

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н. Прянишникова»

И.А. Самофалова

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

*Допущено
Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации
по агрономическому образованию
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности
110101 «Агрохимия и агропочвоведение» и
110102 «Агроэкология»*

Пермь
ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА»
2009

УДК 631.48
ББК 40.3
С – 176

Самофалова, И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород [Текст]: учебное пособие. И.А. Самофалова, М-во с.-х. РФ, ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА». – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. – 132 с. – 250 экз. – ISBN

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **Н.Ю. Каменских** (Пермская государственная сельскохозяйственная академия);
кандидат географических наук, доцент **Е.А. Ворончихина** (Пермский Государственный Университет)

Учебное пособие составлено в соответствии с программой курса «Почвоведение» и предназначено для студентов специальностей 110101 «Агрохимия и агропочвоведение», 110102 «Агроэкология», 020701 «Почвоведение» очного и заочного обучения.

В учебном пособии изложены минералогический и химический состав почвообразующих пород и почв; представлено содержание химических элементов в твердой, газовой, жидкой фазах почвы и формы соединений химических веществ. Рассмотрены основные питательные элементы растений, токсичные и радиоактивные элементы, химическое загрязнение почв.

© ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009

Содержание

Введение.....	4
1. Минералогический и химический состав почвообразующих пород.....	5
1.1. Химический состав минералов и почвообразующих пород.....	5
1.2. Микроэлементы в почвообразующих породах.....	9
1.3. Минералогический состав почвообразующих пород и почв.....	11
2. Химический состав почв.....	24
2.1. Содержание химических элементов в почве.....	24
2.2. Формы соединений химических веществ в почве.....	29
2.3. Химический состав твердой фазы почвы.....	31
2.4. Химический состав газовой фазы почв.....	37
2.5. Химический состав жидкой фазы почв.....	43
3. Основные питательные элементы растений.....	50
3.1. Азот в почвах.....	51
3.2. Фосфор в почвах.....	58
3.3. Калий в почвах.....	63
3.4. Микроэлементы в почвах.....	68
3.5. Регулирование режима питания растений.....	80
3.6. Несбалансированное применение удобрений как фактор деградации почв.....	80
4. Вредные для растений вещества в почве.....	85
4.1. Повышенное содержание подвижного алюминия и марганца.....	85
4.2. Токсичные элементы для растений.....	89
4.3. Радиоактивные элементы.....	96
5. Химическое загрязнение и охрана почв.....	102
Словарь терминов и персоналий (гlossарий).....	115
Библиографический список.....	126
Приложения.....	131

Введение

Учение о химическом составе почв имеет фундаментальное значение. Знания о химическом составе почв лежат в основе практически любых вопросов почвоведения.

Почвоведение - важнейшая дисциплина при подготовке инженеров землеустроителей, агрономов, агрохимиков, агроэкологов и составляет теоретическую основу их практической деятельности. Почвоведение изучает почвы как природные образования и средство сельскохозяйственного производства. Современные ученые-почвоведы исследуют почвенные процессы и режимы с целью классификации и бонитировки почв, разработки мероприятий по повышению почвенного плодородия. Для учета земельных фондов, рационального проектирования сельскохозяйственных объектов специалисты используют почвенные карты, сведения о свойствах почвах и рекомендации по повышению почвенного плодородия. Знание химического состава почв и почвообразующих пород позволяет разрабатывать мероприятия по борьбе с водной эрозией, заболачиванием, подкислением, засолением и другими видами деградации почв.

Химический состав почв является одним из основных факторов почвенного плодородия, как непосредственно, так и определяя те или иные свойства почвы, имеющие решающее значение в жизни растений.

Учебное пособие разработано с целью помочь студентам в усвоении материала по химическому составу почв, который имеет важнейшее значение для познания их генезиса и более глубокой и обоснованной их агроэкологической оценки.

Данное учебное пособие помогает студентам разобраться в многообразии химических соединений в почве и роли отдельных элементов в почвообразовании, плодородии и ухудшении свойств почв; понять из чего складывается и формируется химический состав почвообразующих пород и почв и как он влияет на ее свойства, которые определяют плодородие и качество почв как основного средства сельскохозяйственного производства.

Таким образом, специалист должен знать и уметь использовать знания о химическом составе почв для хозяйственных целей, составления прогноза о степени деградации почв; разработки мероприятий по рациональному использованию земель и охране почв; для построения адаптивно – ландшафтной системы земледелия.

1. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

Основные свойства почвы, определяющие плодородие, зависят от ее химического состава, который в свою очередь напрямую связан с минералогическим составом почвообразующих пород. Химический состав минералов, входящих в почвообразующие породы, играет при этом первостепенную роль.

1.1. Химический состав минералов и почвообразующих пород

В наибольших количествах из щелочных и щелочноземельных элементов в породах присутствуют Na, K, Mg, Ca. Их содержание достигает целых процентов или 0,3-0,9 мг/кг.

Преобладающая часть K и Na сосредоточена в кислых и основных полевых шпатах и слюдах. Натрий - содержится преимущественно в полевых шпатах и фельдгипатитах, а калий - в слюдах и слюдоподобных минералах. Это отражается на их распределении по фракциям механических элементов почвы. Полевые шпаты (первичные минералы) тяготеют к крупным фракциям, тогда как слюдоподобные минералы (вторичные минералы) – тонкодисперсной части почв. Сродство калия к слюдам удерживает его в составе почв и рыхлых горных пород более прочно, чем натрия.

Кальций и магний кроме устойчивых силикатов входят в состав карбонатов и сульфатов. Магний присутствует в слюдоподобных минералах (тальк $H_2Mg_3(SiO_3)_4$ - 23,8 %), слюдах, хлоритах (хризотил $H_4Mg_3Si_2O_9$ - 26,1 %).

По содержанию щелочноземельных и щелочных оснований почвообразующие породы делятся на: засоленные, карбонатные и выщелоченные. В выщелоченных породах содержится не более 1-3 % каждого из оксидов кальция, магния, натрия, калия. Карбонатные породы содержат значительное количество (до 15-20 %) карбонатов кальция. В засоленных породах наряду с $CaCO_3$ много сульфатов и хлоридов кальция, магния и натрия.

Алюминий встречается в породах в виде корунда (Al_2O_3), а в качестве примесей входят Cr, Mn, Fe, Ti; в виде гиббсита $Al(OH)_3$. Высокое содержание Al_2O_3 в составе аллофанов колеблется от 24 до 42 %. Преобладающая часть алюминия представлена силикатами: силлиманит Al_2SiO_5 , мусковит; эпидот; микроклин; ортоклаз; плагиокла-

зы - альбит, анортит; глинистые минералы - группы каолинита, монтмориллонита, хлорита.

Диоксид кремния представлен в породах кварцем, силикатами и алюмосиликатами, т.е. содержится в минералах и первичного и вторичного происхождения.

Железо входит в кристаллические решетки многих первичных и глинистых минералов или образует самостоятельные минералы групп оксидов и гидроксидов, сульфидов, фосфатов, карбонатов. Железо входит в состав пироксенов, оливина, амфиболов, эпидота, граната. Значительные количества железа могут быть представлены слепедами, гидрослюдами (вермикулит, глауконит).

Химический состав глинистых минералов представлен в таблице 1. Так, монтмориллонит и каолинит содержат около 50 % SiO₂. Железа больше содержится в вермикулите и хлорите. Кальцием из глинистых минералов более обогащен монтмориллонит. Натрия в этих минералах содержится очень мало.

Таблица 1

Химический состав глинистых минералов,
% на сухую навеску по Е.Т. Дегенсу (Горбылева А.И., 2002)

Минералы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Монтмориллонит	51,14	19,76	0,83	-	3,22	1,62	0,04	0,11
Каолинит	45,44	38,52	0,80	-	0,08	0,08	0,66	0,14
Иллит	49,26	28,97	2,27	0,58	1,32	0,67	0,13	7,47
Вермикулит	35,92	0,68	10,94	0,82	22,0	0,44	-	-
Хлорит	26,68	25,20	-	8,70	26,96	0,28	-	-

Химический состав почвообразующих пород разнообразен. Так, состав делювиальных отложений определяется составом пород, которыми сложены горы и водоразделы. Он может включать пески, обломки массивно - кристаллических пород, переотложенный лесс, моренные суглинки.

Химический состав морены очень разнообразен (табл. 2). Наиболее распространены морены Балтийского щита, содержащие кислые породы, в которых высокое содержание кремнезема. Карбонатная морена обогащена кальцием, алюминием и содержит меньше кремнезема по сравнению с бескарбонатной мореной.

Покровные суглинки содержат большое количество кремнезема. Свободные карбонаты обычно не входят в их состав.

Таблица 2

Химический состав распространенных почвообразующих пород
по Е.М. Самойловой, А.А. Завалишину, В.Н. Фирсовой, А.А. Роде
(Мамонтов В.Г., 2006)

Порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Красно-бурая морена	70,8	13,5	4,6	2,4	2,2	-	-
Красно-бурая карбонатная морена	52,1	23,5	5,8	13,8	2,6	-	-
Покровный суглинок (Московская обл.)	77,9	12,0	4,7	1,5	0,8	2,6	1,1
Покровный суглинок (Вологодская обл.)	73,8	13,3	5,2	1,5	1,5	1,9	1,7

Химический состав лёссов и лёссовидных суглинков приведен в таблице 3. По химическому составу, исходя из содержания кремнезема, эти породы можно отнести как кислым, так и к средним. По мере движения на юг и на восток Русской равнины вместе с увеличением содержания тонкодисперсных частиц лёссы и лёссовидные суглинки обогащаются железом, алюминием, щелочно-земельными и щелочными элементами.

Таблица 3

Химический состав лёссов и лёссовидных суглинков,
% на прокаленную навеску
по Е.И. Афанасьевой, Б.П. Ахтырцеву, С.С. Неустроеву
(Мамонтов В.Г., 2006)

Район	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Среднерусская возвышенность	76,0	3,8	10,6	5,1	0,8	1,3	2,4
Окско-Донская низменность	70,9	5,8	15,1	1,5	1,5	1,3	2,6
Средняя Азия	51,7	5,1	10,9	13,4	2,6	2,0	2,8

Таким образом, основная масса рыхлых пород состоит из SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃, входящих в состав наиболее распространенных в коре выветривания первичных и вторичных минералов.

Валовой химический состав почвообразующих пород, наиболее распространенных на территории Пермского края, представлен в таблице 4.

Таблица 4

Валовой химический состав почвообразующих пород (% на прокаленную навеску)
(Скрябина О.А., 1998)

Район, номер раз-реза	Горизонт, глубина, см	Источник	Потери при прокаливании	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Покровные глины и суглинки											
Карагайский, 3	С 190-200	Дьяков В.П., 1971	4,9	70,7	15,9	6,3	2,1	1,4	2,0	1,6	0,1
Элювий пермских глин											
Пермский, 116	С 190-200	Чернов В.П., 1971	7,1	62,8	18,5	9,4	4,4	3,2	3,2	1,3	0,2
Уинский, 118	С 200-210	Чернов В.П., 1971	7,3	53,7	20,8	7,1	12,1	5,3	1,0	0,9	0,1
Элювий гипса											
Кунгурский, 192	С 130-140	Чернов В.П., 1974	26,0	33,5	10,6	4,2	44,0	2,0	1,1	0,2	0,1
Флювиогляциальные											
Гаинский, 63	С 140-150	Чернов В.П., 1962	1,5	92,4	4,2	0,8	0,7	0,2	0,5	-	0,02
Озерно-аллювиальные											
Гаинский, 25	С 200-210	Чернов В.П., 1962	0,3	94,2	2,9	0,7	0,7	0,2	0,9	-	0,04
Древнеаллювиальные											
Гаинский, 39	С 200-215	Чернов В.П., 1962	0,3	96,4	1,7	0,5	0,4	0,2	0,5	-	0,02

В песчаных породах преобладающим оксидом является кремнезем, содержание которого достигает 95-97 %; в суглинистых и глинистых породах количество SiO_2 снижается до 50-70 %, а содержание Al_2O_3 и Fe_2O_3 возрастает соответственно до 10-20 % и 4-7 %. Содержание CaO , MgO , K_2O и Na_2O в песчаных породах небольшое, не превышающее в сумме 1-2 %, в суглинистых и глинистых породах количество каждого из оксидов 1-3 %.

Кальций, магний, калий, фосфор и сера являются питательными элементами для растений, поэтому содержание их в породе играет первостепенную роль. Наиболее обеднены этими элементами пески, а в суглинистых и глинистых породах количество биологически активных элементов возрастает.

