

Практическая работа № 5

Физико – химические процессы в почвах. Структура литосферы. Механический и элементный состав почв

Строение и состав литосферы

Почва представляет собой тончайшую оболочку планеты на суше и на дне мелководий, которая тесно взаимодействует со всеми геосферами: атмосферой, гидросферой, литосферой и биосферой.

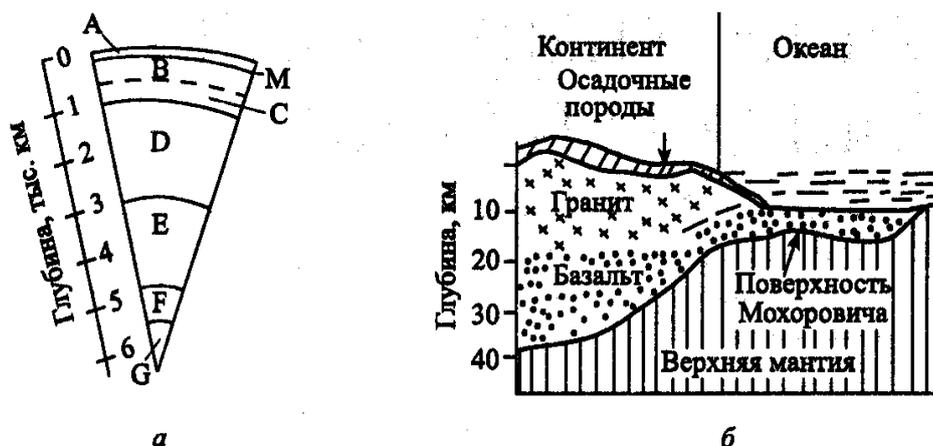


Рис. 5. Слои Земли. А – земная кора – твердая внешняя оболочка Земли. М – раздел Мохоровича. В, С и D - слои мантии, различающиеся между собой по скорости прохождения сейсмических волн. Е, F, G – слои ядра Земли: слой Е (2900 – 4980 км) – внешнее ядро, слой F (4980 – 5120 км) – переходная зона ядра и слой G (5120 – 6370 км) – внутреннее ядро.

Среднее содержание химических элементов в земной коре (слой А) впервые определил американский геохимик Ф. Кларк.

Таблица 3.1.

Кларки важнейших химических элементов земной коры

| Элемент | Кларк | | элемент | Кларк | |
|----------|------------------------|----------------------|---------|-------------------------|----------------------|
| | Массовый* , %(мас.) | объёмный** %(об.) | | массовый* , %(масс.) | объёмный** %(об.) |
| Кислород | 47,0 | 91,97 | Калий | 2,50 | 2,14 |
| Кремний | 29,5 | 0,89 | Натрий | 2,50 | 1,60 |
| Алюминий | 8,05 | 0,77 | Магний | 1,87 | 0,56 |
| Железо | 4,65 | 0,68 | Титан | 0,45 | 0,26 |
| Кальций | 2,96 | 1,48 | | | |

* Массовые кларки по А.В. Виноградову.

** Объёмные кларки по В. Гольдшмидту.

Для количественной оценки распределения химических элементов в земной коре В.И. Вернадский ввел понятие кларк концентрации K_K :

объёмный** $K_K = A/K$,

где A – содержание элемента в земной коре в данном регионе, %(мас.);

K – кларк элемента в земной коре, %(мас.).

Примеры решения типовых задач

Пример 1. Определите содержание кислорода и кремния в %(мас.) в нефелине – $K[AlSiO_4]$.

Решение. Массовое содержание элемента в минерале ($W_э$), %(мас.) можно определить из уравнения:

$$W_э = (m_э / M_{неф}) \cdot 100,$$

где $m_э$ – масса элемента в молекуле; $M_{неф}$ – молекулярная масса нефелина.

