

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

1. Строение и происхождение минералов.
2. Химические классы минералов.

1. Строение и происхождение минералов

Минерал – природное вещество, состоящее из одного элемента или из закономерного сочетания элементов, образующееся в результате природных процессов, протекающих в глубоких слоях земной коры или на ее поверхности. Каждый минерал имеет определенное строение и обладает присущими ему физическими и химическими характеристиками. В настоящее время известно более 2 500 минералов (не считая разновидностей). Наука, изучающая минералы, называется *минералогией*.

В зависимости от *агрегатного состояния*, минералы подразделяются на *твердые* (кварц), *жидкие* (ртуть), *газообразные* (метан). Наибольшим распространением пользуются *твердые* минералы, среди которых, в свою очередь, преобладают *кристаллическими* (атомы в них расположены упорядоченно), и гораздо реже встречаются *аморфные* (с хаотичным расположением атомов). Наука о строении кристаллических минералов называется *кристаллографией*.

В зависимости от *пространственного расположения элементарных частиц*, составляющих кристаллическую решетку, все многообразие форм кристаллов можно свести к нескольким группам симметрий, или *сингоний*. Выделяют семь сингоний: моноклинную, триклинную, ромбическую, тригональную, тетрагональную, гексагональную, кубическую. Огромное влияние на структуру кристаллической решетки оказывают физико-химические условия минералообразования: кристаллы одного и того же минерала, возникшие в разных условиях, будут отличаться сингонией. Более того, из одного элемента возможно формирование совершенно разных минералов: например, минералы, состоящие из углерода: графит и алмаз. Способность одинаковых по составу твердых веществ кристаллизоваться в разных модификациях называется *полиморфизмом*.

От внутреннего строения напрямую зависят физические свойства минералов. Так, обладающие кубической сингонией октаэдрические кристаллы алмаза – модификации углерода – характеризуются наивысшей твердостью. Другая же модификация углерода – графит – кристаллизуется в гексагональной сингонии и отличается минимальной твердостью. Кристаллическим минералам свойственна *анизотропность* – физические свойства в них отличаются по разным направлениям в кристалле. Наоборот, аморфным минералам характерна *изотропность* – сохранение физических характеристик, независимо от направления. К числу важнейших физических свойств, позволяющих производить макроскопическое определение минералов, относят следующие: твердость, блеск, цвет в куске, цвет в порошке (цвет черты), спайность, излом, прозрачность, плотность.

По занимаемому в составе горных пород объему минералы делятся на *породообразующие* и *акцессорные*. *Породообразующими* (их около 50) являются минералы, играющие первостепенную роль в составе горных пород. Состав породообразующих минералов служит одним из критериев, по которым определяют название горной породы. *Акцессорные* минералы встречаются в виде незначительных примесей (не более 5 % от объема породы) и их наличие не влияет на название породы. Кроме того, выделяют обширную группу *рудообразующих минералов*, используемых человеком для производства металлов.

По *происхождению* минералы делятся на типы, которые объединяются в две группы: *эндогенные* – возникают в глуби земной коры благодаря процессам магматизма и метаморфизма, а также *экзогенные* – образующиеся в верхней части земной коры в результате выветривания и осаждения из водных растворов. Последовательность формирования минералов от эндогенных до экзогенных можно представить следующим образом.

1. *Магматический тип* минералообразования имеет место в пределах магматического очага, возникающего в глуби земной коры. По мере остывания и гравитационного разделения магмы, из нее последовательно кристаллизуются вначале тугоплавкие, а затем все более легкоплавкие минералы. Соответственно, первыми возникают тяжелые зелено-черные минералы: *оливин*, *авгит*, *лабрадор*; затем более легкие: *роговая обманка*, *слюды*, *ортоклазы*, а в завершение – самый легкий низкотемпературный *кварц*. Такая последовательность получила название *реакционного ряда Боуэна* (по имени канадского ученого).

