпендикулярно удлинению. Каждая лента в разрезе состоит из 4 связанных тетраэдров SiO_4 (темно-синие). Катионы могут занимать различные позиции в структуре амфиболов. Fe и Mg обычно находятся в центре синих и оранжевых октаэдров. Желтым цветом показана позиция катионов Ca, а темно-красным – позиция Na и K. Бирюзовые сферы показывают структурную позицию ионов OH.

Спайность в амфиболах



Левый рисунок показывает разрез структуры амфибола перпендикулярно удлинению лент кремнекислородных тетраэдров. При расколе амфибола наиболее слабые химические связи нарушаются первыми. Для амфиболов характерна спайность в двух направлениях под углом между плоскостями спайности 60 и 120 (правый рисунок).

Асбест

© Amethyst Galleries



Тремолит



Актинолит

Волокнистый амфибол один из минералов известных под названием асбест. До недавнего времени асбест широко применялся в промышленности. Сейчас применение асбеста

прекращено, так как оказалось, что асбестовая пыль представляет серьезную угрозу для здоровья.

Ленточные и листовые силикаты



В структуре ленточных силикатов тетраэдры SiO_4 образуют двойные цепочки - ленты. Кремнекислородные тетраэдры могут также



образовывать бесконечные плоские сетки - такие силикаты называются листовыми или слоистыми.

Слюды



Биотит



Мусковит

В структуре минералов из группы слоистых силикатов участвуют бесконечные плоские сетки тетраэдров SiO_4 . Биотит и мусковит входят в группу слюд, а слюды являются одной из групп слоистых силикатов. Формула биотита

$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, а формула мусковита $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$. Обратите внимание, что содержащий железо биотит окрашен в темный цвет, а мусковит, который не содержит железа - серебристого цвета.

Другие листовые силикаты



Тальк



Серпентин

Тальк и серпентин относятся к магниевым листовым силикатам. Формула талька $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, а формула серпентина : $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$.

Другие листовые силикаты



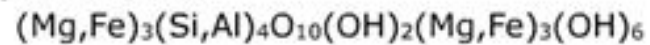
Хлорит



Минералы глин

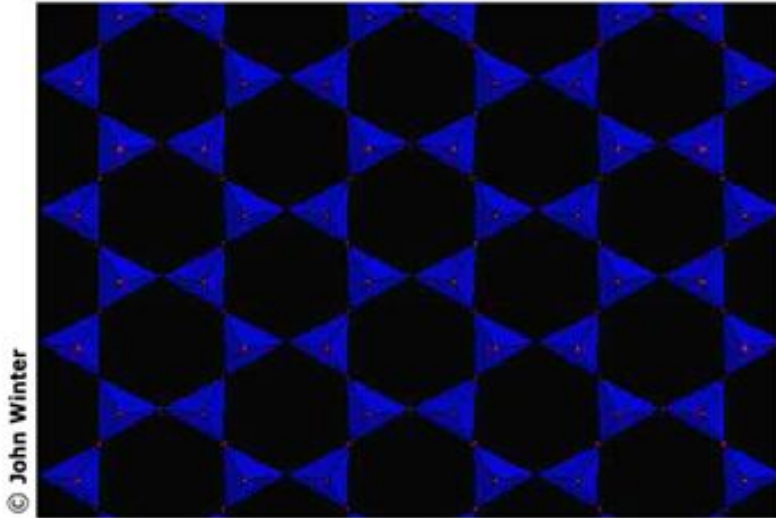
Хлорит является листовым силикатом, который содержит значительные количества Fe и Mg.

Формула хлорита

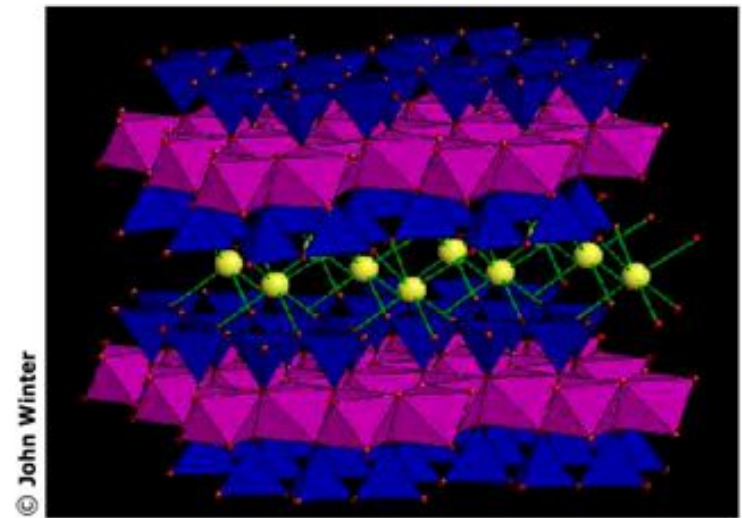


Минералы глин также относятся к слоистым силикатам.