Значение $M_{неф}$ определяется суммой атомных масс элементов, входящих в состав данной молекулы с учетом стехиометрических коэффициентов.

$$M_{неф} = 1 \cdot A_K + 1 \cdot A_{Al} + 1 \cdot A_{Si} + 4A_O = 39 + 27 + 28 + 4 \cdot 16 = 158.$$

Следовательно содержание кислорода и кремния в %(мас.) будет равно:

$$W_O = (m_O / M_{неф}) \cdot 100\% = (64/158) \cdot 100\% = 40 \text{ %(мас.)}.$$

$$W_{Si} = (m_{Si} / M_{неф}) \cdot 100\% = (28/158) \cdot 100\% = 18 \text{ %(мас.)}.$$

Ответ: содержание кислорода и кремния в нефелине составляет 40 и 18 % (мас.) соответственно.

Пример 2. Используя данные табл. 1, рассчитайте мольное соотношение атомов кислорода и кремния в земной коре.

Решение. Массовые кларки кислорода и кремния в земной коре равны 47 и 29,5 %(мас.) соответственно. Атомные массы кислорода и кремния равны 16 и 28 соответственно. Количество молей атомов кислорода и кремния в 100 г земной коры определяется из следующего выражения: $n = m/A$,

где n – количество молей; m – масса элемента в 100 г земной коры, г; A – молекулярная масса атомов кислорода или кремния, г / моль.

Следовательно, количество молей кислорода n_O и кремния n_{Si} будет равно:

$$n_O = m_O / A_O = 47,0 / 16 = 2,9 \text{ (моль)}.$$

$$n_{Si} = m_{Si} / A_{Si} = 29,1 / 28 = 1,1 \text{ (моль)}.$$

Тогда мольное соотношение атомов кислорода и кремния в земной коре равно:

$$n_O / n_{Si} = 2,9 / 1,1 = 2,6$$

Ответ: мольное соотношение атомов кислорода и кремния в земной коре равно 2,6.

Пример 3. Песчаные и глинистые почвы имеют удельную поверхность 7 и 70 м²/ г абсолютно сухой почвы соответственно. Считая, что воздушно – сухая почва адсорбирует воду только поверхностью однородного слоя толщиной 1 нм, вычислите содержание воды в каждой из почв в воздушно-сухом состоянии.

Решение. Из условия задачи следует, что вода в 1 г почвы равномерно адсорбирована на поверхности S с толщиной слоя h. Следовательно можно определить объём, который занимает вода в одном слое образца почвы.

$$V = S_{уд}h$$

$$V(H_2O)_{гтсх.} = 7 \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 7 \cdot 10^{-8} \text{ (м}^3\text{/г)}$$

$$V(H_2O)_{глинист.} = 70 \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ (м}^3\text{/г)}$$

Содержание воды m(H₂O) в 1 г образца воздушно – сухой почвы можно определить, зная что плотность воды ρ(H₂O) равна 10³ кг/ м³ = 10⁶ г/ м³:

$$m(H_2O) = \rho(H_2O) \cdot V(H_2O)$$

$$m(H_2O)_{песч.} = 10^6 \cdot 7 \cdot 10^{-8} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ (г H}_2\text{O / г песчаной почвы)}$$

$$m(H_2O)_{глинистая.} = 10^6 \cdot 7 \cdot 10^{-7} = 7 \cdot 10^{-2} \text{ (г H}_2\text{O / г глинистой почвы)}$$

Процентное содержание воды в почве есть отношение содержания воды в 1 г воздушно – сухой почвы к массе навески (m_{навески} = 1 г):

$$\omega = (m / m_{(навески)}) \cdot 100\%;$$

$$\omega_{гтсх/} = (7 \cdot 10^{-3} / 1) \cdot 100\% = 0,7\%;$$

$$\omega_{(глинист.)} = (7 \cdot 10^{-2} / 1) \cdot 100\% = 7\%;$$

Ответ: содержание воды равно 7·10⁻³ и 7·10⁻²г / г абсолютно сухой почвы (песчаной и глинистой соответственно), или 0,7 и 7 %.