2. *Пегматитовый тип* проявляется на последних стадиях остывания магмы, при температурах 500-700°C, когда в расплавленном виде остаются лишь самые легкие фракции, обогащенные кислотами и щелочами и насыщенными газами. В этих условиях формируются своеобразные породы – *пегматиты*, сложенные крупными и гигантскими кристаллами *кварца*, *ортоклаза*, *слюд*. На данной стадии возникают многие драгоценные камни, рудные и радиоактивные минералы.

3. *Пневматолитовый тип* заключается в кристаллизации перенасыщенного газами вещества магмы, поднимающегося по трещинам земной коры. Из летучих соединений формируются руды висмута, вольфрама, молибдена, мышьяка и др. Когда температура понижается до 500°C, пневматолитовый тип начинает сопровождаться гидротермальными процессами, ведущими к накоплению рудообразующих минералов: *галенита*, *сфалерита*, *киновари*, *халькопирита*, *пирита*, *золота*, а также *кальцита* и др.

4. *Гидротермальный тип* начинается при охлаждении газов и растворов до 375°C, что обуславливает образование как самородных минералов, так и хлоридных, сульфатных и других соединений: *серы*, *галита*, *сильвина* и др.

5. *Гипергенный тип* минералообразования проявляется на земной поверхности в воздушной или водной среде, или на небольших глубинах в земной коре. Здесь неустойчивые к внешним воздействиям минералы разрушаются и переходят в устойчивые соединения. Основополагающее значение

принадлежит процессам выветривания, осаждения веществ из водных растворов, деятельности подземных вод. Характерными минералами являются *каолин, монтмориллонит, галит, сильвин, малахит, лимонит, боксит* и др.

6. *Метаморфический тип* обусловлен воздействием на горные породы высоких температур, давления, а также магматических газов и растворов. При этом возникает обширный перечень минералов, как *хлорит, тальк, графит, магнетит* и др.

Процессы минералообразования могут сопровождаться *метасоматозом* – замещением одних минералов другими при изменении физико-химических условий. Например, переходом пирита (FeS_2) в лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в результате окисления. Кроме того, возможно образование одного и того же минерала в разных условиях. Наконец, каждому типу минералообразования характерны свои, строго закономерные сочетания минералов, что ведет к образованию минералов-спутников. Такое явление получило название *парагенезиса*. Практическое значение парагенезиса заключается в том, что на основании обнаружения одного минерала, можно предполагать наличие другого. Так, наличие пегматитового кварца свидетельствует о возможности обнаружения золота.

При изучении минералогического состава почв в почвоведении принято разделять почвообразующие минералы на две группы: *первичные* и *вторичные*.

Первичные минералы образовались одновременно с породой в глубоких слоях земной коры и сохранились в ней почти в неизменном состоянии. К относят минералы в основном магматического и метаморфического происхождения – оливин, полевые шпаты, кварц, роговую обманку, слюды и др.

Вторичные минералы образовались позже первичных и часто за счет них на земной поверхности или вблизи нее. К ним относят минералы, образовавшиеся за счет осадконакопления, выветривания, деятельности организмов и, частично, метаморфизма – глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда), опал, лимонит, кальцит, доломит, гипс, галит, сильвинит, хлориты и др.

Первичные и вторичные минералы составляют главную массу почвообразующих пород и твердой фазы почвы и поэтому оказывают влияние на ряд ее физико-химических свойств и на уровень плодородия в целом. Чем богаче по химическому составу почвообразующие минералы, тем выше производительная способность сформировавшейся на них почвы.

2. Химические классы минералов

По *химическому составу* минералы объединяются в *классы*, подразделяемые на *подклассы* и, далее, *группы*. Наибольшее распространение в земной коре получили девять классов минералов.

1. *Самородные минералы* состоят только из одного химического элемента. Объединяют около 45 минералов самого разного происхождения, составляющих менее 0,1 % массы земной коры. Большинство имеет огромное хо-

зяйственное значение (*алмаз, графит, сера, золото, медь* и др.). Физические характеристики самородных минералов отличаются большим разнообразием.

