

## ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ КАРБОНАТОВ, ФОСФАТОВ, БОРАТОВ

Цель работы: ознакомиться с коллекцией минералов классов карбонатов, фосфатов и боратов, изучить их основные диагностические признаки, условия образования и области применения.

Оборудование и материалы: минералы классов карбонатов, фосфатов, боратов; шкала твердости Мооса; фарфоровая пластинка; спиртовка; магнит; концентрированная и 10 %-ная HCl; вода.

### 1. Общие сведения

**Карбонаты.** К классу карбонатов относятся минералы – соли угольной кислоты  $H_2CO_3$ . Известно около 80 представителей карбонатов, масса которых в земной коре составляет около 1,7 %. Наиболее распространены карбонаты Ca и Mg (кальцит, арагонит, доломит, магнезит). Широко известны также карбонаты Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Na, Ba, Sr, (сидерит, витерит, малахит, азурит и др.). Различают карбонаты безводные и водные, а также простые – без дополнительных анионов и сложные с дополнительными анионами –  $[OH]^-$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $[SO_4]^-$ ,  $[PO_4]^-$ .

Карбонаты преимущественно светлоокрашены, однако встречаются и окрашенные разновидности: сидерит – бурый до черного, малахит – зеленый, азурит – синий. Твердость карбонатов 3–4, блеск стеклянный, спайность весьма совершенная. Карбонаты с крупными катионами (радиус больше 0,1 нм) кристаллизуются в ромбической сингонии, а с малыми катионами (менее 0,1 нм) – в тригональной; кальцит, занимающий промежуточное положение, является диморфным (встречается в той и другой сингонии), сложные карбонаты (малахит и азурит) – в моноклинной.

В структурном отношении карбонаты представлены плоскими группами  $[CO_3]^{2-}$ , в которых катион углерода симметрично окружен тремя ионами кислорода, расположенными в вершинах равностороннего треугольника. Радикалы  $[CO_3]^{2-}$  могут быть изолированы друг от друга катионами и добавочными анионами (островные карбонаты) или образовывать цепочки (цепочечные карбонаты), а также слои (слоистые карбонаты). При этом характерна смешанная связь: ковалентная – в анионных радикалах  $[CO_3]_2$  и ионная – между анионами и катионами; в сложных карбонатах с дополнительными анионами и водных карбонатах развиты водородные связи.

Важным диагностическим признаком карбонатов является их реакция с разбавленной HCl (10%-ный раствор), которая протекает с выделением  $CO_2$ . При этом некоторые карбонаты легко разлагаются в HCl (кальцит), другие же только в порошке и при нагревании (доломит, магнезит).

Карбонаты Ca, Mg, Fe, Mn, Na, Ba и некоторые другие накапливаются в основном осадочным путем в водоемах, образуя нередко мощные пласты (из-

вестняк, доломит, сидерит и др.). Причем иногда их образование связано с жизнедеятельностью организмов (мел, известняк-ракушечник). Карбонаты Cu, Zn, Pb и др. формируются из низкотемпературных гидротермальных растворов и зонах окисления соответствующих рудных месторождений.

**Фосфаты** и их аналоги (арсенаты, ванадаты) – это обширный класс минералов (до 350 минеральных видов), составляющих 0,7–1,0 % массы земной коры. Преобладают соединения Ca, Mg, Fe, Mn, отчасти Al; часто встречаются соединения Cu, Pb, Zn. Наибольшее распространение и значение имеют фосфаты – соли ортофосфорной кислоты.

В структурном отношении фосфаты характеризуются тетраэдрическим кислородным комплексом  $[\text{PO}_4]^{3-}$ . Для фосфатов характерна ковалентная связь в пределах анионного комплекса и ионная между анионами и катионами. Размеры анионов велики, поэтому они дают наиболее устойчивые соединения с крупными катионами, находящимися главным образом в шестерной координации. Преобладающими среди минералов этого класса являются представители с островными и слоистыми структурами.

Фосфаты имеют разнообразную окраску и твердость в интервале 4,5–7,0.

Подавляющее большинство фосфатов накапливается в осадочных породах (вивианит). Некоторые имеют магматическое происхождение (апатит) или образуются в зонах окисления медных месторождений (бирюза). Иногда фосфаты возникают в результате разложения органических веществ.

**Бораты.** Известно около 80 представителей этого класса, но в строении земной коры они играют незначительную роль. Основная масса бора сосредоточена в силикатах. Преобладают бораты Ca, Mg, Na, образующие соли различных борных кислот: метаборной  $\text{HBO}_2$ , ортоборной  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , тетраборной  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$  и полиборных кислот –  $\text{H}_4\text{B}_6\text{O}_4$ ,  $\text{H}_6\text{B}_8\text{O}_{15}$ . В состав боратов часто входит вода.