Структура листовых силикатов

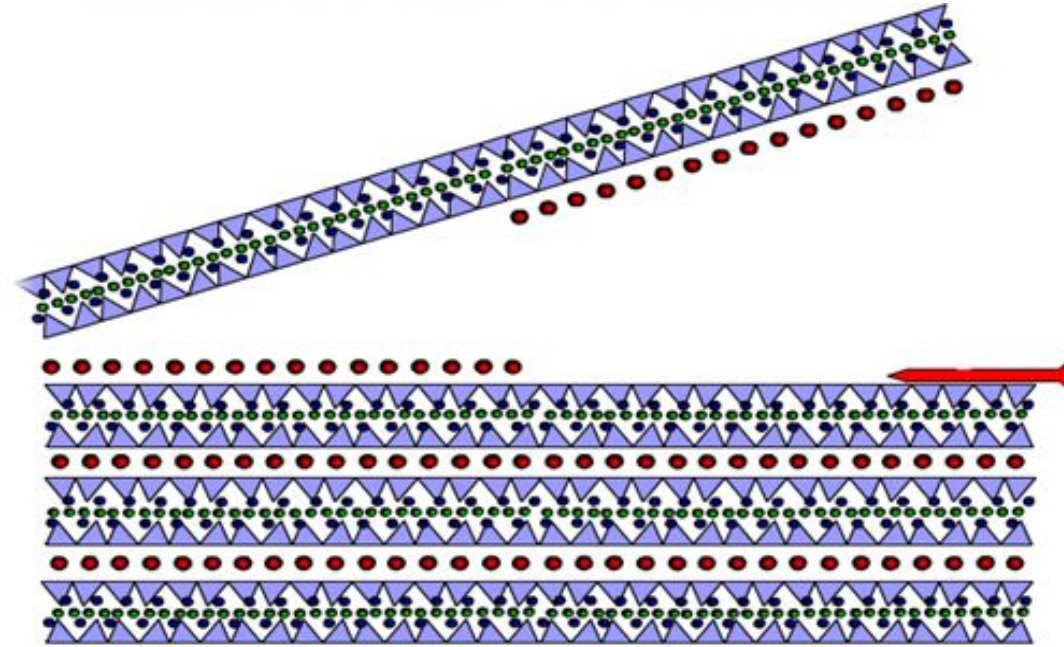


На рисунке слева изображена структура листовых силикатов. Каждый тетраэдр SiO_4 связан с тремя другими тетраэдрами, которые все вместе образуют бесконечную плоскую сетку. На рисунке справа изображена структура мусковита. Ионы Si^{4+} расположены в центрах тетраэдров, показанных синим цветом, а ионы Al^{3+} в центрах октаэдров, показанных лиловым цветом. Ионы O^{2-} и OH^- расположены в вершинах тетраэдров и



октаэдров. Желтым показаны ионы K^+ . Обратите внимание, что слои октаэдров расположены между двумя слоями тетраэдров. Связи между атомами в тетраэдрических и октаэдрических слоях это сильные ковалентные связи. Пакеты состоящие из 1 слоя октаэдров и 2 слоев тетраэдров связаны друг с другом посредством положительно заряженных ионов K^+ . Эти ионные связи являются самыми слабыми в структуре.

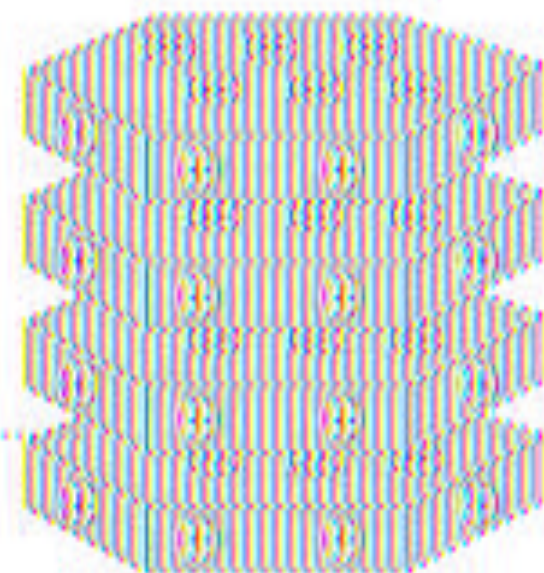
Спайность листовых шпатов



На левом рисунке показана структура мусковита в разрезе. Разрез проходит перпендикулярно удлинению плоских сеток кремнекислородных тетраэдров. Химические связи между отдельными пакетами плоских сеток кремнекислородных

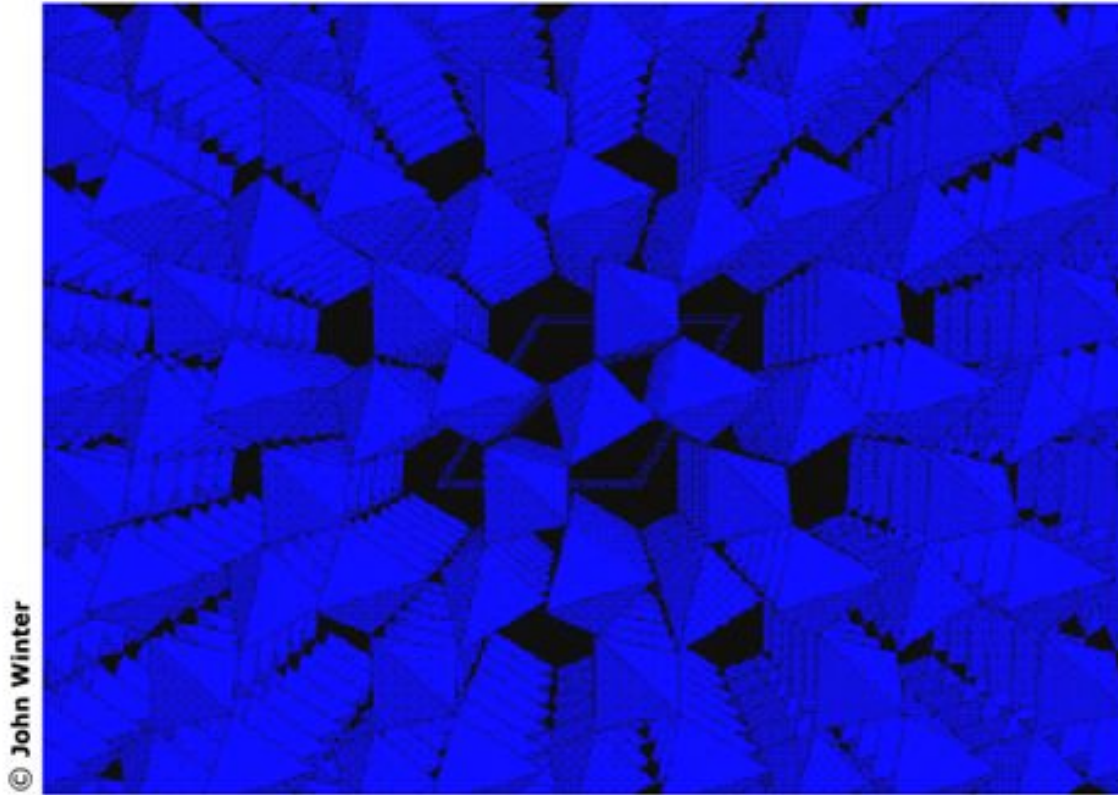
тетраэдров довольно слабые, при деформации кристалла мусковита они легко разрушаются. Поэтому кристалл мусковита можно легко расщепить на тонкие пластинки с помощью ножа (правый рисунок).