2. *Сульфиды* – сернистые соединения тяжелых металлов. Класс насчитывается около 250 минералов, составляющих 0,15 % массы земной коры. Образование сульфидов идет без доступа кислорода, большинство из них имеет гидротермальное происхождение. При окислении сульфиды легко переходят в окислы, карбонаты или сульфаты. Ценность сульфидов в том, что они являются рудами на цветные металлы, причем зачастую им сопутствует золото. Наибольшим распространением пользуются *пирит* (железный колчедан) FeS_2 , *халькопирит* (медный колчедан) CuFeS_2 , *галенит* (свинцовый блеск) PbS , *сфалерит* (цинковая обманка) ZnS , *киноварь* HgS и др. Подавляющему большинству сульфидов характерны металлический блеск, низкая и средняя твердость, высокая плотность.

3. *Галоиды* являются солями галоидноводородных кислот. Насчитывается около 100 представителей, как правило, гипергенного и гидротермального происхождения. Чаще всего встречаются соединения хлористые и фтористые, такие, как применяемые в химической промышленности *галит* NaCl (каменная соль), *сильвин* KCl (калийная соль). В оптике используется *флюорит* CaF_2 . Галоиды отличаются стеклянным блеском, невысокими твердостью и плотностью, часто легкой растворимостью в воде.

4. *Фосфаты* представлены солями фосфорной кислоты. Класс насчитывает около 200 минералов, составляющих около 0,7 % массы земной коры. Чаще всего применяются для производства фосфорных удобрений магматического происхождения *апатит* $\text{Ca}_5(\text{F, Cl})[\text{PO}_4]_3$ и близкий к нему по составу, но гипергенного происхождения *фосфорит* (фосфат кальция). Фосфатам характерны невысокие показатели твердости и плотности.

5. *Сульфаты* представляют собой соли серной кислоты. Сульфатам принадлежит большое породообразующее значение, они слагают около 0,1 % массы земной коры. Минералам свойственны низкая твердость, неметаллические разновидности блеска, светлая окраска. В земной коре широко распространены *гипс* $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, *ангидрит* CaSO_4 , *мирабилит* (глауберова соль) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

6. *Карбонаты* являются солями угольной кислоты, насчитывают около 80 представителей. Имеют огромное породообразующее значение, составляют до 2 % массы земной коры. Отличительной особенностью карбонатов является их активное взаимодействие с соляной кислотой, сопровождающееся бурным выделением углекислого газа (*вскипание*). Блеск большинства карбонатов стеклянный, твердость невысокая. Наиболее распространены: *кальцит* CaCO_3 , *магнезит* MgCO_3 , *доломит* $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, *сидерит* FeCO_3 .

7. *Оксиды и гидроксиды* составляют до 17 % массы земной коры. Представители этого класса объединяют минералы разного происхождения и подразделяются, соответственно названию, на два подкласса: *оксидов*, отличающихся высокой и средней твердостью, и *гидроксидов*, обладающих низкой твердостью. Названный класс можно разделить на оксиды и гидроксиды кремния и оксиды и гидроксиды металлов. *Оксиды и гидроксиды кремния*

обладают исключительно важным породообразующим значением: только на долю *кварца* SiO_2 приходится до 12% массы земной коры. Скрытокристаллические модификации кварца представлены разноокрашенными *халцедонами*. Среди водных оксидов кремния необходимо назвать опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Этим минералам соответственно характерен стеклянный или металлический блеск. *Оксиды и гидрооксиды металлов* обладают важнейшим рудообразующим значением. Для них свойственен, соответственно, металлический или матовый блеск. Наибольшее значение принадлежит таким минералам, как *магнетит* Fe_3O_4 , *гематит* Fe_2O_3 , *лимонит* $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, *корунд* Al_2O_3 , *боксит* $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

8. *Нитраты, или селитры*, – соли азотной кислоты. К природным нитратам относятся азотнокислые соли Na, K, Ca, Mg, Ba и других элементов. Вследствие легкой растворимости в воде минералы этого класса в природе встречаются довольно редко. Источником селитр служит азот воздуха. Реакции окисления азота воздуха носят биогенный характер и связаны с бактериальными процессами в поверхностных слоях земной коры. Наибольшее распространение и значение имеют натриевая (чилийская) NaNO_3 и калиевая (индийская) KNO_3 селитры. Долгое время использовались как единственные азотные удобрения. В связи с тем, что в настоящее время изобретен промышленный способ получения азотных соединений (аммиака и азотной кислоты) синтетическим путем из азота воздуха, значение природных селитр в качестве удобрительных средств уменьшилось.