1.2. Микроэлементы в почвообразующих породах

Известна приуроченность микроэлементов к первичным минералам: Co , Zn , Ni – к авгиту, роговой обманке, биотиту, магнетиту; Cu – к биотиту, апатиту, гранату, авгиту, полевым шпатам; B – к турмалину; Pb – авгиту, апатиту, мусковиту (Парфёнова Е.И., Ярилова Е.А., 1962). Например:

авгит – Ni , Co , Zn , Sc , Cr , V , Pb , Cu , Ga ;
апатит – Sr , F , Pb , редкоземельные элементы;
биотит – Rb , Ba , Ni , Co , Sc , Li , V , Zn , Cu , Ga , F , Sr , Cs , Cr ;
гранат – Cr , Ga , Y , V , Zr , Be ;
диопсид – Cr , V , Ni , Sr , Ba , Sc ;
ильменит – Co , Ni , Cr , V ;
магнетит – Zn , Co , Ni , Cr , V ;
мусковит – F , Rb , Ba , Sr , Ga , V ;
оливин – Ni , Co , Li , Zn , Cu , Mo , Pb ;
ортоклаз – Rb , Ba , Sr , Cu , Ga ;
роговая обманка – Ni , Co , Se , Li , V , Zn , Cu , Ga , Cr , Sr ;
ставролит – Zn ; сфалерит – Zn , Cd , Cu , Sn , In , Ga , Hg ;
титанит – V , Sn , редкоземельные элементы, Cr , Zr , F ;
турмалин – B , Li , F , Ga , Sn , Be , Cu , Cs , Ba , Cr ;
циркон – Zn , Hf , Y , Ce , Nb , Ta , Th , U , Sn , Be ;
шпинель – Cr , V , Se , Zr , Cu , Ni , Co , Sn ;
эпидот – Sr , Cr .

Геохимические провинции микроэлементов – это территории, на которых в поверхностных участках земной коры содержатся различные их количества (пониженные или повышенные). Неодинаковое содержание микроэлементов в геохимических провинциях обусловлено происхождением почвообразующих пород и интенсивностью

проявления элювиального процесса (табл.5). В результате породы различаются по составу и количественному соотношению минералов, содержащих оксиды, соли, и другие соединения микроэлементов как примеси.

Таблица 5

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах, мг/кг по К.В. Веригиной, Ю.И. Добрицкой, Е.Г. Журавлевой (Горбылева А.И., 2002)

Порода	Цинк	Кобальт	Медь	Молибден
Покровные суглинки	51,0	10,5	20,4	3,4
Валунные суглинки	50,4	10,3	20,0	2,9
Флювиогляциальные пески и супеси	12,3	1,5	5,6	1,1
Лессы и лессовидные суглинки	81,1	8,0	24,3	3,6
Юрские глинистые сланцы горного Крыма	138,0	18,0	37,0	3,0
Элювий юрских известняков горного Крыма	73,0	4,5	17,5	5,9
Элювий андезитобазальтовых порфиритов Кавказского побережья	98,0	7,0	56,0	5,4

Продукты выветривания кислых пород (граниты, липариты), бедны Ni, Co, Cu, а продукты выветривания основных пород (базальт, габбро), обогащены этими элементами (табл. 6).

Таблица 6

Среднее содержание микроэлементов в некоторых почвообразующих породах, мг/кг (Ковда В.А., 1985)

Породы	Mn	Co	Cu	Zn	B	Mo	I
Основные магматические	2200	45	140	130	5	1,4	0,5
Кислые магматические	600	5	30	60	17	1,9	0,4
Сланцы	670	23	57	80	100	2	1
Морские глины	до 8000	до 38	до 130	50	230	0,7-0,9	до 200
Лессы и лессовидные суглинки	500	15	25	70	50	3,3	0,7-1,1
Озерно-ледниковые тяжелые суглинки и глины	800	10	25	54	-	-	1
Покровные суглинки	600	10	23	49	18	3,1	0,9-1,0
Суглинистая морена	600	9	20	47	22	2,9	0,9
Супесчаная и песчаная морена	350	6	12	28	20	0,8	0,1
Флювиогляциальные, озерные и древнеаллювиальные пески	200	2	5	14	10	0,8	0,1

Главные почвообразующие породы таежно-лесной, лесостепной и степной зон – морены, покровные и лессовидные суглинки, лесс - содержат примерно одинаковое количество Zn, Co, Cu, Mo, и лишь флювиогляциальные пески и супеси значительно обеднены ими. Мо-

либдена в них меньше в 2-3 раза, а остальных элементов в 4-7 раз. Из коренных пород глинистые сланцы богаче других пород цинком, кобальтом, медью.

В географическом плане содержание микроэлементов в почвообразующих породах Европейской территории России подчиняется зональной дифференциации.

1.3. Минералогический состав почвообразующих пород и почв

В состав почвообразующей породы и почвы входят две группы минералов. Первая представлена первичными минералами, перешедшими в рыхлые породы из магматических и метаморфических без изменений. Вторую группу составляют вторичные минералы, образовавшиеся из первичных под воздействием климатических и биологических факторов. Состав почв во многом определяется химическим составом первичных и вторичных минералов.

Первичные минералы содержатся в частицах более 0,001 мм, сформировавшихся при высокой температуре и давлении в глубоких слоях Земли. Первичные минералы в процессе выветривания трансформируются во вторичные (глинистые) минералы.

Из первичных минералов в почвообразующих породах и почвах чаще всего встречаются кварц SiO_2 , обладающий большой механической прочностью и устойчивостью к химическому выветриванию. Содержание его 40-60 % и более. Из оксидов, в небольших количествах в почвах обнаруживается рутил TiO_2 (0,3-0,5 %), магнетит Fe_3O_4 (0,5-1 %), гематит Fe_2O_3 .

Силикаты представлены в почвах авгитом $\text{Ca}(\text{Mg,Fe,Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$; роговой обманкой $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_4(\text{Al,Fe})[(\text{Si,Al})_4\text{O}_{11}]$; оливином $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (не более 1 %). Силикаты легко разрушаются, общее их содержание колеблется в пределах 5-15 %.

Алюмосиликаты представлены полевыми шпатами и слюдами. Из полевых шпатов чаще всего встречается ортоклаз $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ и микроклин $(\text{K,Na})_2\text{Al}_2\text{O}_{16}$. Общее их содержание достигает 20 % и более. Реже встречаются плагиоклазы (1-3 %), так как менее устойчивы к выветриванию. Из слюд наиболее распространены мусковит $\text{KAl}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ и биотит $\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH,F}]_2$. Слюды легко дробятся. Содержание слюды достигает 10 %.

Первичные фосфаты представлены апатитом $\text{Ca}_5(\text{Cl,F})(\text{PO}_4)_3$. Он содержится повсеместно во всех почвах в количестве 0,3-0,5 %.

Кроме перечисленных, в породах встречаются минералы, в составе которых содержатся редкие и рассеянные химические элементы

(Cu, Cr, Co, Mo и др.). Например, Mo - в виде молибденита (MoS_2); в составе турмалинов $\text{R}_3\text{AL}_6(\text{OH},\text{F})_4(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$, где $\text{R}=\text{Fe}^{2+}$, Mg, Li, Al, Mn; Cr - в виде хромита FeCrO_4 ; F - в составе слюд, фторапатита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$; Mn - в силикатах (родонит MnSiO_3), карбонатах (родохрозит MnCO_3). А также в таких минералах, как пирролюзит β - MnO_2 , псиломеланы $(\text{Ba},\text{H}_2\text{O})_2\text{Mn}_5\text{O}_{10}$, манганит γ - MnOOH , гаусманит MnMn_2O_4 , браунит Mn_2O_3 , якобит MnFe_2O_4 , бернессит $(\text{Ca},\text{Mg},\text{Ni},\text{K})(\text{Mn}^{4+},\text{Mn}^{2+})(\text{O},\text{OH})_2$, литиофорит $(\text{Al},\text{Li})(\text{OH})_2\cdot\text{MnO}_2$, голландит $\text{Ba}_2\text{Mn}_8\text{O}_{16}$; тодорокит $\text{Mn}^{2+}\cdot\text{Mn}_3^{4+}\cdot\text{O}_7\cdot x\text{H}_2\text{O}$, где Mn^{2+} - Mn, Zn, Mg, Ba, Cr, Ca, Pb, Na.

Устойчивые первичные минералы остаются в почве, формируя ее скелет, гранулометрический состав, а менее устойчивые – трансформируются во вторичные минералы. Из устойчивых первичных минералов наибольший агрономический интерес представляют полевые шпаты, слюда, кварц.

Полевые шпаты – наиболее распространенные в почвах и породах минералы. Они являются источником образования глинистых минералов. Полевые шпаты включают следующие количества питательных элементов: калиевые полевые шпаты содержат 10-12 % K_2O , 3-5 % CaO ; плагиоклазы 9-12 % CaO , и 1-2 % K_2O . Из полевых шпатов калий усваивается лишь в том случае, когда частицы минерала измельчены до размера менее 0,001 мм.

Слюды так же широко распространены в породах и почвах. Значительное количество слюд содержится в аллювиальных почвах, почвах пустынь, во всех взвесах рек и ирригационных наносах. В зоне влажного субтропического климата количество слюд меньше. Слюды имеют большое значение для агрохимических и физических свойств почв. Слюды содержат (в среднем): мусковит 10 % K_2O , 1 % MgO , 2-3 % $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$; биотит – 8 % K_2O , 9 % MgO , 23 % $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$. Если в почве много крупнозернистых слюд, то они увеличивают водо- и воздухопроницаемость почвы. Емкость катионного обмена слюд зависит от степени их дисперсности и колеблется от 10 до 30 мг-экв/100г.

Кварц встречается в пылевой и более крупных фракциях даже самых древних почв. В предколлоидной и коллоидной фракциях кварц встречается часто, но в небольших количествах (2-3 %). Значение кварца для свойств почв очень велико. От количества и размера его зерен зависит гранулометрический состав почв и физические свойства: влагоемкость, водопроницаемость, связность. В поглощении катионов кварц участия не принимает. Распространенность кварца на 80-90 % определяет валовой химический состав почв.

Пироксены и амфиболы занимают в литосфере по массе второе место после полевых шпатов (около 17 %). Амфиболы относятся к группе роговых обманок, встречающихся в изверженных, осадочных, метаморфических породах и почвах. Это магниевые силикаты, содержащие небольшое количество алюминия и железа. При выветривании могут превратиться в другие минералы. Пироксены встречаются в магматических и метаморфических породах. Типичным представителем является авгит – породообразующий минерал основных и ультраосновных пород. В почвах и осадочных породах пироксены и амфиболы присутствуют в небольших количествах, в связи с низкой устойчивостью к выветриванию.

Первичные минералы, находящиеся в почвообразующих породах и почвах, продолжают преобразовываться физически и химически. В их выветривании принимают активное участие живые организмы. Скорость процессов выветривания и образования вторичных минералов обусловлена составом первичных минералов и биоклиматическими условиями. Почвообразующая порода и почвы обогащаются вторичными минералами.

Значение первичных минералов разносторонне: от их количества зависят агрофизические свойства почв, они являются материалом для образования вторичных минералов и резервным источником зольных элементов питания растений. Так, апатит богат фосфором, слюды и калиевые полевые шпаты - калием, средние и основные плагиоклазы - кальцием. Такие минералы, как авгит, роговая обманка, биотит и хлорит, при трансформации обогащают почву железом в подвижной форме. Многие первичные минералы (авгит, биотит, оливин, роговая обманка, ортоклаз и др.) считаются важным источником микроэлементов - цинка, меди, никеля, кобальта.

В то же время первичные минералы характеризуются небольшими величинами удельной поверхности и имеют очень слабую способность к обменному поглощению катионов. У полевых шпатов ЕКО составляет 1-5 мг-экв/100 г, у слюд - 3-8 мг-экв/100 г, у кварца практически отсутствует. Поэтому у почв с высоким содержанием первичных минералов (песчаных и супесчаных) невысокая поглощательная способность, что не способствует закреплению в них гумуса и биофильных элементов, низкая буферность.

Первичные минералы непосредственно влияют на физические свойства почвы. При высоком содержании первичных минералов почвы рыхлые, отличаются высокой воздухо- и водопроницаемостью, но низкой влагоемкостью.

Вторичные минералы представлены частицами меньше 0,001 мм. Образовались на поверхности Земли и в почве в результате трансформации первичных минералов.

Ученые выделяют следующие пути образования вторичных минералов в процессе выветривания.