СТРУКТУРА МС



Именно слоистый создается после прилегания соседних магнетитовых. А именно постоицаюется врезьте для воссия вещества.

Каркасные силикаты



В структуре каркасных силикатов каждый тетраэдр SiO_4 связан с четырьмя другими кремнекислородными тетраэдрами. В результате кремнекислородные тетраэдры образуют

бесконечный трехмерный каркас. На этом слайде показана структура кварца, в которой каждый тетраэдр связан с четырьмя другими посредством общих атомов кислорода.

Щелочной полевой шпат



Альбит



© Amethyst Galleries

Микроклин

Формула альбита $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, а формула микроклина KAlSi_3O_8 . Полевые шпаты, которые образуют серию промежуточных составов (изоморфный ряд) между альбитом и

микроклином, называются щелочными полевыми шпатами. Состав щелочных полевых шпатов можно выразить формулой: $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$.

Плагиоклазы



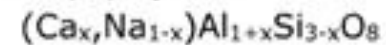
Альбит



Анортит

Формула альбита $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, а формула анортита $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Полевые шпаты, которые образуют серию промежуточных составов (изоморфный ряд) между чистым альбитом и чистым анортитом,

называются плагиоклазы. Состав плагиоклазов можно выразить формулой:



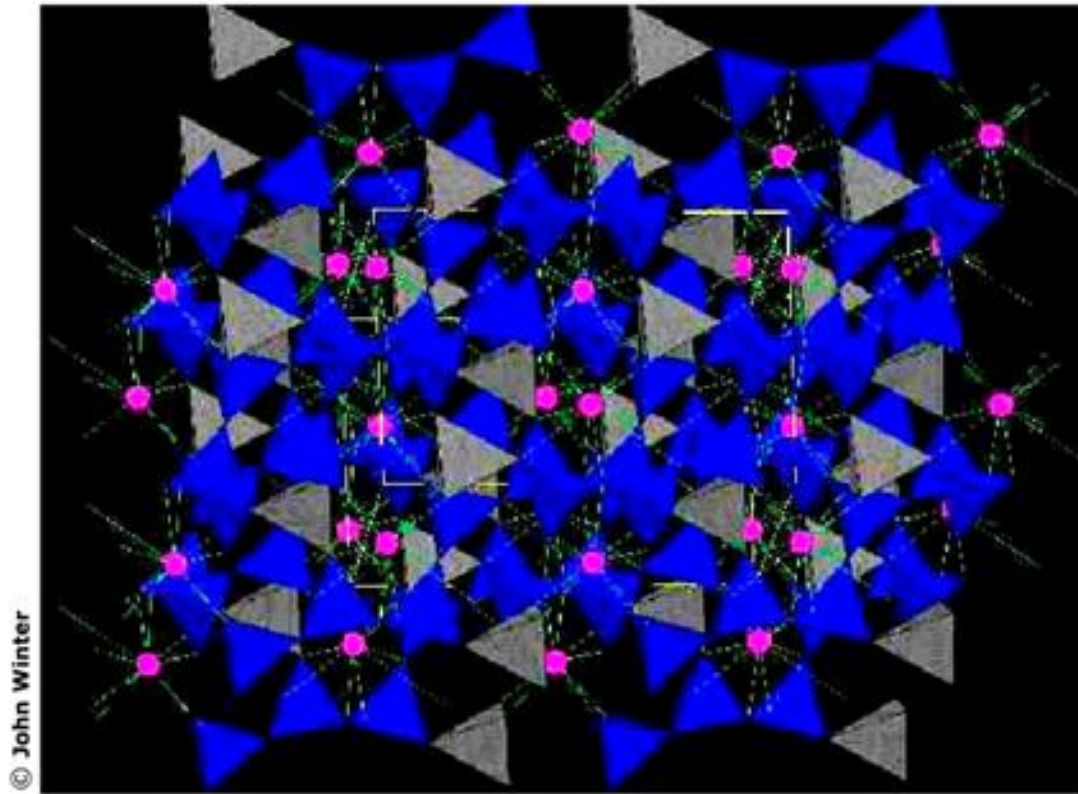
Амазонит



Амазонит

Амазонит это разновидность микроклина, окрашенная в зеленый цвет. Зеленоватая окраска амазонита обусловлена микропримесью свинца (Pb).

Структура полевой шпатов



На этом рисунке показана структура альбита. Минералы из группы полевых шпатов относятся к каркасным силикатам, в их структуре кремнекислородные тетраэдры SiO_4 (показаны синим) образуют бесконечный трехмерный каркас. В структуре кварца участвуют только тетраэдры

SiO_4 . В альбите каждый четвертый ион Si^{4+} замещен ионом Al^{3+} с образованием тетраэдров AlO_4 (показаны серым). Кроме того, в структуру альбита входят ионы Na (розовые). Формула альбита $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$.