Механический состав почв

Таблица 6

Классификация механических элементов почвы (по Н.А. Качинскому)

| Механические элементы | Размер частицы, мм | Механические элементы | Размер частицы, мм |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Каменистая часть почв | >3 | Пыль мелкая | 0,005 – 0,001 |
| Гравий | 3 – 1 | Ил | <0,001 |
| Песок крупный | 1 – 0,5 | Ил глинистый | 0,001 – 0,0005 |
| Песок средний | 0,5 – 0,25 | Ил коллоидный | 0,0005 – 0,0001 |
| Песок мелкий | 0,25 – 0,05 | Коллоиды | <0,0001 |
| Пыль крупная | 0,05 – 0,01 | Физический песок | >0,01 |
| Пыль средняя | 0,01 – 0,005 | Физическая глина | <0,01 |

Примеры решения задач

Пример 1. Объём заполненных при стандартных условиях воздухом пор в почве равен $0,32 \text{ см}^3 / \text{см}^3$ почвы. Содержание O_2 в почвенном воздухе составляет 18% (об.). Рассчитайте объём O_2 в $\text{м}^3 / \text{м}^3$ почвы. Найдите массу O_2 в $\text{г} / \text{м}^3$ почвы, если температура почвы 17°C .

Решение. Примем что объём воздуха в почве равен объёму пор в почве. Тогда объём O_2 в почве ($V(\text{O}_2)$) можно определить из следующего соотношения :

$$V(\text{O}_2) = V(\text{воздуха}) \cdot (W(\text{O}_2)/100) \cdot K = 0,32 \cdot 0,18 = 0,058 (\text{м}^3/\text{м}^3),$$

где K – коэффициент, учитывающий переход от одной размерности к другой ($1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$), в данной задаче равный единице.

Далее необходимо учесть, что объём пор в почве и давление воздуха остаются постоянными. Из уравнения Менделеева – Клайперона $PV = (m / M) \cdot RT$ и постоянства давления и объёма, следует, что

$$m_1(\text{O}_2) \cdot T_1 = m_2(\text{O}_2) \cdot T_2,$$

где T_1 и T_2 – абсолютные температуры; $m_1(\text{O}_2)$ и $m_2(\text{O}_2)$ – массы кислорода при температурах T_1 и T_2 . В стандартных условиях ($T_1 = 273 \text{ К}$) определим массу кислорода из следующего соотношения:

1 моль O_2 занимает объём 22,4 л O_2 , а весит 32 г.

$$0,058 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \text{ содержат } m_2 (\text{г}) (\text{O}_2).$$

$$\text{Тогда: } m_2 (\text{O}_2) = (0,058 \cdot 32 \cdot 273) / (22,4 \cdot 290) = 78 \cdot 10^{-3} (\text{кг } \text{O}_2 / \text{м}^3) = 78 (\text{г } \text{O}_2 / \text{м}^3)$$

Ответ: объём кислорода, содержащегося в 1 м^3 почвы, составляет $0,058 \text{ м}^3$, масса – 78 г.

Пример 2. Карбонатная почва имеет следующий гранулометрический состав: 42% песка, 28% пыли и 20% глины. Содержание CaCO_3 в почве составляет: 5% в песке, 10% в пыли и 20% в глине. Рассчитайте гранулометрический состав почвы (%): а) в её начальном состоянии; б) после удаления карбонатов реакцией с кислотой.

Решение. Определим массу карбоната кальция в каждой гранулометрической части почвы. Согласно условию задачи, в 100 г почвы содержится 42 г песка, 38 г пыли и 20 г глины. Тогда содержание карбоната кальция в песке $42 \cdot 0,05 = 2,1$ г, в пыли $38 \cdot 0,10 = 3,8$ г, в глине $20 \cdot 0,20 = 4$ г, а массы чистых песка, пыли и глины после обработки кислотой $42 - 2,1 = 39,9$ г песка; $38 - 3,8 = 34,2$ пыли; $20 - 4 = 16$ г глины.