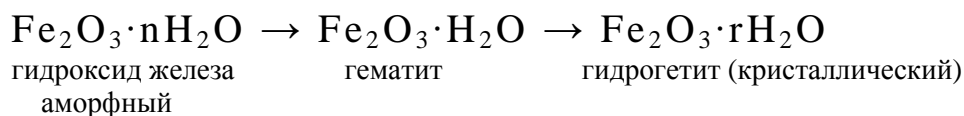
1. Кристаллизация твердых минералов (минералы простых солей) из раствора. Это самый распространенный путь. Он заключается в том, что соли, находящиеся в растворенном состоянии, при испарении воды или понижении температуры кристаллизуются. В условиях сухого климата в почве и материнской породе накапливается галит (NaCl), мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), сода ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), кальцит (CaCO_3), магнезит (MgCO_3) доломит ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)$). Количество перечисленных минералов в почве и их состав определяют степень и характер засоления, формирование горизонтов, насыщенных карбонатом кальция, гипсом. Минералы-соли встречаются в качестве примесей к глинистым минералам. Соли могут присутствовать как в растворенном состоянии, так и в форме окристаллизованных минералов.

Количество солей, формы их выделений, характер расположения и превращения отражают почвообразовательные процессы. Минералы-соли имеют значение для свойств почв сухостепной, полупустынной и пустынной зон.

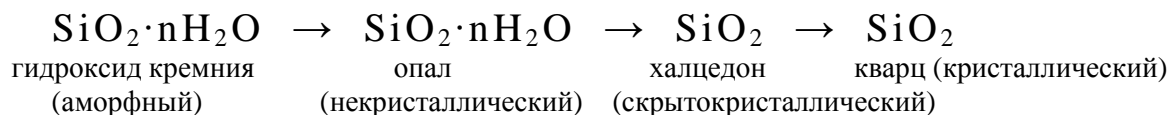
2. Кристаллизация твердых аморфных веществ (минералы класса гидроксидов и оксидов). Образование минералов таким способом широко распространено. Эта группа вторичных минералов, широко распространенная во всех почвенно-климатических зонах, складывается из гидроксидов и оксидов кремния ($2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), и марганца ($\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Содержание их в породах и почвах достигает 10 % и более. Значительное распространение имеет гетит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), гематит Fe_2O_3 , гидрогетит (лимонит) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, гиббсит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Желтая, бурая и красная окраска пород и некоторых генетических горизонтов почв обусловлена накоплением минералов гидроксидов железа разной степени гидратации.

В дерново-подзолистых почвах и в почвах различной степени оглеенности часто встречаются новообразования в форме конкреций, ортштейнов, ортзандов. В этих новообразованиях создаются условия для кристаллизации гидроксидов железа. Кристаллизация осуществляется при высушивании железистых новообразований, проморажи-

вании, окислительных условиях среды, высокой температуре. Например:



Гидроксид кремния - опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), по мере старения кристаллизуясь, переходит в халцедон и кварц.



Степень кристаллизации минералов определяет их растворимость: чем больше окристаллизованность соединений железа, алюминия, кремния, тем меньше их растворимость. На растворимость существенное влияние оказывает реакция среды: при $\text{pH} < 5$ в ионную форму переходит алюминий; при $\text{pH} < 3$ – трехвалентное железо; при $\text{pH} > 9$ повышается растворимость SiO_2 .

3. Гидролиз, гидратация и дегидратация, окислительно-восстановительные реакции, диспергирование, изоморфные замещения первичных и вторичных минералов. В результате этих реакций образуется третья группа вторичных минералов, встречающаяся в почвах. Она состоит из глинистых минералов, которые составляют основную массу рыхлых пород и почв и являются важной составной их частью. Глинистые минералы могут быть кристаллическими и аморфными. Их подразделяют на несколько групп.

К минералам монтмориллонитовой группы относятся монтмориллонит $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, нонтронит $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, соконит, сапонит. Эти минералы тонкодисперсны с преобладанием частиц коллоидных размеров. Минералы этой группы широко распространены в почвах, глинах, морских осадках, речных отложениях. В черноземах минералы этой группы доминируют. Монтмориллонит образуется из слюд, гидрослюд, вермикулитов, хлоритов, вулканического стекла, аллофанов. Этот процесс обратим. Монтмориллонит обладает высокой дисперсностью: 40 – 50 % коллоидных частиц ($< 0,0001$ мм) и 60 – 50 % частиц $< 0,001$ мм. Емкость поглощения этого минерала достигает 120 мг-экв/100 г. Воднo-физические свойства минералов монтмориллонитовой группы неблагоприятны. При увлажнении они сильно набухают, становятся слабо-водопроницаемыми, липкими, при высыхании сильно уплотняются,

растрескиваются. Однако при сочетании с гуминовыми кислотами и насыщенными ионами кальция монтмориллонитовые породы образуют водопрочные агрегаты, формируют агрономически ценную структуру почв.

Такие свойства, как поглотительная способность, емкость поглощения катионов, набухание, липкость, водопроницаемость, максимальная гигроскопичность, твердость определяются монтмориллонитом.

К минералам каолиновой группы относятся каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, гауллазит, диккит, накрит. Каолинит может образовываться в коре выветривания до почвообразования в процессе гидролиза по схеме: полевой шпат \rightarrow серицит \rightarrow гидрослюда \rightarrow монтмориллонит \rightarrow каолинит (переходит в процессе диспергирования в галлуазит). Каолинит образуется и при выветривании гранитов и базальтов. Необходимым условием формирования каолинита в почвах является вымывание кремнезема из профиля почвы. Почвы, содержащие в значительных количествах каолиновые минералы, бедны K, Mg, Ca. Дисперсность его невысока. Емкость поглощения не превышает 25 мг-экв/100 г (фракция $<0,001$ мм). Преобладание каолинита в почве обуславливает ряд благоприятных физических свойств: хорошую водопроницаемость, небольшую липкость. Это определяет и бедность почвы основаниями.

Каолинит в почвах встречается в небольшом количестве, за исключением почв субтропической и тропической зон – латеритов, в том числе красноземов, желтоземов. Если почвы сформированы на элювии древних изверженных пород, то в них каолинит встречается в больших количествах. Ему часто сопутствуют кварц, галлуазит, аллофаны, гиббсит, гетит, аморфные SiO_2 и R_2O_3 . В четвертичных отложениях и в развитых на них почвах, в том числе и в дерново-подзолистых, каолинит обнаружен в незначительном количестве.

Гидрослюды – группа вторичных минералов переменного химического состава. Они образуются путем гидратации слюд. Эти минералы широко распространены в осадочных породах, в илистой, коллоидной фракциях почв.

Гидромусковит - $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$, гидробиотит $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2 \cdot nH_2O$ присутствуют практически во всех почвах, а вермикулит $(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+})_3[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$ в глинистых породах и почвах встречается редко.

В значительном, а иногда преобладающем количестве гидрослюды присутствуют в илистой фракции почв пустынь, полупустынь,

взвесах рек. Гидрослюды часто преобладают над другими глинистыми минералами в илистой фракции подзолистых почв и сероземов.

Источником образования гидрослюд в почвах являются слюды и полевые шпаты, а вермикулита – биотит, хлорит, флогопит. Размер частиц у гидрослюд $<0,01$ мм; значительная часть их находится во фракции ила. Относительно большое содержание гидрослюд и степень их дисперсности существенно влияют на свойства почвы: поглонительную способность, фильтрацию воды и содержание связанной воды. По физико-химическим свойствам гидрослюды занимают положение между слюдами и монтмориллонитом. Почвы, богатые гидрослюдами, хорошо обеспечивают калийное и магниевое питание большинства растений за счет входящих в гидрослюды K_2O и MgO . Емкость катионного обмена гидрослюд не превышает 20-35 мг-экв/100 г фракции менее 0,001мм.

Хлориты – это листовые силикаты, содержащие магний, железо, хром. Широко распространены в почвах и породах. Структура хлоритов напоминает структуру слюд. Хлориты обнаружены во фракции менее 0,001 мм и более крупных. Представители хлоритов: клинохлор, прохлорит, шамозит. Хлориты богаты магнием (до 31 %), железом, алюминием, а также могут содержать Mn, Cr, Ni, Ti, V, Cu, Zn, Li.

Минералы группы аллофана ($mAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot pH_2O$) и аморфные вещества – это коллоидные продукты выветривания, представляющие собой опаловидные, каолиноподобные неопределенного состава образования. В их состав обычно входит фосфор (около 10 %).

Аллофаны образуются из продуктов распада других минералов и минеральных элементов, входящих в состав растительных остатков. Кроме основных компонентов - кремния и алюминия - они содержат железо, титан, кальций и другие элементы. При увлажнении аллофаны набухают. Емкость обмена составляет 50-100 мг-экв/100 г. Ионообменные свойства по отношению к катионам возрастают с увеличением pH. В кислой среде эти минералы способны к обменному поглощению анионов.

Аллофаны способны связывать фосфат-ионы, снижают объемную массу, повышают пластичность, водоудерживающую способность почв, придают гидрофильность почвам, влияют на емкость поглощения катионов, липкость, набухание, связность.

В почвах и глинах встречаются не только кристаллические минералы, но также переходные от кристаллических к аморфным и полностью *аморфные вещества*. К ним относятся вулканические туфы,

аморфный кремнезем, гели полуторных оксидов, органические вещества. Аморфные вещества образуются в почвах в результате выветривания первичных алюмосиликатов, из растительных остатков, при выпадении из раствора минеральных и органно-минеральных веществ. В микроскопе аморфные вещества видны часто в форме агрегатов и скоплений неопределенной формы.

Значение аморфных высокодисперсных веществ для свойств почвы велико. От содержания и природы аморфных веществ зависит максимальная гигроскопичность, которая является показателем гидрофильности почвы и доступности воды растениям. От содержания аморфных веществ увеличивается набухание, водопроницаемость, липкость, гидрофильность. Поглотительная способность почв по отношению к катионам может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от химического и минералогического состава аморфных веществ. Например, аморфные кремнезем и полуторные оксиды не поглощают катионы, поэтому их присутствие в почве снижает емкость поглощения катионов.

Смешанослойные минералы – смесь индивидуальных минералов – (например, гидрослюды - монтмориллонит) формируются в результате переслаивания пакетов различных минералов. Они широко распространены в почвах.

Вторичные минералы оказывают большое и разностороннее влияние на свойства почв и во многом определяют их плодородие. Так же, как и первичные, они являются важнейшим источником многих элементов минерального питания растений. Большое количество гидрослюд - признак богатства почв калием. В состав вторичных минералов входят такие биофильные элементы, как кальций, магний, железо. Источниками серы являются гипс, мирабилит. Соли (сульфаты, хлориды, карбонаты) влияют на реакцию среды и состав почвенного раствора. Их избыток приводит к засолению и осолонцеванию почв, что отрицательно сказывается на плодородии.

Глинистые минералы - наиболее активная и реакционноспособная часть твердой фазы почв. На поверхности глинистых минералов происходят разнообразные процессы и реакции: сорбции, десорбции, обмена катионов, гидратации и дегидратации, взаимодействия с органическими веществами специфической и неспецифической природой, гербицидами и т.п.

Содержание и состав глинистых минералов определяют многие важнейшие свойства почв: емкость поглощения, буферность водно-физические свойства (набухаемость, липкость, пластичность, фильт-

рацию и т.д.), обеспеченность макро- и микроэлементы доступной формы. Способность к необменному поглощению калия и алюминия; влияют на деятельность микроорганизмов и активность ферментов.

Итак, разные механические фракции ($> 0,001$ и $< 0,001$ мм) минеральной части почвообразующих пород и почв различаются между собой по минералогическому и химическому составу. В песке и крупной пыли преобладают кварц и полевые шпаты. В более мелких фракциях (средней и мелкой пыли) количество этих минералов уменьшается, а содержание слюд и роговых обманок увеличивается. Мелкодисперсная ($< 0,001$ мм) илистая и коллоидная фракции состоят главным образом из вторичных минералов.

В связи с разным минералогическим составом отдельные механические фракции различаются и по химическому составу. Более крупные песчаные и пылеватые частицы содержат больше кремния и меньше алюминия и железа. С уменьшением размера частиц снижается количество кремния и увеличивается содержание алюминия и железа, а также калия, кальция, магния и фосфора. В связи с этим, песчаные и супесчаные почвы состоят из кварца и полевых шпатов, суглинистые – из смеси первичных и вторичных минералов, а глинистые – преимущественно из вторичных глинистых минералов с примесью кварца.

Химический состав почвообразующей породы отражает и ее минералогический состав, который представлен различным соотношением первичных и вторичных минералов.

В таежно-лесной зоне и на севере лесостепной в европейской части России широко распространены моренные отложения в качестве почвообразующих. Песчано-пылевая фракция морен представлена кварцем (до 80 %), полевыми шпатами (15-20 %), слюдами (3-4 %); глинистая - монтмориллонитом, гидрослюдами, хлоритами.