Спайность в полевых шпатах



Анортит

В полевых условиях часто бывает трудно отличить кварц от полевого шпата. Определить является ли минерал кварцем или полевым шпатом можно по наличию или отсутствию у него

спайности. У полевых шпатов есть ясная спайность по двум направлениям, тогда как для кварца характерен раковистый излом.

Классификация плагилклазов

| Содержание Na , % | Содержание Ca , % | Название минерала | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|
| 90–100 | 0–10 | Альбит | кислые PI |
| 70–90 | 10–30 | Олигоклаз | |
| 50–70 | 30–50 | Андезит | средние PI |
| 30–50 | 50–70 | Лабрадор | оснóвные PI |
| 10–30 | 90–70 | Битовнит | |
| 0–10 | 100–90 | Анортит | |

Все породообразующие силикаты делятся:

- Лейкократовые

(светлые):

- кварц

- нефелин

- гр. полевые шпаты:

- К-На-ортоклаз

и микроклин

- Са-На-плагиоклазы

- Меланократовые

(темные, Fe-содержащие):

- гр. пироксенов (цепочечные):

авгит, диопсид,

- гр. амфиболов (ленточные):

роговая обманка, актинолит,

- гр. слюд (слоистые): биотит

мусковит

Оксиды



© Amethyst Galleries

Корунд



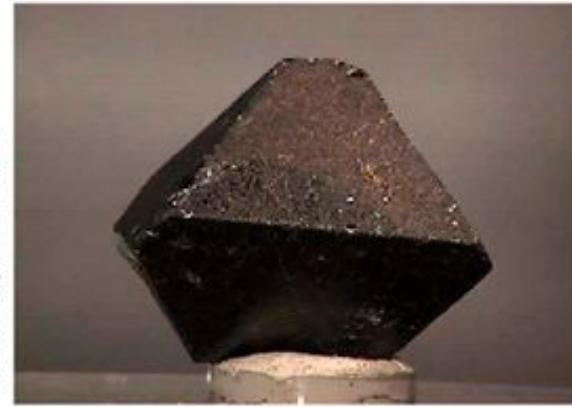
© Amethyst Galleries

Шпинель



© Amethyst Galleries

Рутил



© Amethyst Galleries

Магнетит

Минералы из группы окислов состоят из одного или нескольких ионов металлов, которые связаны с кислородом. На этих фотографиях показаны корунд (Al_2O_3), шпинель (MgAl_2O_4), рутил (TiO_2) и магнетит (Fe_3O_4). Чистые прозрачные кристаллы

корунда и шпинели являются драгоценными камнями. Рутил и магнетит используются, так как они содержат полезные компоненты - титан и железо, соответственно.

Кварц

© Amethyst Galleries



Горный хрусталь

Кварц часто формирует прекрасно ограненные псевдогексагональные кристаллы. Чистый кварц (SiO_2) это бесцветный и прозрачный минерал. Кристаллы такого кварца (левое фото) часто

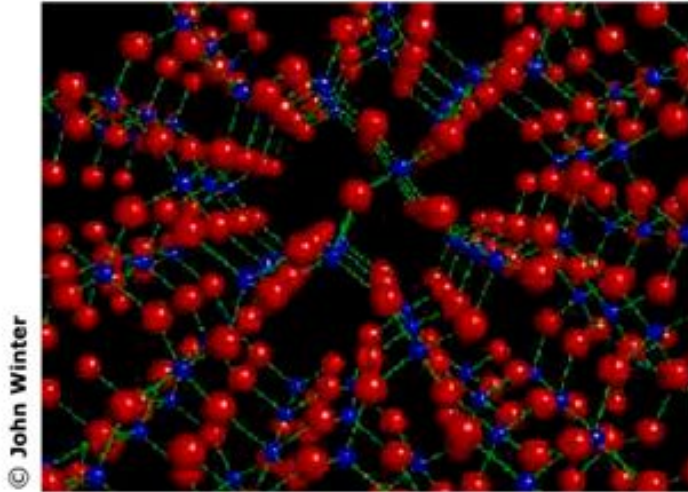
© Amethyst Galleries



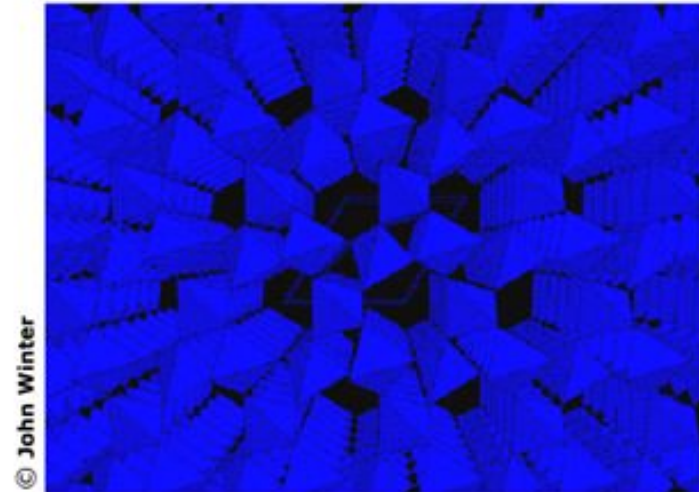
Цитрин

называются горный хрусталь. Малые количества примесей могут придавать кварцу различную окраску. Желтый цвет цитрина (правое фото) обусловлен незначительной примесью железа.