9. *Силикаты и алюмосиликаты* объединяют около 800 минералов, многим из которых принадлежит огромное породообразующее и почвообразующее значение: представители этого класса составляют до 80 % массы земной коры. Происхождение минералов данного класса разное. Основу кристаллической решетки в минералах составляет кремнекислородный тетраэдр. В зависимости от сочетаний этих тетраэдров, все силикаты разделяются на большое количество групп.

– *Островные силикаты* сложены изолированными тетраэдрами. Самый распространенный представитель, имеющий огромное породообразующее значение – магматического происхождения *оливин* $(\text{MgFe})_2[\text{SiO}_4]$.

– *Ценные силикаты* объединяют минералы группы *пироксенов*, в которых тетраэдры соединены в непрерывные цепочки. Наиболее распространен породообразующий минерал *авгит* $(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Al,Fe}^{3+})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$.

– *Кольцевые силикаты* обладают соединенными в замкнутые кольца тетраэдрами. Представитель – *берилл* $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$.

– *Ленточные силикаты* содержат соединенные в обособленные ленты тетраэдры. Здесь выделяется группа *амфиболов* – минералов с непостоянным химическим составом, среди которых наиболее распространен породообразующий минерал *роговая обманка*.

– *Листовые (слоевые) силикаты* представлены минералами, в которых тетраэдры объединены в ленты, образующие единый непрерывный слой. Наибольшим распространением среди них пользуются такие породообразу-

ющие минералы, как *слюды*: бесцветный *мусковит* $\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ и его мелкочешуйчатая разновидность *серицит*, черный *биотит* $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3 \cdot (\text{OH}, \text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$. Слюды, особенно мусковит, служат источником калийного питания растений. По мере перехода их в гидрослюды подвижность и доступность калия увеличиваются. Кроме слюд часто встречаются метаморфического происхождения *серпентин* (*змеевик*) $\text{Mg}_6(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, *тальк* $\text{Mg}_3(\text{OH})_2 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ и непостоянного состава *хлориты*. Эти минералы возникают при воздействии на ультраосновные породы горячих растворов и газов. Тальк применяют в качестве наполнителя для производства средств защиты растений. Другая часть листовых силикатов образуется в результате гипергенеза – выветривания содержащих полевые шпаты и слюды магматических и метаморфических пород. Так возникают глинистые минералы *каолинит* $\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$, *монтмориллонит* $(\text{Mg}_3, \text{Al}_2)[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, *бейделлит* $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, *нонtronит* $(\text{Fe}, \text{Al}_2)[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а также *гидрослюды* – минералы непостоянного состава. Среди листовых силикатов выделяется также *глауконит* – водный алюмосиликат K, Fe, Al, образующийся в шельфовой зоне на глубинах 200-300 м.

– *Каркасные силикаты* представлены группами полевых шпатов и нефелина. Важнейшей из них является группа *полевых шпатов*, доля которых в массе земной коре достигает 50 %. Каркас полевых шпатов создан тетраэдрами, сцепленными всеми четырьмя вершинами. Группа подразделяется на *калиево-натриевые* и *кальциево-натриевые* полевые шпаты. Первые представлены *ортоклазом* $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. Вторые – разновидностями *плагиоклазов*, в которых наблюдается последовательное уменьшение содержания SiO_2 . В соответствии с этим плагиоклазы включают ряд минералов: от натриевого (кислого по составу) *альбита* $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – его сокращенная запись Ab, до кальциевого (основного) *анортита* $\text{Ca}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ – An. Промежуточное положение занимает кальциево-натриевый (средний по составу) *лабрадор* $\text{Ab}_{50}\text{An}_{50}$ – иризирующий плагиоклаз. Помимо полевых шпатов, в числе каркасных силикатов выделяют группу *нефелина* $\text{Na}_3\text{K}[\text{AlSiO}_4]_4$ – породообразующего алюмосиликата магматического и пегматитового происхождения.