Минералогический состав флювиогляциальных отложений представлен на 94,86 % кварцем, полевым шпатом, плагиоклазом и на 5,14 % - цирконом, турмалином, роговой обманкой, хлоритом, мусковитом, биотитом.

Покровные суглинки широко распространены в европейской части России, в Центральной и Северо-Западной Европе. Покровные суглинки содержат кварц (35-40 %), полевые шпаты (10-15 %), тяжелые минералы (2-5 %), глинистые минералы (преобладают гидрослюды, монтмориллонит, каолинит и смешанослойные гидрослюдисто-монтмориллонитовые образования).

Минералогический анализ ила в составе пермской глины показал, что она состоит из монтмориллонита (преобладает), каолинита, гидрослюда, хлорита.

Лёссы и лёссовидные породы везде (в Западной Европе, на Русской равнине, в Средней Азии и Северной Америке) имеют сходный минералогический состав. Они содержат кварц (50-70 %), калий-натриевые полевые шпаты (10-20 %), карбонаты кальция и магния (5-20 %), а также небольшое количество тяжелых минералов — циркона, ильменита, амфиболов и др. Среди глинистых минералов илистой фракции доминируют гидрослюды (50-60 %) и смешанослойные слюдино-монтмориллонитовые образования (30-40 %). В незначительных количествах (около 10 %) присутствуют хлорит и каолинит. Лёссы и лёссовидные суглинки, особенно в засушливых регионах, содержат легкорастворимые соли (0,03-1,00 %) и гипс.

Во всех природных зонах встречаются известняковые породы, на которых формируются рендзины (дерново-карбонатные почвы). Известняки – осадочные горные породы, состоящие в основном из кальцита, с присутствием арагонита (CaCO_3). Примесями известняков являются доломит, кварц, глинистые минералы, оксиды железа и марганца, а также фосфаты, гипс, органические вещества. Л.О. Карпачевский (2005) для среднего состава известняка приводит такие данные: TiO_2 – 0,81, MnO – 0,05, K_2O – 0,33, Na_2O – 0,05, P_2O_5 – 0,04 %. Такой состав подчёркивает экологическую оптимальность минерального состава известняков.

При содержании в известняках от 4 до 17 % MgO их называют доломитизированными, при большем содержании – доломитами.

Мергель состоит из 30-90 % CaCO_3 (кальцита) и MgCO_3 (доломита), 10-70 % глинистых частиц. В природе мергель встречается во всех геологических системах.

Меловая порода состоит из кальцитовых скелетов микроорганизмов и следующих минералов: кальцит – 90-99 %, монтмориллонит, гидрослюды и каолинит – 1-8 %, пирит – 0,01-01 %, глауконит – 0,1-0,5 %, кварц – 0,2-0,6 %, опал – 0,01-7,0 % (Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., 2007)

Закономерности распространения глинистых минералов всегда интересовали исследователей. Установлено, что строгой приуроченности вторичных минералов к типам почв нет. Это объясняется влиянием на минералогический состав большого количества факторов: минералогического и химического состава почвообразующей породы, биоклиматических условий почвообразования, реакции и окислитель-

но-восстановительного потенциала среды, условий дренажа, наличия в среде органических соединений. Одни и те же минералы могут присутствовать в разных типах почв и наоборот, разные минералы в одном и том же типе почв.

В различных по генезису почвах могут присутствовать одинаковые группы минералов, что объясняется генетической связью глинистых минералов, их взаимными превращениями, составом и возрастом пород. Минералогический состав фракций $< 0,001$ мм главных типов почв и пород представлен в таблице 7. Почвы наследуют геохимические черты почвообразующих пород: на песчаных, богатых кварцем, почвы обогащены кремнеземом, на лессе - кальцием, на засоленных породах - солями. Чтобы подчеркнуть значение породы, представлены данные для почв, развитых на разных породах.

Главные источники образования глинистых минералов одни и те же. Больше 75-85 % первичных минералов представлено полевыми шпатами, слюдами, хлоритами, пироксенами, роговыми обманками и кварцем. Из глинистых минералов в почвах часто встречаются минералы монтмориллонитовой группы (монтмориллонит, бейделлит, нонтронит), гидрослюдистой и каолиновой (каолинит, галлуазит) групп. Иногда присутствуют гетит, гипс, вермикулит, хлориты, палыгорскит, цеолиты. Почти всегда присутствуют аморфные вещества: полуторные оксиды, кремнезем. Приведенные данные свидетельствуют о том, что почвы, формирующиеся на выветренных, рыхлых и минеральных породах, имеют близкий к ним минералогический состав.

Почвообразование частично изменяет минералогический состав. Различие состоит преимущественно в количестве минералов в горизонтах профиля. В почве одновременно протекают два противоположных процесса: образование и разрушение минералов. Скорость разрушения минералов зависит от многих причин. Сухой климат будет тормозить выветривание и разрушение, а нейтральная – замедляет; разрушение основных пород протекает быстрее, чем кислых; в илистой и более крупных фракциях могут преобладать одни и те же минералы, в коллоидной – другие. Например, в дерново-подзолистых почвах, сформировавшихся на молодых породах, каолинит встречается в небольшом количестве. Если эти почвы образовались на древних породах, то минералы каолиновой группы преобладают. Повышенное количество каолинита встречается в молодых почвах легкого гранулометрического состава, а также в подзолистом и надсолонцовом горизонтах, в сравнении с нижележащими.

Таблица 7

Минералогический состав почв и пород во фракции < 0,001 мм
(Горбунов Н.И., 1974)

Почва и порода	Минералы
Дерново-подзолистая на ледниковых глинах	Гидрослюды, каолинит, вермикулит, хлорит, кварц, к низу количество гидрослюд увеличивается, а каолинита, хлорита уменьшается; R_2O_3
Дерново-подзолистая на древнеаллювиальных песках	Вермикулит, гидрослюды, каолинит, хлорит, кварц, R_2O_3 ; распределение минералов по профилю неравномерное
Древнеаллювиальные пески	Гидрослюды, вермикулит, каолинит, хлорит, кварц, R_2O_3
Дерново-подзолистая на моренном суглинке	Гидрослюды, каолинит, вермикулит, хлорит, кварц. Количество вермикулита, каолинита, хлорита к низу уменьшается, а гидрослюд увеличивается
Морена	Монтмориллонит, гидрослюды, хлорит
Дерново-подзолистая на карбонатной породе	Монтмориллонит, гидрослюды, каолинит, хлорит, кварц, распределение по профилю равномерное
Дерново-подзолистая на покровном суглинке	Гидрослюды, гидрослюдо-монтмориллонит смешанно-слоистый, монтмориллонит (книзу увеличивается), хлорит, кварц, R_2O_3
Покровный суглинок	Монтмориллонит, гидрослюды
Дерново-подзолистая на элювии гранита	Гидрослюды, каолинит, монтмориллонит, хлорит, кварц, R_2O_3
Элювий гранита	Гидрослюды, монтмориллонит, каолинит
Серая лесная на покровных суглинках	Гидрослюды, гидрослюдо-монтмориллонит смешанно-слоистый, монтмориллонит, каолинит, кварц, хлорит, R_2O_3
Чернозем на лессе	Монтмориллонит, гидрослюды, каолинит, кварц; к низу количество монтмориллонита увеличивается
Лесс	Монтмориллонит, гидрослюды, карбонаты
Чернозем на элювии мела	Карбонаты, гидрослюды, палыгорксит
Элювий мела	Карбонаты, гидрослюды
Чернозем на красно- бурой древней глине	Гидрослюды, каолинит, монтмориллонит, кварц, R_2O_3
Красно-бурая глина	Гидрослюды, монтмориллонит, каолинит
Серозем на лессе, такыры	Гидрослюды, монтмориллонит, хлорит, иногда каолинит, палыгорксит, кварц, карбонаты
Краснозем на элювии андезито-базальта и базальта	Каолинит, гетит, хлорит, гиббсит, иногда хлорит – гидрослюды смешаннослоистые, R_2O_3
Краснозем на элювии гранита	Гидрослюды, каолинит, гетит, гиббсит, иногда хлорит, аморфные R_2O_3 , кварц

Качественные различия минералогических ассоциаций в почвах четко видны в генетических горизонтах подзолов, солонцов, а небольшие изменения - и в других почвах при эрозионных процессах, оглеении, слабом оподзоливании, орошении.

Вопросы и задания для проверки знаний

1. Какие элементы присутствуют в минералах и в каких количествах?
2. Какие химические элементы преобладают в почвообразующих породах?
3. Опишите валовой химический состав почвообразующих пород Пермского края.
4. Опишите микроэлементный состав почвообразующих пород.
5. Какие основные группы первичных минералов наиболее широко представлены в почвах?
6. Каково значение первичных минералов для почвообразования и формирования почвенного плодородия?
7. Какие минералы относятся к вторичным? Как и из чего образуются вторичные минералы?
8. Чем отличаются первичные минералы от вторичных?
9. Расскажите о свойствах и особенностях глинистых минералов. Какие минералы относятся к глинистым и какое влияние они оказывают на свойства почв?
10. Дайте характеристику минералам простых солей, оксидам и гидроксидам, аллофанам.
11. Какова роль вторичных минералов в генезисе и плодородии почв?
12. Чем определяется устойчивость минералов в почвах и корках выветривания?
13. Опишите минералогический состав почвообразующих пород и как он изменяется в процессе почвообразования?
14. От чего зависит минералогический состав почв?

2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ

2.1 Содержание химических элементов в почве

Почва является четырехфазной системой. Она включает твердую, жидкую, газообразную и живую фазы. Каждая фаза имеет специфический химический состав.

Почвы содержат практически все природные элементы Периодической системы Д.И. Менделеева. По набору элементов и их количественному содержанию они существенно отличаются от живых организмов, минералов и горных пород, за исключением некоторых рыхлых осадочных пород. Живые организмы состоят главным образом из элементов-органогенов – С, N, H, O, P, S; минеральные компоненты входят в их состав в небольших количествах. Индивидуальные минералы содержат небольшой набор элементов: в оксиды входят по два элемента, простейшие силикаты содержат 5-7, иногда 9-11 элементов. Минералы-соли состоят из 2-5 элементов. В состав почв входит большое количество химических элементов в виде различных соединений. В почвах практически все входящие в их состав элементы являются обязательными и необходимыми.

Почвы, формирующиеся из минеральной массы пород коры выветривания, имеют близкий к ним средний химический состав. Содержание химических элементов в земной коре, почвах и организмах приведено в таблице 8.

Минеральная часть почвы в основном состоит из кислорода и кремния. Затем, в убывающем порядке идут алюминий и железо, кальций, калий, натрий и магний. Эти восемь элементов в сумме составляют около 99 % минеральной части почв и почвообразующих пород. Около 1 % приходится на все остальные элементы. Среди них повышенное содержание имеют титан, фосфор, марганец, сера и хлор, водород и углерод. Очень незначительную часть почвы занимают медь, цинк, молибден, бор, свинец и др.

В составе почв больше, чем в земной коре содержится углерода (в 20 раз) и азота (в 10 раз), что связано с деятельностью живых организмов и их биологическими накоплениями в составе органических веществ. Также больше в почвах, чем в земной коре, содержится кислорода, водорода и кремния и меньше - алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия и других металлов, что связано с процессами выветривания и почвообразования. В результате этих процессов относительно накапливается кремний в составе минералов и, прежде все-

го, кварц, а за пределы почвенного профиля выносятся алюминий, железо и другие элементы.

Таблица 8

Средний химический элементный состав земной коры, почв и организмов суши, % массы (Виноградов А.П., 1959)

Элемент	Содержание		
	в земной коре	в почвах *	в организмах
O	47,2	55,0	70.0
Si	27,6	33,0	0.15
Al	8,8	7,13	0.02
Fe	5,1	3,8	0.02
Ca	3,6	1,37	0.5
Na	2,64	0,63	0.02
K	2,6	1,36	0.07
Mg	2,1	0,63	–
H	0,15	5,0	10.5
C	0,1	2,0	18.0
S	0,095	0,085	0.05
Mn	0,09	0,085	$7 \cdot 10^{-3}$
P	0,078	0,08	0.07
Cl	0,045	0,01	0.04
N	0,01	0,1	0.3
Cu	0,01	0,002	0.0001
Co	0,003	0,0008	0,00001
B	0,0003	0,001	0,001
Zn	0,005	0,005	0.0003
Ti	0,6	0,46	$8 \cdot 10^{-4}$

Примечание: * - при естественной влажности.