Кварц



На этих рисунках показаны разные варианты изображения структуры кварца. На левом рисунке ионы Si⁴⁺ показаны маленькими голубыми сферами, а ионы O²⁻ показаны более крупными красными сферами. Обратите внимание, что каждый ион Si⁴⁺ связан с четырьмя ионами O²⁻, а каждый ион O²⁻ связан с двумя ионами Si⁴⁺. На правом рисунке структура кварца показана посредством кремнекислородных тетраэдров SiO₄



(показаны синим цветом). Ионы O²⁻ расположены в вершинах тетраэдров, а ионы Si⁴⁺ в центрах тетраэдров. На рисунке сверху показано, что структура кварца определяется трехмерным каркасом кремнекислородных тетраэдров SiO₄. Отношение Si:O в этой структуре 1:2, поэтому формула кварца SiO₂. Кварц относится к группе окислов, но по своей структуре он близок к минералам из группы силикатов.

Кварц

© Amethyst Galleries



Аметист

© Amethyst Galleries



Розовый кварц

Фиолетовая окраска аметиста обусловлена незначительной примесью железа. Розовый кварц содержит примесь титана.

Кварц



Дымчатый кварц

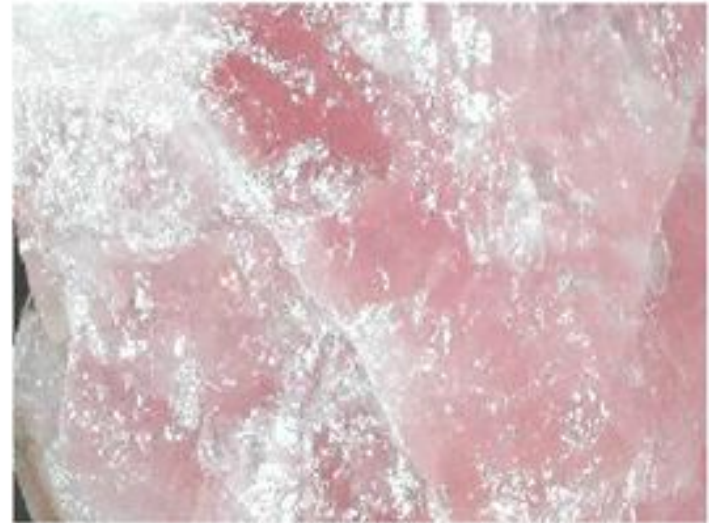
Темная окраска дымчатого кварца (левое фото) обусловлена либо примесью алюминия, либо небольшими дефектами структуры. Серый или молочно белый кварц (правое фото), который является наиболее распространенной



Серый кварц

разновидностью кварца, является полупрозрачным и окрашен в белый или серый цвет благодаря большому количеству флюидных включений (небольших полостей заполненных жидкостью или газами).

Излом кварца



Раковистый излом розового кварца

В структуре кварца кремнекислородные тетраэдры SiO_4 связаны друг с другом прочными ковалентными связями и образуют бесконечный трехмерный каркас. Химические связи в структуре кварца являются одинаково прочными во всех направлениях. Поэтому у кварца нет спайности.

При ударе кварц раскалывается по случайным направлениям без какой-либо закономерности. Поверхность излома кварца напоминает излом стекла. Такой тип излома называется раковистым изломом.

Карбонаты



Карбонат-ион (CO₃)²⁻

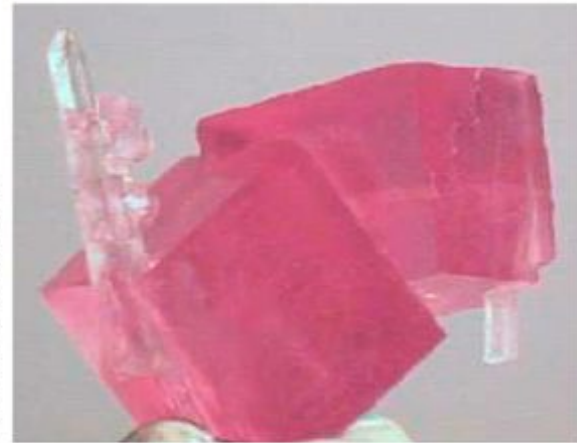
Земная кора в основном сложена минералами из группы силикатов, структура которых построена на основе кремнекислородных тетраэдров SiO₄⁴⁻. Однако структуры других минералов построены

на основе других соединений атомов. Карбонат-ион [(CO₃)²⁻] является основой структуры минералов из группы карбонатов.

Карбонаты



Кальцит



© Amethyst Galleries

Родохрозит (с небольшими кристаллами кварца)

Кальцит (CaCO_3) является наиболее распространенным минералом из группы карбонатов в земной коре. Родохрозит (MnCO_3)

встречается относительно редко. Красноватая окраска родохрозита характерна для многих минералов марганца.

**Кристаллы кальцита, до 3,5 см – агрегат –
сростки, Ущ. Лухумисцкали, Грузия**



Сульфаты

© Amethyst Galleries



Барит

© Amethyst Galleries



Ангидрит

Основой структуры сульфатов является сульфат-ион (SO_4^{2-}). Барит и ангидрит - минералы из

группы сульфатов. Формула барита BaSO_4 , а формула ангидрита CaSO_4 .

Сульфиды

© Amethyst Galleries



Стибнит

© Amethyst Galleries

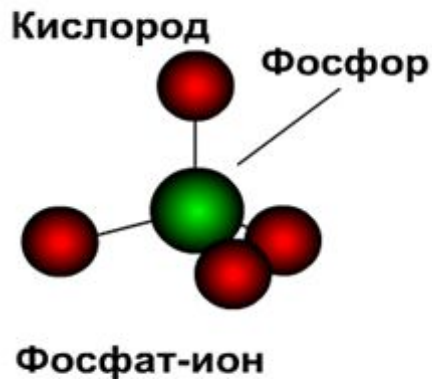


Галенит

Сульфиды состоят из ионов металлов, которые связаны с серой. На фотографии показаны стибнит (Sb_2S_3) и галенит (PbS_2). Минералы из

группы сульфидов являются важными для промышленности. Многие металлы получают из сульфидных руд.