Процентное содержание песка, пыли и глины в исходно почве (W_i) определяется соотношением:

$$W_i = (m_i / 100) \cdot 100 \% = m_i(\%),$$

где m_i – масса соответствующих компонентов почвы.

Тогда процентное содержание песка, пыли и глины в исходной почве составит:

$$W_{\text{песка}} = 39,9\%; W_{\text{пыли}} = 34,2\%; W_{\text{глины}} = 16\%.$$

Процентное содержание компонентов в почве после удаления из нее карбонатов (W_i^1) можно определить учитывая изменение массы навески почвы:

$$\Delta m = \Sigma \Delta m_i = 2,1 + 3,8 + 4 = 9,9 (\text{г});$$

$$W_i^1 = \{m_i / (100 - \Delta m)\} \cdot 100 = \{m_i / (100 - 9,9)\} \cdot 100 = \{m_i / 90,1\} \cdot 100;$$

$$W_{\text{песка}}^1 = 44\%; W_{\text{пыли}}^1 = 38\%; W_{\text{глины}}^1 = 18\%;$$

Ответ: а) 39,9%, 34%, 16%; б) 44%, 38, 18%.

Элементный состав почв

Почва представляет собой многофазную полидисперсную систему. Почва состоит из твердых частиц (твердая фаза почвы), воды (почвенного раствора) и почвенного воздуха. На долю твердой фазы приходится 40 – 65% объема почвенной массы. Объем почвенного раствора может меняться в широком диапазоне. До 35% объема почвы занимает почвенный воздух. Для типичных почв характерно следующее соотношение объемов твердой, жидкой и газообразной фаз: **Т : Ж : Г = 2 : 1 : 1.**

Твердая фаза типичной плодородной почвы на 95% состоит из неорганических и на 5% из органических соединений.

Состав почвенных растворов меняется в очень широких пределах. Типичными компонентами почвенных растворов, концентрации которых концентрации других ионов, являются **катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Na^+** и **анионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-** . При изменении влажности почвы концентрация отдельных ионов изменяется по различным законам.

Почвенный воздух отличается от атмосферного более высоким содержанием CO_2 (обычно от 0,1 до 2 – 3%), а в торфяных почвах на глубине 20 –30 см концентрация CO_2 достигает 10 – 12 % (об.). Содержание кислорода в воздухе верхнего слоя почвы (толщиной 20 см) на 0,5 – 1,5% ниже его содержания в атмосферном воздухе. Также в почвенном воздухе могут содержаться сероводород, метан, геммоксид и органические соединения (углеводороды, спирты, эфиры, альдегиды).

Примеры решения задач

Пример 1. Из пробы почвы взята навеска массой 10 г о обработана 25 мл 2М HCl. По завершении реакции избыток кислоты оттитрован стандартным раствором NaOH. Расчеты показывают, что на реакцию с почвой расходуется 22,5 мл кислоты. При условии, что кислота реагирует только с CaCO_3 , вычислите процентное содержание этого вещества (по массе) в почве. Если кислота реагирует с доломитом $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, найдите процентное содержание этого вещества в почве.

Решение. Взаимодействию карбоната кальция с соляной кислотой соответствует уравнение:



Число молей кислоты, которое провзаимодействовало с CaCO_3 :

$$n = C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}}$$

где C_{HCl} - концентрация соляной кислоты; V_{HCl} - объем кислоты, который пошел на взаимодействие с почвой ($V = 22,5 \text{ мл} = 22,5 \cdot 10^{-3} \text{ л}$).

$$n = 2 \cdot 22,5 \cdot 10^{-3} = 4,5 \cdot 10^{-2} (\text{моль}).$$

Из уравнения химической реакции следует, что число молей карбоната кальция в 2 раза меньше числа молей соляной кислоты: $4,5 \cdot 10^{-2}(\text{моль}) / 2 = 2,25 \cdot 10^{-2}(\text{моль})$.