Средний элементный состав метрового слоя некоторых важнейших почв приведен в таблице 9. Усреднение элементного состава метровой толщи дает очень обобщенное представление о роли отдельных элементов. Особенно сильно профильная дифференциация сказывается на элементном составе в тех случаях, когда в профиле формируются органогенные, элювиальные, карбонатные и засоленные горизонты. Резко выражено влияние гранулометрического состава. Интервалы содержания отдельных элементов довольно широки. Несмотря на значительные колебания, для каждого элемента выявляется типичный интервал концентраций.

Элементный состав почв зависит от гранулометрического состава, типа почвы и горизонта, специфических свойств химического элемента. Так, в легких почвах повышена концентрация Si и снижена доля прочих элементов. Углерод карбонатов характерен только для непромывных почв на карбонатных породах.

Таблица 9

Средний элементный состав метрового слоя почв Европейской части России,
% на абсолютно сухую навеску (Кудрин С.А., 1963)

Почвы	O	H	C		N	P	S	Si	Al	Fe	Ti	Mn	Ca	Mg	K	Na
			гумуса	карб.												
Тундровые	47,8	0,25	3,49	нет	0,125	0,105	–	29,7	6,65	3,58	0,24	0,29	2,14	0,90	2,07	1,88
Торфяные	36,8	5,33	53,33	нет	1,900	0,200	0,240	1,00	0,12	0,50	–	0,05	1,20	0,13	0,30	0,07
Подзолистые:																
суглинистые	49,6	0,06	0,66	нет	0,080	0,054	0,031	34,86	6,33	3,02	0,28	0,20	0,78	0,72	2,04	1,28
супесчаные	50,7	0,05	0,67	нет	0,066	0,022	0,020	39,57	4,31	1,16	–	–	0,58	0,70	1,81	0,90
песчаные	52,2	0,04	0,64	нет	0,060	0,022	0,026	43,77	1,72	0,55	–	0,06	0,28	0,09	0,33	0,16
Подзолисто- глеевые	49,1	0,08	1,12	нет	–	0,105	0,056	33,85	6,98	3,11	–	0,20	0,80	0,60	2,50	1,43
Серые лесные	49,3	0,09	1,25	0,04	0,115	0,044	0,076	33,45	6,67	3,80	0,45	0,06	1,24	1,02	1,60	0,76
Черноземы:																
выщелоченные	49,9	0,17	2,36	0,1	0,200	0,061	0,018	31,94	6,84	3,79	0,52	0,08	1,22	0,82	1,38	0,68
типичные	48,0	0,22	3,09	0,30	0,200	0,100	0,136	31,28	7,09	3,71	0,36	0,16	2,00	0,97	1,71	0,83
обыкновенные	49,3	0,15	2,05	0,48	0,200	0,070	0,168	31,32	6,88	3,69	0,47	0,05	2,47	1,00	1,32	0,57
южные	49,4	0,11	1,50	0,67	0,200	0,064	0,220	31,23	6,40	3,04	0,50	0,02	4,20	1,19	0,97	0,44
Каштановые	48,8	0,08	1,15	0,86	0,115	0,067	0,194	29,90	6,53	3,64	0,51	0,18	3,7	1,09	1,58	1,06
Красноземы	48,4	0,13	1,81	нет	0,110	0,079	–	21,50	14,15	11,50	–	0,18	0,34	0,93	0,23	0,08
Сероземы	50,0	0,04	0,50	1,24	0,070	0,074	0,080	25,86	7,21	3,89	–	0,20	5,04	1,44	1,80	1,16
Почва в среднем	49,1	0,10	1,40	0,24	–	0,06	0,09	32,94	6,60	3,24	0,38	0,16	1,76	0,92	1,70	1,02
Материнские породы (сугл. и глинистые)	51,0	0,10	нет	0,40	–	0,04	0,03	33,00	6,25	3,30	–	0,10	2,05	0,91	1,91	1,00

Сера ведет себя сходно с неорганическим углеродом. Резко отличны от других почв по составу красноземы, в них понижена доля Si и повышено содержание Al и Fe. По сравнению со средним составом пород почвы относительно обогащены органическим углеродом, азотом, фосфором, серой, то есть биогенными элементами, накапливающимися с гумусом.

Такие элементы, как Si, Al, Fe, Mg, K, Na практически унаследованы от почвообразующей породы, но в процессе почвообразования они перераспределяются в почвенной толще. Поэтому их среднее содержание в метровой толще близко к среднему содержанию в материнских породах. Обособленное место занимают элементы, образующие простые соли (CaSO_4 , CaCO_3 , MgSO_4 , NaCl , NaHCO_3), они выносятся за пределы почвенного профиля в элювиальных ландшафтах или накапливаются в бессточных понижениях. Их распределение в профиле почв и ландшафтах обусловлено характером водного режима.

Характеристика валового состава почвы основывается на данных валового анализа. Валовой состав минеральной части почвы выражают в виде процентного содержания оксидов элементов. Валовой анализ дает представление об элементарном составе почвы – о содержании элементов, входящих в состав минеральной части почвы, о распределении их по профилю. Это позволяет судить о генезисе почвы, процессах формирующих горизонты, а также, о ее потенциальном плодородии.

В большинстве типов почв преобладают оксиды кремния (SiO_2). Содержание их в среднем составляет 60-70 %, с колебанием от 30 % в ферраллитных почвах тропиков до 95 % в песчаных почвах. На долю алюминия, приходится в среднем 15-20 %, с колебаниями от 1-2 % в песчаных почвах до 50 % и более - в ферраллитных почвах тропиков. Валовое содержание Fe_2O_3 колеблется в очень широких пределах – от 0,5-1 % в кварцево-песчаных почвах и 3-5 % в почвах на лессах до 8-10 % на элювии плотных ферромагнезиальных пород и 20-50 % в ферраллитных почвах и латеритах тропиков. Валовое содержание оксидов кальция, магния, натрия и калия в среднем составляет 5-6 %, с колебаниями от 1-2 % в песчаных до 20 % и более в засоленных почвах и в почвах, формирующихся на породах с повышенным содержанием карбонатов. Содержание остальных оксидов (TiO_2 , H_3O_5 , SO_3 и др.) в сумме составляет около 1 %.

В Пермском крае наиболее распространенными являются дерново-подзолистые почвы. Валовой химический состав представлен в таблице 10.

Таблица 10

Валовой химический состав дерново-подзолистых почв тяжелого гранулометрического состава
(Дьяков В.П., 1971)

Горизонт, глубина, см	В % от веса сухой почвы				В % на прокаленную почву								Молекулярные отношения		
	гумус	азот	потеря при прокаливании	химич. связан. вода	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
Лес смешанный, почвы целинные дерново-среднеподзолистые, разрез 2															
A ₀ A ₁ 0-3	31,08	-	45,55	14,47	64,28	5,56	18,99	5,79	1,21	0,55	1,88	1,55	-	-	-
A ₁ 3-17	3,23	0,150	4,71	1,48	77,32	3,66	14,45	1,08	0,61	0,15	1,43	1,54	9,13	7,82	6,21
A ₂ 17-27	0,62	0,048	2,42	1,80	76,65	3,32	12,91	1,09	0,64	0,05	1,80	1,82	10,08	8,65	6,11
A ₂ B ₁ 27-35	0,37	0,033	2,91	2,54	72,29	4,00	15,80	1,03	0,61	0,04	1,90	1,64	7,77	7,64	6,19
B ₁ 35-45	0,32	0,031	3,60	3,28	70,02	5,55	15,89	2,34	0,98	0,04	1,88	1,48	7,4	6,11	4,50
B ₂ 85-95	0,27	0,012	3,97	3,70	69,30	5,65	18,25	2,47	1,49	0,08	1,87	1,42	6,44	5,38	5,06
C 190-200	0,22	0,014	4,99	4,77	70,75	6,28	15,89	2,12	1,38	0,10	2,00	1,60	7,17	5,72	3,97
Куединский район, почвы дерново-среднеподзолистые, разрез 1															
A _п 0-20	2,00	0,100	4,48	2,48	75,52	5,32	11,64	1,38	0,61	0,16	2,08	1,79	11,03	8,55	3,42
A ₂ 20-26	1,53	0,060	3,91	2,38	75,87	4,65	13,18	1,11	0,44	0,09	1,86	1,82	9,07	7,99	4,45
A ₂ B ₁ 26-35	0,50	0,045	3,48	2,98	72,05	5,62	14,23	2,14	0,93	0,05	1,85	1,54	8,58	6,86	3,97
B ₁ 35-45	0,33	0,037	3,91	3,58	70,37	6,05	16,19	2,27	1,00	0,06	1,93	1,51	7,38	5,96	4,20
B ₂ 85-95	0,26	0,034	3,82	3,56	69,28	6,08	17,14	1,36	1,11	0,08	1,97	1,46	6,86	5,56	4,42
C 190-200	0,19	0,021	3,01	2,82	72,38	6,41	14,94	1,32	1,68	0,12	2,14	1,59	7,60	5,97	3,72
Менделеевское опытное поле, почвы дерново-сильноподзолистые тяжелосуглинистые, разрез 7															
A _п 0-20	2,45	0,077	3,08	0,63	75,68	5,60	12,85	1,27	0,54	0,13	1,92	1,58	10,00	7,83	3,60
A ₂ 20-29	1,55	0,070	2,68	1,13	76,97	3,40	12,97	1,36	0,13	0,09	1,90	1,61	10,00	8,63	5,97
A ₂ B ₁ 29-39	0,76	0,027	3,68	2,89	72,97	4,11	15,14	1,46	0,40	1,10	1,95	1,53	8,18	6,97	5,77
B ₁ 39-49	0,50	0,021	3,09	2,59	70,05	5,37	16,64	1,29	0,46	0,11	1,94	1,29	7,15	5,92	4,86
B ₂ 60-70	0,38	0,019	3,41	3,03	68,64	6,32	17,10	2,32	0,55	0,09	1,94	1,40	6,80	5,51	4,24
C 85-95	0,38	0,018	3,41	3,03	69,58	7,86	15,61	1,81	1,18	0,14	1,95	1,29	7,57	5,73	3,11

Из таблицы видно, что дерново-подзолистые почвы обогащены кремнием, причем в верхней части профиля, и также полуторными оксидами. Очень обеднены дерново-подзолистые почвы кальцием и магнием, фосфором, калием.

2.2 Формы соединений химических веществ в почве

Химический состав почвы – важный фактор почвенного плодородия, поскольку многие элементы питания растений не входят в состав минеральных удобрений. В настоящее время к числу необходимых элементов питания растений относят 20 химических элементов (азот, фосфор, калий, углерод, сера, кальций, магний, натрий, железо, кислород, водород, хлор, медь, цинк, бор, молибден, йод, марганец, кобальт, ванадий). Еще 12 элементов считают условно необходимыми (кремний, алюминий, серебро, литий, никель, фтор, свинец, титан, стронций, кадмий, хром, селен). Каждый элемент выполняет определенные физиологические функции в растении. При недостатке или избытке какого-либо элемента растения хуже растут и развиваются.

Один и тот же элемент образует разные по растворимости и подвижности соединения, от которых зависят доступность их растениям, способность к миграции, реакция среды и др.

Химические элементы в почвах находятся в форме различных соединений, отличающихся строением, составом, степенью устойчивости к выветриванию, растворимостью и др. Выделяют следующие формы соединений химических элементов в почвах: первичные и вторичные минералы, органические вещества, органо-минеральные соединения, обменные (поглощенные) формы, почвенные растворы, газообразные формы в составе почвенного воздуха, живое вещество почв.

Первичные и вторичные минералы. В форме первичных и вторичных минералов находится преобладающая часть химических элементов в минеральных почвах, как по их числу, так и по массе: кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, натрий, марганец, титан, хлор, частично фосфор и сера. Наблюдается приуроченность важнейших микроэлементов к минералам. Так, медь обнаруживается в составе авгита, апатита, биотита, полевых шпатов; цинк, кобальт и никель - в составе роговых обманок, биотита, магнетита; свинец - в авгите, апатите, мусковите, полевых шпатах. На основании данных по содержанию химических элементов можно получить приближенные сведения о минералогическом составе почв и почвообразующих пород.

Органическое вещество. Гумус и органические остатки состоят в основном из углерода (25-65 %), кислорода (30-50 %), азота (1-5 %), водорода (2-5 %). В составе молекул органических соединений всегда присутствуют сера, фосфор, а также ряд металлов, в том числе и микроэлементов.

Органо-минеральные соединения. Эта форма представлена продуктами взаимодействия органических веществ с минеральной частью почв: простыми гетерополярными, комплексно-гетерополярными солями гумусовых кислот с ионами металлов и глиногумусовыми сорбционными комплексами.