Фосфаты



Апатит



Бирюза

Основной структуры фосфатов является фосфат-ион (PO_4^{3-}). Апатит $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]$ является наиболее распространенным минералом из группы фосфатов в земной коре. Зубы человека и

многих животных состоят из микроскопических кристаллов апатита. Бирюза $[\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})]$ это относительно редкий минерал из группы фосфатов.

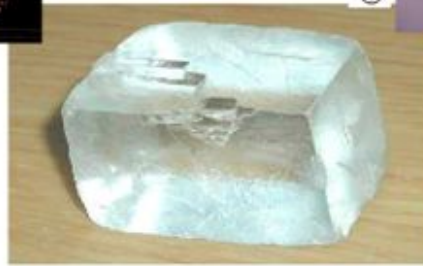
Современная минералогия

Твердые природные соединения (вещества) аморфного, т.е. не упорядоченного строения - без кристаллической решетки, относят к **минералоидам** (- сотни видов, характерны для приповерхностной части земной коры)

Опал ($\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) – аморфный



4. Физические свойства минералов



В настоящее время известно около 3500 различных минералов, которые встречаются в природе. Как же отличить один минерал от другого? Диагностика минералов основана на их физических свойствах. Физические свойства минералов включают их окраску, спайность (или ее отсутствие), твердость, плотность, блеск, цвет

черты, магнитность, облик (или габитус) кристаллов и в некоторых случаях вкус и запах. Физические свойства минерала определяются: 1) химическим составом минерала, то есть тем какие химические элементы входят в его структуру и 2) типом химических связей в структуре минерала.

Твердость по шкале Мооса

10. Алмаз. Это самый твердый из известных минералов. Алмаз состоит из атомов углерода, которые связаны прочными ковалентными связями и образуют трехмерную структуру.



9. Корунд. Формула корунда Al_2O_3 . Высокая твердость корунда определяет его применение в качестве абразивного материала. Прозрачные кристаллы корунда являются драгоценными камнями.



8. Топаз. Формула топаза $Al_2SiO_4(F,OH)_2$. В полевых условиях топаз можно спутать с кварцем. Однако, топаз значительно тверже кварца. Кристалл топаза оставляет царапину на кристалле кварца. Благодаря высокой твердости прозрачные кристаллы топаза являются драгоценными камнями.



7. Кварц. Кварц это твердый минерал. Он оставляет отчетливые царапины на стекле и стальном лезвии ножа.



6. Полевой шпат. Полевой шпат также тверже стекла и стали.



Твердость стекла примерно 5,5. Твердость стали такая же или чуть выше.



Важным диагностическим признаком минералов является их твердость. Твердость минерала зависит от типа химических связей между атомами в структуре минерала. Шкала Мооса включает 10 минералов, которым присвоена твердость от 1 до 10. Минерал с твердостью один является самым мягким, а минерал с твердостью

10 - самым твердым. Шкала Мооса это относительная шкала. Твердость минералов по абсолютной шкале определяется с помощью специальных приборов микротвердометров. Твердость стекла 5,5. На этом слайде показаны минералы из шкалы Мооса с твердостью выше пяти.

Твердость по шкале Мооса

5. Апатит. Формула апатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$. Зубы человека и некоторых животных состоят из микроскопических кристаллов апатита.



4. Флюорит. Формула флюорита CaF_2 . Медная монета, которая имеет твердость 3,5, будет оставлять царапину на кристаллах кальцита, но не будет царапать флюорит.



3. Кальцит. Формула кальцита CaCO_3 . Мелкие зерна кальцита в горных породах иногда можно спутать с кварцем. Чтобы избежать ошибки достаточно поцарапать неизвестное зерно острием ножа. Если нож с легкостью царапает данное зерно, то это скорее всего кальцит.



Твердость ногтя 2-2,5 и зависит от профессии конкретного человека. Ноготь будет оставлять отчетливые царапины на всех минералах с твердостью ниже 2.

2. Гипс. Формула гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.



1. Тальк. Формула талька $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Тальк один из самых мягких минералов. Тальк относится к слоистым силикатам. Пакеты плоских сеток кремнекислородных тетраэдров связаны в структуре талька очень слабыми Ван-дер-Ваальсовыми связями.



Справа перечислены минералы с твердостью от 1 до 5 по шкале Мооса.

Спайность

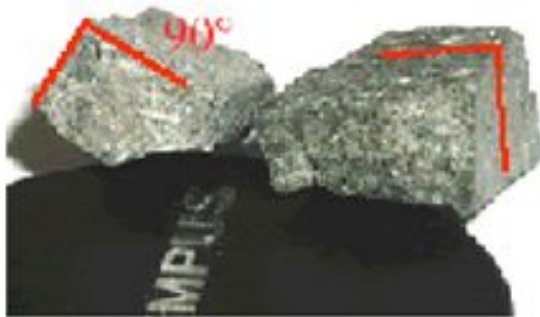


Мусковит

Спайность это свойство минералов раскалываться по определенным направлениям. Эти направления совпадают с зонами наиболее слабых химических связей в структуре минералов. Выколки по спайности образуют более или менее гладкие поверхности. У мусковита, который

относится группе слюд, весьма совершенная спайность в одном направлении. Относительно более слабые химические связи между пакетами бесконечных плоских сеток кремнекислородных тетраэдров с легкостью разрушаются при ударе или деформации.

Спайность



Пироксен



Амфибол

Как пироксен (слева), так и амфибол (справа) имеют спайность в двух направлениях. Угол между двумя плоскостями спайности у пироксенов близок к 90° . У амфиболов углы между двумя плоскостями спайности составляют 60° и 120° .