Масса CaCO_3 в образце почвы составит: $m = nM$, где M – молярная масса CaCO_3 ;
 $M(\text{CaCO}_3) = 40 + 12 + 3 \cdot 16 = 100 \text{ (г/моль)}$,

тогда

$$m(\text{CaCO}_3) = 100 \cdot 2,25 \cdot 10^{-2} = 2,25 \text{ (г)}.$$

Процентное содержание CaCO_3 в навеске почвы массой 10 г составит:

$$W = (2,25 / 10) \cdot 100 = 22,5 \text{ (\%)}.$$

Аналогично определяется содержание доломита. Карбонаты кальция и магния, входящие в состав доломита взаимодействуют с соляной кислотой по реакциям, которым соответствуют уравнения:



Соотношения карбоната кальция и магния в доломите равно 1:1, т.е.

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{MgCO}_3) = 2,25 \cdot 10^{-2}(\text{моль}) / 2 = 1,125 \cdot 10^{-2}(\text{моль}).$$

Рассчитаем количество граммов карбонатов кальция и магния, учитывая, что их молярные массы $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}$ и $M(\text{MgCO}_3) = 84 \text{ г/моль}$:

$$m(\text{CaCO}_3) = 100 \cdot 1,125 \cdot 10^{-2} = 1,125 \text{ (г)}.$$

$$m(\text{MgCO}_3) = 84 \cdot 2,25 \cdot 10^{-2} = 0,94 \text{ (г)}.$$

Масса доломита в 10 г пробы почвы : $m(\text{доломита}) = m(\text{CaCO}_3) + m(\text{MgCO}_3) = 1,125 + 0,94 = 2,06 \text{ (г)}$.

Тогда процентное содержание доломита составит: $W = m(\text{доломита}) / m(\text{навески}) \cdot 100\% = (2,06 / 10) \cdot 100 = 20,6\%$.

Ответ: в почве содержание $(\text{CaCO}_3) = 22,5\%$, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = 20,6\%$.

Пример 2. В 100 г абсолютно сухой почвы содержится 5,2 г органического вещества. Рассчитайте содержание органического вещества в 100 г воздушно-сухой почвы, считая, что в воздушно-сухом состоянии почва содержит 2,3 г H_2O на 100 г абсолютно сухой почвы.

Решение. Из условия задачи следует, что 100 г абсолютно – сухой почвы содержатся в 102,3 г воздушно-сухой почвы. Тогда 5,2 г органического вещества содержатся в 102,3 г воздушно-сухой почвы. Составим пропорцию:

В 102,3 г возд. – сухой почвы содержится 5,2 г органического вещества, а

В 100,0 г возд. – сухой почвы содержится X г органического вещества.

$$X = (5,2 \cdot 100) / 102,3 = 5,08 \text{ (г)}$$

Ответ: в 100 г воздушно – сухой почвы содержится 5,08 г органического вещества.

Пример 3. Плотность пакета смектита равна $2,65 \text{ г/см}^3$. Рассчитайте удельную поверхность слоев в 1 г глины, считая, что пакет состоит из множества слоев, толщина каждого из которых 1 нм, а площадь поверхности каждого слоя 1 м^2 , площадью поверхности края пласта можно пренебречь.

Решение. 1 г смектита занимает объём: $V = m/\rho = 1,0 / 2,65 = 0,377(\text{см}^3 / \text{г}) = 0,377 \cdot 10^{-6} (\text{м}^3 / \text{г})$.

Поскольку у слоя имеется две поверхности, то удельная площадь поверхности $S_{\text{уд}}$ будет определяться числом слоев, умноженным на площадь поверхности одного слоя:

$$S_{\text{уд}} = 2V / h,$$

где $S_{\text{уд}}$ - удельная поверхность смектита;

Учитывая, что $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$, рассчитаем удельную поверхность смектита:

$$S_{\text{уд}} = 2 \cdot 0,377 \cdot 10^{-6} / 10^{-9} = 750(\text{м}^2 / \text{г}),$$

Ответ: удельная поверхность глины составляет $750 \text{ м}^2 / \text{г}$.