В структурном отношении бораты представлены треугольными плоскостными группами  $[\text{BO}_3]^-$ , в которых бор находится в центре равностороннего треугольника, а кислород в его вершине. Соединяясь между собой, эти группы могут образовывать кольцевые, цепочечные и ленточные структуры. Большинство минералов имеет цепочечную структуру, что обуславливает игольчатую и призматическую форму кристаллов.

Физические свойства боратов близки: они обычно бесцветны или белого цвета, прозрачны, имеют стеклянный блеск, небольшую плотность (1,70–2,10 г/см<sup>3</sup>) и твердость (не выше 4,5), почти все легко разлагаются в HCl, многие растворяются в воде, окрашивают пламя в зеленый цвет за счет выделения  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Бораты образуются преимущественно экзогенным путем (бура, гидроборатит и др.), реже гидротермальным путем.

Основные диагностические характеристики карбонатов, фосфатов, боратов приведены в табл. в приложении и в табл. 11.

## 2. Порядок выполнения работы

Пользуясь определителем минералов (табл. 9), произвести диагностику карбонатов, фосфатов и боратов, написать их кристаллохимическую формулу, определить и описать физические свойства, условия образования и применение. Результаты определения оформить в виде таблицы:

Наименование минерала и кристаллохимическая формула	Класс, подкласс	Тип структуры	Сингония и форма кристаллов	Цвет минерала	Цвет черты	Блеск
---	-----------------	---------------	-----------------------------	---------------	------------	-------

Продолжение таблицы

Твердость	Спайность, излом	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Реакция с 10%-ной HCl	Прочие диагностические свойства	Происхождение	Применение
-----------	------------------	------------------------------	-----------------------	---------------------------------	---------------	------------

### Контрольные вопросы

1. Какие общие свойства характерны для наиболее распространенных карбонатов?
2. По каким свойствам можно определить исландский шпат?
3. Как отличить кальцит, магнезит, доломит друг от друга?
4. В чем различия простых и сложных карбонатов?
5. Назовите области применения доломита и магнезита.
6. Напишите формулу основной углекислой соли меди.  
Составу какого минерала отвечает формула?
7. По каким признакам можно диагностировать фосфаты?
8. Укажите характерные структуры и свойства боратов.
9. Как отличить апатит от топаза, кварца?

Таблица 11

## Характеристика карбонатов, фосфатов, боратов

Минерал Формула	Сингония	Происхождение	Область применения	Месторождение
<b>Карбонаты</b>				
Кальцит Исландский шпат $\text{CaCO}_3$	Тригональная	Осадочное преимущественно в морских бассейнах хемогенным и биогенным путем, гидротермальное, метаморфическое (мрамор)	Горные породы, состоящие из кальцита (известняк, мел) используются в строительной (производство цемента, силикатного кирпича, огнеупоров), стекольной, керамической металлургической промышленности; исландский шпат – в оптике; мрамор – облицовочный материал	Россия (Московская, Белгородская, Курская области), Украина (Донбасс), Кавказ; мрамор – Россия (Урал); исландский шпат – Россия (Якутия), Узбекистан
Магнезит $\text{MgCO}_3$	Тригональная	Гидротермальное, экзогенное – химическое выветривание богатых Mg горных пород	Магнезитовые огнеупоры, магнезиальные цементы, строительная штукатурка	Россия (Южный Урал)
Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Тригональная	Осадочное в соленых водных бассейнах, редко гидротермальное	Строительный камень; производство огнеупоров, вяжущих материалов, стекла; в металлургии	Россия (Урал), Украина (Донбасс)
Сидерит $\text{FeCO}_3$	Тригональная	Осадочное, реже гидротермальное	Руда на железо	Россия (Урал),
Арагонит $\text{CaCO}_3$	Ромбическая	Гидротермальное, экзогенное	Поделочный камень	Узбекистан
Витерит $\text{BaCO}_3$	Ромбическая	Гидротермальное	Получение бариевых соединений, глазурей, специальных стекол,	Россия (Алтай)
Малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$	Моноклиная	Окисление медных сульфидных руд	Поделочный камень, изготовление красок	Россия (Урал), Казахстан
Азурит $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$	Моноклиная	Окисление медных сульфидных руд	Руда на медь, изготовление красок	Россия (Урал)
<b>Фосфаты</b>				
Апатит: хлорапатит и фторапатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3$ (Cl, F, OH)	Гексагональная	Магматическое, гидротермальное	Производство фосфатных удобрений, стекольное, керамическое производство, получение эмалей	Апатит – Россия (Кольский полуостров); фосфорит – Казахстан Россия (Саратовская область)
Вивианит $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	Экзогенное – за счет органики	Синяя краска	Украина (Крым)
<b>Бораты водные</b>				
Бура $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_7(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	Осадочное в соляных озерах	Получение бора, производство стекла, эмалей, глазурей	Украина (Крым), Азербайджан
Гидроборацит $\text{CaMg}[\text{B}_3\text{O}_4(\text{OH})_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная	Осадочное хемогенное	Получение бора, боросиликатных глазурей, стекол	Казахстан