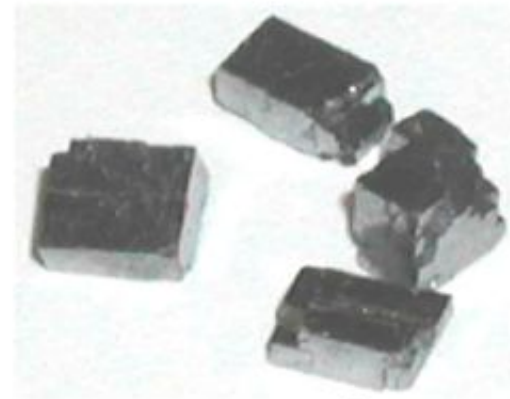
Разные углы между двумя плоскостями спайности являются важной диагностической характеристикой, помогающей отличать пироксены от амфиболов.

Спайность



Кальцит

У кальцита (CaCO_3) спайность по трем направлениям. Если расколоть кристалл кальцита, образуются спайные выколки по форме соответствующие ромбоэдру (левая верхняя



Галенит

фотография). У галенита (PbS) спайность также по трем направлениям. Если расколоть кристалл кальцита, образуются спайные выколки по форме соответствующие почти идеальным кубам.

Излом



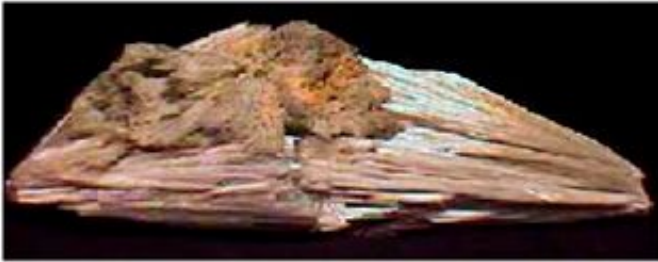
Розовый кварц

В структуре кварца кремнекислородные тетраэдры SiO_4 связаны друг с другом прочными ковалентными связями и образуют бесконечный трехмерный каркас. Химические связи в структуре кварца являются одинаково прочными во всех направлениях. Поэтому у кварца нет спайности.

При ударе кварц раскалывается по случайным направлениям без какой-либо закономерности. Поверхность излома кварца напоминает излом стекла. Такой тип излома называется раковистым изломом.

Цвет

© Amethyst Galleries



Тремолит



Актинолит

Окраска минералов определяется, в частности, их химическим составом. Разница в окраске тремолита и актинолита связана с наличием или отсутствием железа в составе минерала. Железо

и элементы из группы железа являются хромофорами и окрашивают минералы в темный цвет.

Цвет



Амазонит

Зеленый цвет амазонита (левая фотография) связан с микропримесями свинца (Pb) в составе минерала. За исключением микропримеси свинца,



Микроклин

амазонит идентичен по составу и структуре с микроклином (правая фотография). Оба минерала относятся к группе щелочных полевых шпатов.

Цвет черты



Графит

Гематит

Цвет минерала в порошке часто отличается от его цвета в образце и является важным диагностическим признаком. Для определения цвета минерала в порошке минералоги используют шероховатую фаянсовую пластинку. Черта, которую оставляют минералы на этой пластинке, соответствует цвету минерала в порошке. Поскольку твердость фаянсовой

пластинки примерно 6-6,5, минералы с твердостью больше 6 не будут оставлять черту, а будут царапать пластинку. Графит (наверху слева) и гематит (наверху справа) имеют сходную сероватую окраску, но могут быть легко идентифицированы по цвету черты. Графит оставляет черную черту, а цвет черты гематита - вишневый.

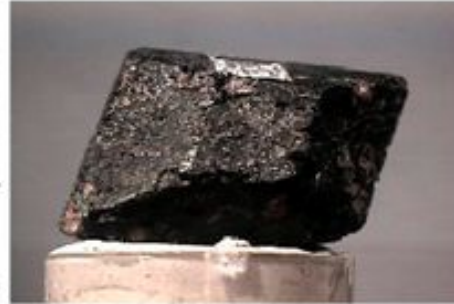
Габитус кристаллов

© Amethyst Galleries



Сколецит (гр. Цеолитов)

© Amethyst Galleries



Авгит (гр. Пироксенов)

© Amethyst Galleries



Оливин

Облик кристаллов минералов называется габитусом кристаллов. Габитус кристаллов определяется внутренней структурой минерала. Габитус кристаллов является важным

диагностическим признаком многих минералов. Разные минералы образуют волокнистые, игольчатые, призматические, пластинчатые и другие формы кристаллов.

Магнитность



Магнетитовая руда из месторождения Бьорневатн, Финнмарк.

Магнетит обладает магнитными свойствами. Большинство железо-содержащих минералов обладают слабыми магнитными свойствами, однако лишь немногие минералы являются сильными природными магнитами как магнетит.

Магнитные свойства минералов используются при поисках и обогащении руд. Рудные минералы отделяются от пустой породы с помощью больших электромагнитных сепараторов.

Растворимость



Реакция кальцита с разбавленной соляной кислотой

Некоторые минералы реагируют с кислотами. Надежный метод идентификации кальцита является его реакция с соляной кислотой. Если на поверхность кальцита поместить каплю разбавленной соляной кислоты, начинается

бурная реакция с вскипанием, то есть выделением пузырьков CO_2 . Уравнение реакции $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Происходит нейтрализация кислоты за счет разложения кальцита.

Плотность

© Amethyst Galleries



Алмаз

© Amethyst Galleries



Графит

Плотность минералов определяется 1) атомным весом химических элементов, из которых состоит минерал и 2) плотностью упаковки атомов в кристаллической решетке минерала. Алмаз и графит имеют одинаковый состав и состоят из

атомов углерода. Однако в структуре алмаза атомы углерода упакованы гораздо более плотно, чем в структуре графита. Поэтому плотность алмаза (3.5 г/см^3) гораздо выше плотности графита (2.1 г/см^3).