Обменные ионы в составе почвенного поглощающего комплекса (ППК). Обменные ионы составляют небольшую часть от общего содержания химических элементов в почвах. Их количество измеряется единицами и десятками мг-экв на 100 г почвы. Поскольку в почвах преобладают отрицательно заряженные коллоиды, то в поглощенном (обменном) состоянии преобладают катионы. Преобладающими в ППК и играющими большую роль в почвенных процессах и формировании физико-химических свойств почв являются катионы: Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ . Присутствуют также катионы Mn^{2+} , Fe^{2+} , Li^+ , Sr и др. В поглощенном состоянии могут находиться и анионы (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , и др.) на положительно заряженных участках коллоидной мицеллы.

Почвенный раствор. В почвенном растворе содержатся минеральные, органические и органоминеральные вещества в виде ионных, молекулярных и коллоидных форм. В них также присутствуют растворенные газы: CO_2 , O_2 и др. Концентрация почвенного раствора обычно находится в пределах одного или нескольких граммов на литр.

Почвенный воздух. Состав почвенного воздуха аналогичен атмосферному. В нем содержатся O_2 , N_2 , CO_2 , а также в небольших количествах метан, сероводород, аммиак, водород и др. В отличие от атмосферного, состав почвенного воздуха более динамичен как во времени, так и в пространстве.

Живое вещество. В состав живой фазы почв входят грибы, водоросли, бактерии, актиномицеты, мезо- и микрофауна. Основную массу живых организмов составляют: кислород (70 %), водород (10 %), азот, кальций (1-10 %); сера, фосфор, калий, кремний (0,1-1 %); железо, натрий, хлор, алюминий, магний (0,01-0,1 %).

Для растений и микроорганизмов наиболее доступны те элементы, которые находятся в почвенном растворе, в обменном состоянии и в составе легкоразлагаемого органического вещества. Водорастворимые вещества наиболее миграционноспособные.

2.3. Химический состав твердой фазы почвы

Твердая фаза автоморфных почв является преобладающей по массе и преимущественно состоит из минеральных - 80-90 % и меньшей мере - 10-15 % - органических веществ. Минеральная часть сформировалась из минеральных геологических пород и содержит первичные и вторичные минералы, оксиды, соли, элементы и соединения, образовавшиеся в процессе выветривания и почвообразования.

Химический состав твердой фазы почвы является одной из основных ее характеристик.

Д.С. Орлов (1985) по абсолютному содержанию в почвах все элементы объединил в несколько групп:

1. Включает кремний и кислород, содержание которых составляет десятки процентов, а в сумме они могут составлять 80-90 % и более почвенной массы.
2. Включает Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, S содержание которых в почве меняется от десятых долей до нескольких процентов.

Первые две группы – типичные макроэлементы.

3. Количество элементов выражается сотыми и десятными долями. Это Ti, Mg, N, P, S, H, (по содержанию они составляют переходную группу к микроэлементам).
4. Микроэлементы и ультрамикроэлементы содержатся в почвах в количествах $n \cdot 10^{-3}$ - $n \cdot 10^{-10}$, к ним относятся Ba, Sr, B, Cu, V, Cr, Ni, Co, Li, Mo, Se и др. элементы.

Приведенная концентрационная группировка химических элементов, составляющих почву, наиболее простая и не единственно возможная. Она полезна при выявлении роли отдельных элементов в формировании почвенной массы и удобна при выборе методов химического анализа почв. Концентрационная группировка при решении многих почвенных задач оказывается довольно условной.

Так, макро- и микроэлементы формально различают по уровням их содержания в почвах или в живых организмах. При таком подходе микроэлементами называют такие элементы, которые нужны в малых (микро-) количествах, но при этом они выполняют важные физиологические функции. Например, железо и магний для почв – типичные макроэлементы, так как их содержание находится в пределах единиц процента, но в живых организмах – это типичные микроэлементы, входящие в состав гемоглобина или хлорофилла. Учитывая это, учеными предложено к микроэлементам относить те химические элементы, которые независимо от уровня их содержания выполняют в жи-

вых организмах функции инициаторов и активаторов биохимических процессов.

Итак, в почвах содержатся практически все элементы периодической системы Д.Н. Менделеева. Углерод, водород, кислород и азот называют органогенными элементами, так как в основном из них состоит организм растений. Остальные элементы называют минеральными или зольными.

Макроэлементы – широко распространенные в природе химические элементы, необходимые растениям для питания в больших количествах.

Кремний входит в состав минералов (кварц, силикаты), определяет гранулометрический состав почв. Поглощается растениями из раствора. Обычно в почвах обнаруживается незначительное количество водорастворимого кремнезема (до 10-50 мг/л). С увеличением рН среды растворимость кремнезема возрастает. Так, в щелочных содовых растворах при рН 10-11, его содержание достигает 100-200 мг/л.

Углерод – основа специфических органических соединений в почве (гумуса). Входит в состав карбонатов. Содержание органического углерода колеблется от долей процента в песчаных почвах до 7 % и более в черноземах и некоторых дерновых почвах, а в торфяных достигает несколько десятков процентов.

Кислород входит в состав первичных и вторичных минералов, гумуса почвы, воды, содержится в почвенном воздухе. При дефиците свободного кислорода в почве создаются анаэробные условия.

Водород содержится в почвенной влаге, угольной кислоте, органических соединениях, в кислых солях и гидроксильных ионах. Определяет реакцию почвенного раствора. Часть водорода находится в почвенном растворе и в обменном состоянии, обуславливая актуальную и потенциальную кислотность почвы.

Азот входит в состав гумуса, органоминеральных соединений, является элементом питания растений. Накапливается в почве с органическим веществом. Азот доступен растениям в виде аммония, нитратов и нитритов.

Фосфор – составная часть органического вещества почвы, накапливается в форме кислых, средних, основных солей фосфорной кислоты с кальцием, железом, алюминием. Фосфор органических соединений переходит в доступную форму после минерализации их микрофлорой. Необходимый элемент питания растений (формирование корневой системы, качество зерна). Часть фосфора входит в кри-

сталлическую решетку минералов (апатит, вивианит) и находится в обменном состоянии.

Сера накапливается в почве в виде сульфатов кальция, магния, входит в состав гумуса. В почвах сера представлена как органическими, так и неорганическими соединениями. Соотношение их зависит от типа почвы и от глубины залегания исследуемого генетического горизонта. Встречается в почвах и элементарная сера; она может быть продуктом трансформации серосодержащих соединений или унаследована от материнской породы.

В верхних горизонтах незасоленных почв содержание серы колеблется от 0,01-0,02 до 0,2-0,4 %. Наименьшее содержание и запасы серы свойственны малогумусным песчаным и супесчаным почвам. Наибольшее содержание и запасы характерны для торфянистых почв и торфяников. В верхних гумусовых горизонтах на долю органических соединений серы приходится до 70-80 % всех запасов серы. Доля минеральных соединений серы нарастает по мере уменьшения запасов гумуса, повышения минерализации почвенно-грунтовых вод и накопления в почвах карбонатов и гипса.

Железо и алюминий входят в состав первичных и вторичных минералов, накапливаются в форме гидроксидов и оксидов. Определяют реакцию почвенного раствора, участвуют в процессе структурообразования. Обменный и водорастворимый алюминий ухудшают минеральное питание растений, переводя фосфор в труднорастворимые фосфаты и препятствуя поглощению двухвалентных катионов. Под его влиянием ухудшается развитие корневой системы, нарушается углеводный и азотный обмен в растении.

Кальций входит в состав обменно-поглощенных катионов, накапливается в почве в форме солей – карбонатов и сульфатов. Стабилизирует реакцию почвенного раствора, закрепляет гумусовые вещества, участвует в структурообразовании, так как является эффективным коагулятором почвенных коллоидов. Содержание кальция в бескарбонатных почвах составляет 1-3 %. Растения, произрастающие на кислых и сильнокислых почвах, особенно легкого гранулометрического состава, испытывают недостаток кальция. Этот элемент имеет огромное значение как в питании растений, так и в почвообразовании.

Магний – входит в состав хлорофилла и других органических веществ. Магний способствует созданию нейтральной реакции среды. Большое количество обменно-поглощенного магния способствует осолонцеванию почв, что приводит к ухудшению агрофизических свойств. Как и кальций, магний находится в кристаллической решетке

первичных и вторичных минералов, в обменном состоянии и в форме солей – карбонатов, сульфатов, хлоридов. Дефицит магния испытывают растения, произрастающие на почвах особенно легкого гранулометрического состава.

Калий – необходимый элемент питания растений. Основная часть его находится в составе первичных и вторичных минералов и малодоступна для растений. Из биотита и мусковита растения сравнительно легко извлекают этот элемент. Калий в почвах так же содержится в почвенном растворе в виде простых солей, в обменном состоянии на поверхности почвенных коллоидов. В таких состояниях калий легко доступен растениям. Калиелюбивые культуры – картофель, корнеплоды, травы, табак, овощные культуры.

Натрий – сосредоточен главным образом в кристаллической решетке первичных минералов (натрийсодержащие полевые шпаты), присутствует в обменном состоянии и в почвенном растворе в составе водорастворимых солей Na_2CO_3 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , NaNO_3 . В аридных регионах накапливается в почве в виде солей и вызывает осолонцевание и засоление почв. Почвенное плодородие снижается и при высоком содержании обменного натрия. При повышении его доли в составе обменных катионов более 10 % емкости обмена, существенно ухудшаются агрономические свойства почв, что вынуждает проводить их мелиорацию.

Микроэлементы – химические элементы, содержащиеся в почвах в микроколичествах и необходимые для полноценного развития растений. Количество микроэлементов в почве определяется их содержанием в породе. Микроэлементы входят в состав первичных и вторичных минералов, гумуса. К ним относятся медь, цинк, кобальт, бор, молибден, йод и др.

Радиоактивные элементы (калий, уран, радий, стронций, торий, цезий и др.) обуславливают естественную радиоактивность почв. Содержание радиоактивных элементов в почвах незначительно: U – $3,0 \cdot 10^{-6}$ – $5,1 \cdot 10^{-4}$ %, Ra – $1,0 \cdot 10^{-12}$ – $1,7 \cdot 10^{-10}$ %, ^{40}K – $3,9 \cdot 10^{-6}$ – $3,7 \cdot 10^{-5}$ %. Естественная радиоактивность почв не приводит к каким-либо отклонениям в процессе развития растительных и животных организмов.

Искусственная радиоактивность почв вызывается радиоактивными изотопами, образующимися в результате атомных и термоядерных взрывов. Включаясь в биологический круговорот радиоактивные изотопы нарушают ход физиологических процессов в организмах. Наибольшую опасность представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs , поскольку период их полураспада составляет соответственно 28 и 33 года. По своим свой-

ствам ^{90}Sr близок к кальцию, а ^{137}Cs к калию, поэтому значительная их часть закрепляется в почвах.

Токсичные химические элементы (фтор, хлор, сера, мышьяк) - это элементы, содержание которых в значительных количествах в почвах отрицательно воздействуют на развитие растений.

Тяжелые металлы (свинец, ртуть, хром и др.), накапливаясь в почве, поглощаются растениями, что приводит к ухудшению качества продуктов питания, когда их содержание превышает санитарные нормы. Тяжелые металлы прочно удерживаются коллоидными комплексами почв, поэтому их концентрация в растворе невелика.

Содержание и свойства некоторых элементов представлены в таблице 11.