Индивидуальное задание

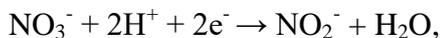
Задание 1. При определении в почве подвижного калия были использованы следующие данные: масса навески воздушно-сухой почвы - 10 г, объем водной вытяжки - 50 мл, концентрация ионов K^+ в вытяжке - $14,3 \text{ мкг K}^+/\text{мл}$. Определите содержание подвижного калия в 1 кг почвы.

Задание 2. Рассчитайте потери P, S и N на 1 га в 250 мм дренажной воды, если концентрации этих элементов составляли соответственно 0,02; 2,5 и 12 мг/л.

| Вариант | Задание 1 | | | Задание 2 | | |
|---------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | $m_{\text{поч.}}$, г | $V_{\text{выт.}}$, мл | $C(\text{K}^+)$, Мкг/мл | $C(\text{P})$, мг/л | $C(\text{S})$, мг/л | $C(\text{N})$, мг/л |
| 1 | 10 | 50 | 143 | 0,02 | 2,5 | 14 |
| 2 | 5 | 25 | 120 | 0,025 | 1,5 | 12 |
| 3 | 5 | 10 | 152 | 0,035 | 2,0 | 10 |
| 4 | 20 | 20 | 127 | 0,030 | 2,0 | 9 |
| 5 | 30 | 40 | 158 | 0,015 | 1,0 | 13 |
| 6 | 10 | 15 | 142 | 0,035 | 2,5 | 16 |
| 7 | 20 | 50 | 139 | 0,020 | 3,5 | 15 |
| 8 | 5 | 10 | 140 | 0,015 | 3,0 | 13 |
| 9 | 30 | 25 | 121 | 0,025 | 2,0 | 12 |
| 10 | 15 | 50 | 115 | 0,010 | 2,5 | 10 |

Контрольные задачи

1. Первой стадией денитрификации является восстановление нитратов до нитритов. Нитриты характеризуются малым временем жизни, восстанавливаясь далее до N_2 и N_2O . Уравнения этой первой стадии таковы:



$$E_h = 0,83 - 0,031 \lg([NO_2^-]/[NO_3^-]) - 0,059 \text{ рН}.$$

Рассчитайте соотношение между E_h и рН для случая, когда половина NO_3^- будет восстановлена и $[NO_3^-] = [NO_2^-]$.

2. Рассчитайте потери P, S и N на 1 га в 250 мм дренажной воды, если концентрации этих элементов составляли соответственно 0,02; 2,5 и 12 мг/л.

3. Рассчитайте поступление серы в кг S/(га-год), если годовое количество осадков составляет 980 мм, общая концентрация в них S равна 1,5 мг/л. При условии, что поступление диоксида серы в виде сухих выпадений и осадков составляет 12 кг S/(га • год) и его окисление в почве происходит по уравнению:



рассчитайте поступление H^+ , связанное с SO_2 , в кг H^+ /(га • год).

4. В почву были внесены азотные удобрения (NH_4NO_3) в количестве 110 кг N/га. Какова масса использованного удобрения, если оно содержит 96% действующего вещества?

При условии, что весь NH_4 нитрифицируется, вычислите увеличение концентрации нитратного азота в почвенном растворе, если удобрение равномерно смешивается с 2600 т почвы при содержании в ней воды 20 г H_2O /100 г сухой почвы. При условии, что в процессе нитрификации выделяется 2 моль H^+ на каждый моль минерализованного NH_4^+ , рассчитайте изменение рН почвы. Ее буферная емкость равна 60 ммоль H^+ /(кг • рН).

5. Урожай сельскохозяйственной культуры равен 12 т сухого вещества на 1 га. Культура содержит 16 г K/kg сухого вещества. Какую массу азотного удобрения необходимо внести на гектар, чтобы компенсировать вынос N с урожаем?

6. Рассчитайте массу каждого из следующих веществ, которая могла бы обеспечить поступление 40 мг N/kg сухой почвы: NH_4NO_3 ; КЩГГОз; $(NH_4)_2SO_4$; мочевины; сухой навоз, содержащий 1,6% N.