Плотность



© Amethyst Galleries

Барит



© Amethyst Galleries

Ангидрит

Барит и ангидрит относятся к группе сульфатов. Формула барита $BaSO_4$, а формула кальцита $CaSO_4$. Молярный вес бария (Ba) 137 г/моль, а молярный вес кальция (Ca) только 40 г/моль.

Существенно различный молярный вес является причиной различной плотности этих минералов. Плотность барита 4.5 г/см^3 , а плотность ангидрита $2.9\text{-}3.0 \text{ г/см}^3$.

Поляризационный микроскоп



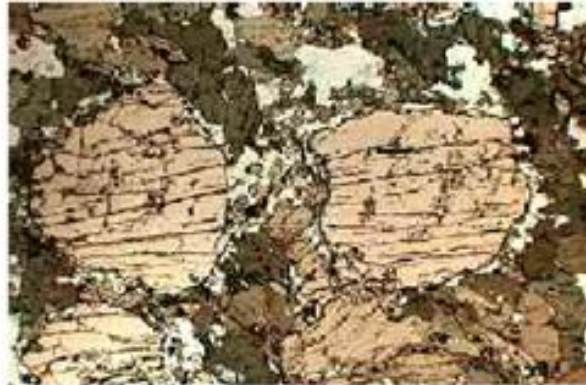
Для изучения минерального состава горных пород под микроскопом применяют тонкие срезы горных пород, которые наклеивают на стеклянную пластинку. Эти препараты называются петрографическими шлифами. В минералогии обычно применяется микроскоп с поляризатором света. Источник света в этом микроскопе расположен под предметным столиком, на котором укреплен шлиф горной породы. Прежде чем пройти через шлиф, свет проходит через поляризатор, установленный ниже предметного столика. Поляризатор пропускает световые волны с колебаниями в одной определенной плоскости.

Над предметным столиком находится еще один поляризатор (так называемый анализатор), который пропускает световые волны с колебаниями в плоскости перпендикулярной плоскости нижнего поляризатора. Анализатор установлен таким образом, что его можно включать и выключать при необходимости. Когда анализатор выключен, под микроскопом видна естественная окраска минералов в тонком срезе. Когда анализатор включен, минералы демонстрируют различные цвета интерференции. Как естественные, так и интерференционные цвета используются для диагностики минералов.

Гранат и амфибол под микроскопом



Гранатовый амфиболит



Анализатор выключен



Анализатор включен

Гранатовый амфиболит (левая фотография) это горная порода, которая состоит из граната (красный), амфибола (черный) и полевого шпата (белый). На средней фотографии показано, как выглядит эта горная порода под микроскопом с выключенным анализатором. Зеленые зерна сложены амфиболом, белые зерна это полевой

шпат, а крупные желтовато-розовые зерна это гранат. На правой фотографии та же порода с включенным анализатором. На этой фотографии гранат черный, цвет зерен полевого шпата меняется от белого до темно серого, а амфибол демонстрирует целую гамму цветов.

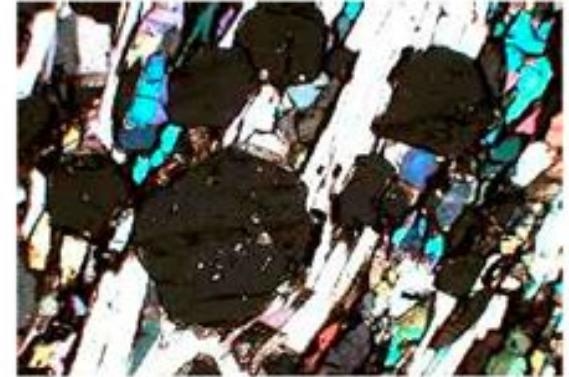
Эклогит под микроскопом



Эклогит



Анализатор выключен



Анализатор включен

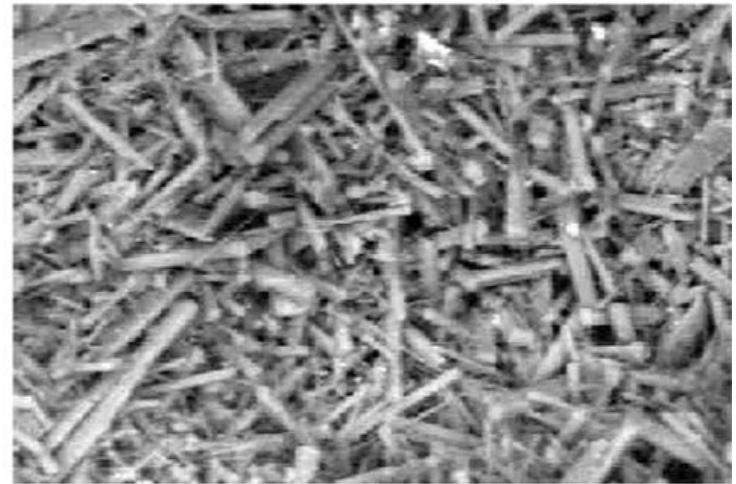
Эклогит (левая фотография) это горная порода, состоящая в основном из красного граната и зеленого пироксена. Однако эклогит может содержать другие минералы, например цоизит (светлый минерал на фото сверху). На средней фотографии показано, как выглядит эта горная порода под микроскопом с выключенным

анализатором. Зеленый минерал это пироксен, розовый - гранат, а белый - цоизит. На правой фотографии та же порода с включенным анализатором. Здесь гранат - черный, пироксен демонстрирует целую гамму цветов интерференции, а цоизит - белый или серый.

Минералы под микроскопом



Электронный микроскоп Jeol JSM 6200



Микрокристаллы амфибола под электронным микроскопом

Электронный микроскоп используется для изучения очень мелких зерен минералов - нм. Многие электронные микроскопы оборудованы детекторами, которые позволяют анализировать химический состав минералов.