Таблица 11

Среднее содержание элементов в почвах, мг/кг
по М.Б. Киркхэму (Орлов Д.С., 1992)

Элемент	Общее содержание	Подвижные формы	Примечания
Ag	0.1 (0,1-5)	0,02 (0,01-0,05)	Прочно связан с органическими и минеральными компонентами, в растениях обычно менее 0,01 мг/кг
As	6 (0,1-40)	2,7 (0,03-11)	Аккумулируется в илистой фракции, токсичен для млекопитающих
Au	1	--	--
B	10 (2-130)	1,9 (0,01-130)	Накапливается в засоленных и щелочных почвах; токсичен при повышенной концентрации, но при дефиците урожай снижается
Ba	500(100-3500)	138 (4-3500)	Встречается вблизи горных выработок, где может быть токсичным
Be	6 (0,1-40)	--	Действует подобно Al, в растениях не накапливается
Br	5 (1-10)	--	Обычно связан с органическим веществом
Cd	0,5 (0,01-0,7)	0,06 (0,01-0,5)	Один из наиболее токсичных элементов
Cl	100	10 (7-50)	Обычен в засоленных и щелочных почвах
Co	8 (1-40)	1,1 (0,001-15,4)	Повышенное содержание в почвах, развитых на базальтах и серпентинах; при дефиците возможны заболевания жвачных
Cr	100(5-3000)	0,3(0,01-3,9)	Аккумулируется в корнях, повышенное содержание в почвах, развитых на базальтах и серпентинах
Cs	6 (0,3-25)	--	--

Продолжение таблицы 11

Элемент	Общее содержание	Подвижные формы	Примечания
Cu	20 (2-100)	2,9 (0,02-19,2)	Прочно связывается гумусом, возможны проявления дефицита, реже - токсичности
F	200(30-300)	--	Фиксируется глинистыми минералами и апатитом; при дефиците – зубные заболевания, при повышенных уровнях токсичен для травоядных
Hg	0,03(0,01-0,8)	--	Соединения летучи, один из наиболее токсичных элементов
I	5	0,01	Сильно связывается гумусом, при дефиците у человека развивается зобная болезнь
In	0,1	--	Родствен алюминию
Li	30 (7-200)	--	--
Mn	850(100-4000)	110(15-170)	В слабодренированных и кислых почвах возможно проявление токсичности; при дефиците (нейтральные, щелочные, хорошо гумусированные почвы) возможно бесплодие у млекопитающих
Mo	2(0,2-5)	0,9 (0,001-4,8)	На почвах, обогащенных Мо, травы могут быть токсичными для животных, но при дефиците снижаются урожаи
Ni	40(5-5000)	18 (0,1-403)	При избытке задерживает рост растений
Pb	10(2-200)	4,4(0,05-46)	Накапливается в карбонатных почвах, интенсивно сорбируется гумусом, один из наиболее токсичных элементов
Ra	$0,8 \cdot 10^{-6}$ ($0,3-2 \cdot 10^{-6}$)	--	По химическому поведению сходен с кальцием
Sc	7 (10-25)	--	Сходен с алюминием
Se	0,2 (0,01-38)	0,1 (0,005-9,1)	Химически селенаты сходны с сульфатами; обогащенные корни могут быть токсичны для млекопитающих
Sn	10(2-200)	1,4(0,04-6,8)	Интенсивно сорбируется гумусом
Sr	300(50-1000)	--	Сходен с Ba и Ca
Tl	0,1	--	Сходен с алюминием, прочно фиксируется в почве, в нейтральных почвах не токсичен до 100 мг/кг
U	1 (0,9-9)	--	Связывается органическим веществом тонкими фракциями
W	1	--	Сходен с Мо; умеренно токсичен для растений
Zn	50(10-300)	9,6(0,01-200)	При дефиците снижаются урожаи; реже проявляется токсичность в районах рудопроявления

Итак, выделяются следующие особенности химического состава твердой фазы почв:

1. Полихимизм. Почва содержит большой набор элементов: в почвах практически все входящие в их состав химические элементы в той или иной степени являются обязательными и необходимыми.
2. Разнообразные формы соединений отдельных элементов. Один и тот же элемент представлен несколькими соединениями, а одно и то же вещество может быть в различных кристаллических или аморфных состояниях.
3. Высокое содержание С и Si, что отражает одновременное влияние двух факторов почвообразования: растительного и животного мира, с одной стороны, и почвообразующих пород – с другой.
4. Большой диапазон концентраций.
5. Непостоянство (динамичность) состава во времени.

Эти особенности химического состава почв подчеркивают самостоятельную химическую природу почв, отличающую ее от горной породы. Химический состав почв постоянно изменяется в соответствии с непрерывностью процессов выветривания и почвообразования.

Оценивая роль отдельных элементов в почвообразовании, выделяют группу элементов, играющих конституционную роль, то есть тех элементов, которые входят в структуру решетки минералов или молекул тех компонентов, из которых реально складывается масса почвы. В первую очередь это такие элементы, как Si, Al, O, составляющие основу почвенных силикатов и алюмосиликатов; С, Н, N, O – важнейшие компоненты органического вещества. Микроэлементы при их важнейших физиологических функциях заметной конституционной роли в почвах не играют.

2.4. Химический состав газовой фазы почв

Газовая фаза почвы представлена почвенным воздухом и паробразной влагой. Почвенный воздух занимает все поры почвы, свободные от воды.

Величина суммарного объема почвенных пор составляет 25-65 % объема почвы. Источником почвенного воздуха являются воздух атмосферы и образующиеся в почве газы. Характерная особенность почвенного воздуха – насыщенность парами воды; его относительная влажность около 100 %.

Почвенный воздух существенно отличается по составу от атмосферного воздуха. Это зависит от биологических процессов, совершающихся в почве. Корневые системы высших растений и аэробные

микроорганизмы энергично поглощают кислород и выделяют углекислый газ. Избыток CO_2 из почвы выделяется в атмосферу, а атмосферный воздух, обогащенный кислородом проникает в почву. Таким образом, почвенный воздух находится в состоянии газового обмена с атмосферным воздухом. Поэтому, при почвенный слой атмосферы содержит в несколько раз больше углекислоты, чем воздух на высоте нескольких метров. Газовый обмен совершается путем диффузии, благодаря колебанию температур, движению атмосферных осадков и др. Наиболее активно газовый обмен протекает в самых приповерхностных частях почвы. Поэтому нижние горизонты почвенного профиля более обогащены углекислотой, чем верхние. Об интенсивности газообмена свидетельствует количество выделяемого почвой углекислого газа, которое достигает 10 литров за сутки на площади 1 м^2 .

Чем интенсивнее протекают биологические процессы в почве, тем больше выделяется углекислоты. Особенно много CO_2 под лесом. Количество углекислоты в почвенном воздухе меняется на протяжении года, достигая максимума в теплое время года и минимума зимой. В результате постоянного газообмена между почвой и атмосферой устанавливается подвижное равновесие.

В почвенном воздухе по сравнению с атмосферным меньше кислорода и больше диоксида углерода (CO_2). В ту или иную сторону может изменяться и содержание азота (табл. 12).

Почвенный воздух болотных и заболоченных почв может содержать заметные количества NH_3 , CH_4 , H_2 .

В составе почвенного воздуха постоянно присутствуют в очень небольшом количестве нелетучие органические соединения (углеводороды жирного и ароматического ряда, сложные альдегиды, спирты и др.), образующиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Эти вещества могут поглощаться корнями, способствуя росту растений и повышению их жизнедеятельности.

В составе почвенного воздуха выделяют макрогазы, постоянно присутствующие в нем, и микрогазы, или газы-эфемеры, содержащиеся в микроколичествах, и не всегда встречаются в почвах.

Макрогазы. Среди макрогазов почвенного воздуха выделяют азот, кислород и диоксид углерода.

Азот преобладает в почвенном воздухе. Его содержание обычно не намного отличается от атмосферного. Изменения в основном обусловлены связыванием азота азотфиксирующими микроорганизмами и денитрификацией. При развитии денитрификации наряду с

молекулярным азотом в почвенном воздухе в микроколичествах появляются NO и NO₂.

Таблица 12

Содержание различных газов и летучих органических соединений в атмосферном и почвенном воздухе по С.В. Каспарову, Н.С. Панникову (Мамонтов В.Г., 2006)

Газы и летучие органические соединения	Содержание, %	
	в атмосфере	в почве
N ₂	79,1	68 - 73
O ₂	21,9	5 - 21
CO ₂	0,03	0,1 - 20
H ₂	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 - 8 \cdot 10^{-6}$
CO	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 - 8 \cdot 10^{-6}$
NO	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 - 10 \cdot 10^{-4}$
N ₂ O	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 - 40 \cdot 10^{-5}$
SO ₂	–	$3 \cdot 10^{-7}$
H ₂ S	–	$2 \cdot 10^{-7}$
CH ₃ SH	–	$3 \cdot 10^{-7}$
CH ₃ S	–	$1 \cdot 10^{-6}$
CH ₄	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 - 8 \cdot 10^{-7}$
C ₂ -C ₂ O	$2 - 240 \cdot 10^{-7}$	$1 - 35 \cdot 10^{-6}$

Кислород по содержанию в почвенном воздухе в большинстве случаев находится на втором месте. В верхних, хорошо аэрируемых горизонтах почвенного профиля его содержание обычно приближается к атмосферному, хотя в зависимости от сезона года может колебаться в пределах 10-20 %. Количество кислорода в почвенном воздухе с глубиной уменьшается.

Наиболее динамичны из всех газов почвенного воздуха кислород и диоксид углерода. Им принадлежит очень важная роль в жизни почвы и населяющих ее организмов.

Почва постоянно в течение теплого сезона поглощает кислород и выделяет углекислый газ. Основные потребители кислорода в почве: корни растений; аэробные микроорганизмы; почвенная фауна; химические процессы. Источником кислорода является атмосферный воздух, который поступает в почвенный воздух диффузно с осадками и оросительной водой. Кислород участвует в актах дыхания растений, и при его отсутствии растения погибают. При недостатке кислорода в почве развивается глеевый процесс, который резко ухудшает агрономические свойства почв, рост и развитие растений. Оптимальное содержание кислорода в почвенном воздухе 19-20 %.

Диоксид углерода присутствует в почвенном воздухе в большем количестве, чем в атмосферном. В верхних горизонтах автоморфных почв его содержание составляет 0,2-0,8 %. В нижележащих горизонтах почвенного профиля количество диоксида углерода, как правило, возрастает.

В почвенный воздух диоксид углерода поступает главным образом в результате жизнедеятельности почвенных макро- и микроорганизмов, минерализации органического вещества, дыхания корней растений, для которых в общем выделении CO_2 почвой доходит до 40 %. Насыщение диоксидом углерода почвенного воздуха происходит при выделении CO_2 грунтовых вод в процессе их испарения, выделении CO_2 из твердой и жидкой фаз почвы при разложении карбонатов, одна треть количества углекислоты выделяется корнями растений.

Средняя концентрация углекислого газа в воздухе, равная 0,03 %, недостаточна для потенциально возможного урожая сельскохозяйственных культур. Искусственное повышение концентрации углекислоты в приземном воздухе повышает урожай растительной массы на 30–100 %. Оптимальное содержание углекислоты в почвенном воздухе составляет от десятых долей процента до 1-2 %, повышенные концентрации (более 2-3 %) угнетают развитие растений.

Таким образом, содержание O_2 и CO_2 в почвенном воздухе непостоянно и зависит от типа почвы, ее свойств, от времени года, погодных условий и вида угодья (пашня, сенокос, луг). На пашне состав воздуха зависит от возделываемой культуры и применяемой агротехники. Газообмен почвы с атмосферой может быть затруднен плотным сложением почвы, избыточной увлажненностью, при которой вода занимает не только капиллярные пространства, но и макропоры. При этом в почвенном воздухе резко уменьшается содержание кислорода, и развиваются анаэробные микробиологические процессы, в результате которых образуется метан, сероводород, аммиак и другие газы.

Микрогазы. Наряду с макрогазами в почвенном воздухе содержатся газообразные вещества различной природы, присутствующие в микроколичествах. К ним относятся NO , N_2O , H_2S , CO , водород, аммиак, а также, разнообразные органические соединения – этилен, ацетилен, метан, меркаптаны, эфиры и т.д. В почвенном воздухе обнаружены такие биологически активные компоненты, как летучие витамины, гормоны, фитонциды и т.д., придающие специфические ароматы, например аромат «спелой почвы».

Содержание микрогазов в почвенном воздухе невелико и обычно не превышают $n \cdot 10^{-4}$ – $n \cdot 10^{-12}$ %. Однако в некоторых случаях этого

вполне достаточно, для того чтобы оказать токсичное влияние на корневую систему растений и ингибировать жизнедеятельность микроорганизмов. В воздухе некоторых почв газы, обычно присутствующие в микроколичествах, накапливаются в высоких концентрациях (метан и водород в болотных почвах или сероводород в почвах, на которых возделывают рис).

Иногда в составе почвенного воздуха могут присутствовать некоторые газы, диффундирующие через толщи горных пород из мест их скопления. В результате этого явления почвы над нефтяными и газовыми месторождениями бывают обогащены углеводородами, над складами радиоактивных элементов - гелием, радиоактивными эманациями. На этом основаны специальные газовые геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых.

Формы почвенного воздуха. Воздух в почве находится в трех состояниях: свободном, адсорбированном и растворенном.

Свободный почвенный воздух представляет собой смесь газов и летучих органических соединений, свободно перемещающихся в незаполненных водой порах почвы и сообщающихся с воздухом атмосферы. Воздух, находящийся в такой форме, обеспечивает аэрацию почв и их газообмен с атмосферой. В суглинистых и глинистых по гранулометрическому составу почвах некоторое количество свободного воздуха изолируется в порах водными пробками. Такой воздух называют *защемленным*. В почвах тяжелого гранулометрического состава на защемленный воздух приходится более 12 % от общего объема почвы. Защемленный воздух неподвижен и участвует в газообмене между почвой и атмосферой только путем диффузии через водную среду. Скорость такой диффузии на несколько порядков ниже, чем скорость диффузии в газовой среде. Из-за присутствия защемленного воздуха замедляется фильтрация воды в почве. Защемленный воздух может быть причиной разрушения агрегатов при колебаниях атмосферного давления, температуры и влажности почвы.

Адсорбированный почвенный воздух — газы и летучие органические соединения, адсорбированные поверхностью твердой фазы почвы. Количество адсорбированного воздуха возрастает по мере увеличения степени дисперсности почвы, содержания органического вещества, минералов монтмориллонитовой группы и соединений типа гидроксидов железа. Далее приведены данные о количестве воздуха, адсорбированного различными объектами (табл. 13).

Поглощение воздуха почвой увеличивается с ростом атмосферного давления или с уменьшением температуры.

Таблица 13

Количество адсорбируемого воздуха, см³ / 100г почвы
(Ковда В.А., 1985)

Объект	Количество адсорбционного воздуха
кварцевый песок (частицы размером < 0,5 мм)	0,75±0,20
супесь	2,26±0,12
легкий суглинок	4,93±0,15
тяжелый суглинок	6,99±0,08
чернозем суглинистый	9,03±0,20

Из почвенного воздуха твердой фазой почвы активнее поглощаются более тяжелые и относительно легко сжимаемые газы в следующей последовательности: $\text{NH}_3 > \text{CO}_2 > \text{O}_2 > \text{N}_2$.

Больше всего адсорбированного воздуха содержится в сухой почве, при ее увлажнении происходит десорбция ранее сорбированных газов, что отражается на составе свободного почвенного воздуха. Процесс адсорбции газов в основном обратимый, но иногда имеет место и необратимая сорбция (например, необратимая сорбция CO_2 достигает 10 мг/100 г почвы).

Твердое вещество почвы более энергично поглощает молекулы водяного пара, чем молекулы газов, а так как в почве высокое содержание водяного пара, то поглощение газов почвы не велико. Из почвенных газов в наибольшей степени сорбируется азот.

Растворенный воздух представляет собой газы, растворенные в почвенной воде. Почвенный раствор всегда содержит определенное количество растворенных газов, находящихся в динамическом равновесии с газами почвенного воздуха. Растворимость газов в почвенных растворах возрастает при повышении атмосферного давления, при увеличении их концентрации в свободном почвенном воздухе, а также при понижении температуры почвы.

Растворимость кислорода сравнительно невысокая, значительно выше она у диоксида углерода, сероводорода и особенно аммиака. Растворенные газы играют большую роль в обеспечении физиологических потребностей растений, физико-химических и химических процессах, протекающих в почве.

Итак, между почвенным и атмосферным воздухом происходит постоянный газообмен. Имеются сведения, что более 90 % углекислоты воздуха имеет почвенное происхождение. Глобальная роль почвенного покрова заключается в регулировании состава атмосферного воздуха.

2.5. Химический состав жидкой фазы почв

Почвенный раствор представляет собой жидкую фазу почвы, содержащую растворенные соли, органические и органо-минеральные соединения, газы и коллоидные золи. Основные химические и биологические процессы в почве могут осуществляться только при наличии свободной воды.

Почвенная вода – это среда, в которой осуществляется миграция и дифференциация химических элементов в процессе почвообразования. Свободная почвенная вода – это почвенный раствор, который формируется путем взаимодействия атмосферных осадков, поверхностного стока и грунтовых вод (при неглубоком их залегании) с твердой, газообразной и живой фазами. В образовании почвенного раствора принимает участие рыхлосвязанная и свободная вода. Прочносвязанная вода представляет собой так называемый не растворяющий объем почвенной влаги и не входит в состав почвенного раствора.

Почвенный раствор является наиболее изменчивой и наиболее активной частью почвы. Попадая в почву различными путями (с осадками, из грунтовых вод по капиллярам, при конденсации водяных паров и т. д.), вода претерпевает определенные изменения: с одной стороны, впитывает находящиеся в почве различные водорастворимые соединения, а с другой – теряет поглощаемые почвой вещества. Одна часть поступающей в почву воды теряется (просачивается вглубь, стекает, испаряется), другая – удерживается почвой; она и представляет собой почвенный раствор.

Почвенный раствор содержит минеральные, органические и органо-минеральные вещества в ионной, молекулярной, коллоидной форме и иногда в виде взвесей. Он также содержит растворенные газы: кислород, углекислый газ, аммиак. Количество почвенного раствора колеблется в широких пределах – от долей и единиц до десятков процентов в минеральных почвах, и до сотен процентов в торфяных.

Растворимость газов в почвенном растворе зависит от давления газа, от температуры, от содержания различных соединений. Наиболее энергично растворяется в воде CO_2 , но с повышением температуры его растворимость понижается почти в три раза. Менее растворимым является кислород и еще менее азот.

Коллоиды составляют от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{10}$ общего количества веществ почвенного раствора. Особенно много коллоидов находится в почвенном растворе солонцов. Коллоиды в почвенных растворах представлены органическими и органо-минеральными веществами, золями кремниевой кислоты и гидроксидов железа и алюминия.

Большая часть соединений находится в почвенном растворе в виде ионов. В почвенных растворах преобладают катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , всегда присутствуют K^+ , NH_4^+ , H^+ , в почвах с кислой реакцией среды – Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} ; в переувлажненных почвах – Fe^{2+} , Mn^{2+} . В незначительном количестве присутствуют редкие и рассеянные химические элементы (Cu , Zn , Pb , Ni , Co и др.). Железо, алюминий и многие микроэлементы в почвенных растворах находятся преимущественно в виде устойчивых комплексных соединений с органическими веществами.

В растворе засоленных почв резко увеличивается количество Na^+ и Mg^{2+} , а из рассеянных химических элементов Sr^+ и B^+ . Содержание катионов в почвенном растворе связано с растворимостью твердых частей почвы и составом поглощенных ионов. С увеличением температуры растворимость возрастает.

Из анионов преобладают CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} ; присутствуют – HCO_3^- , NO_2^- и NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , которые поступают в почвенный раствор в результате биологических процессов. Содержание фосфат-ионов, хлор и сульфат-ионов обусловлено растворением соответствующих минералов и разрушением растительных остатков. В засоленных почвах резко возрастает содержание хлоридов и сульфатов.

Минерализация почвенных растворов невелика и в разных типах почв колеблется, возрастая с севера на юг, от десятков мг в подзолистых до нескольких граммов вещества на литр в черноземах и каштановых почвах. В засоленных почвах минерализация резко повышается до десятков и даже сотен граммов на литр.

Помимо минеральных соединений, в почвенном растворе постоянно присутствуют водорастворимые органические соединения: фульвокислоты, органические кислоты, аминокислоты, сахара, спирты и др. Содержание органических веществ в почвенных растворах измеряется десятками и сотнями мг/л. Повышенные их концентрации наблюдаются в подзолистых и болотных почвах таежно-лесной зоны, представленных в основном фульвокислотами и простыми органическими кислотами.

Реакция среды почвенных растворов изменяется от кислой в подзолистых почвах северной и средней тайги до нейтральной в зоне черноземных почв, и до слабощелочной и местами щелочной в почвах засушливых областей. Концентрация и состав почвенных растворов закономерно изменяются в почвах различных природных зон (табл. 14). Это связано с закономерными изменениями водного режима в почвах зонального ряда.

Таблица 14

Химический состав почвенных растворов различных типов почв
по В.В. Волковой, И.Н. Скрынниковой, У.М. Абдулину
(Мамонтов В.Г., 2006)

Тип почвы	Содержание, мг/л					
	Органического вещества	Si ⁴⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Подзолистая	20 – 760	3 – 20	6 – 12	3 – 10	5 – 25	5 – 15
Чернозем	10 – 50	1 – 5	0,1 – 2,0	0,1 – 2,0	200	30 – 60
Солонец	65	18	5	15	450	230
Солончак	3 – 5	1,0 – 2,8	–	0,7 – 1,4	920	23000

Продолжение таблицы 14

Типы почв	Содержание, мг/л					
	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
Подзолистая	1 – 3	2 – 5	10 – 60	8 – 20	4 – 10	10 – 60
Чернозем	5 – 20	8 – 30	500	80	100	170
Солонец	4400	–	720	7400	1800	–
Солончак	93000	7000	915	–	146000	190

В подзолистых и дерново-подзолистых почвах таежно-лесной зоны, сформировавшихся в условиях промывного водного режима, содержание минеральных компонентов в почвенном растворе, как правило, низкое и колеблется от нескольких десятков до 100-300 мг/л. В верхней части профиля почвенные растворы истощены органическим веществом, количество которого варьирует в пределах 100-700 мг/л, а в лесных подстилках достигает 3-4 г/л. Наряду с неспецифическими органическими соединениями в составе водорастворимого органического вещества заметную роль играют фульвокислоты. Почвенные растворы имеют кислую реакцию (рН 4-5), содержат мало щелочных и щелочно-земельных оснований (2-5 мг/л K⁺, 10-30 мг/л Ca²⁺, 5-10 мг/л Mg²⁺), в них обязательно присутствуют кремний (10-20 мг/л SiO₂), железо (1-10 мг/л Fe₂O₃) и алюминий (5-25 мг/л Al₂O₃) в подвижных формах.

При окультуривании подзолистых и дерново-подзолистых почв в почвенных растворах снижается содержание органического вещества, существенно возрастает количество кальция, а реакция среды сдвигается в слабокислую область (рН 5,5-6,5).

В черноземах, где имеет место водный режим непромывного типа, концентрация почвенных растворов выше, чем в почвах таежно-лесной зоны, в среднем она составляет около 1 г/л. Почвенные растворы содержат незначительное количество ионов калия, натрия, хлора и органических соединений. Так, в целинных обыкновенных чер-

ноземах количество водорастворимого органического вещества в верхнем десятисантиметровом слое почвы составляет около 200 мг/л, на глубине 40-50 см – см 20-90 мг/л. Характерная особенность почвенных растворов черноземов – нейтральная или слабощелочная реакция и резкое доминирование среди минеральных компонентов гидрокарбоната кальция, на долю которого приходится более 60 % от суммы всех водорастворимых веществ. Благодаря, такому составу почвенные растворы имеют высокую буферность, обеспечивают стабильность ППК, насыщенного кальцием, необратимую коагуляцию почвенных коллоидов.

В сухостепной зоне в незасоленных темно-каштановых и каштановых почвах концентрация почвенных растворов возрастает до 1,5-3,0 г/л. Наряду с гидрокарбонатом кальция в их состав входят сульфаты кальция, магния и частично натрия.

В полупустынной и пустынной зонах формируются преимущественно засоленные почвы. Их почвенные растворы отличаются повышенной концентрацией (10-20 г/л).

Очень высокая концентрация почвенных растворов (200-400 г/л) отмечается в солончаках. В составе почвенных растворов сильнозасоленных почв и солончаков главную роль играют хлориды и сульфаты натрия и магния, причем содержание хлорид-иона доходит до 100-150 г/л.

Почвенные растворы солонцов, особенно содовых, имеют щелочную реакцию, причем их концентрация резко изменяется в пределах почвенного профиля. В верхней его части концентрация почвенных растворов находится на уровне 2-9 г/л, в средней части возрастает до 50-60 г/л, а в полугидроморфных солонцах нередко достигает 100-120 г/л. В составе почвенных растворов солонцов в основном доминируют хлориды и сульфаты натрия и магния. Наряду с этим они обогащены коллоидами и содержат карбонаты, гидрокарбонаты, алюминаты, силикаты натрия, растворенное органическое вещество и связанные с ним ионы железа и алюминия.

Большинство черноземов, серых и темно-серых лесных, каштановых и темно-каштановых почв имеют оптимальные для сельскохозяйственных культур химические показатели почвенных растворов. При низкой концентрации почвенных растворов (менее 1 г/л) для растений складываются неблагоприятные условия вследствие дефицита биофильных элементов.

Концентрация почвенного раствора более 5-6 г/л также негативно влияет на развитие сельскохозяйственных культур, поскольку в

почве происходит аккумуляция легкорастворимых солей — гидрокарбонатов, хлоридов, сульфатов натрия и магния.

Под влиянием солей происходит угнетение растений, что может быть вызвано следующими причинами:

- увеличением осмотического давления почвенного раствора сверх критических значений;
- токсичным действием отдельных ионов на растения;
- нарушением условий питания растений.

Осмотический эффект как следствие повышения концентрации почвенного раствора служит основным фактором угнетения растений на засоленных почвах. Если сосущая сила корней равна или меньше осмотического давления почвенного раствора, то растения не могут поглощать почвенную влагу с растворенными в ней питательными веществами и погибают.

Осмотическое давление почвенных растворов варьирует в широких пределах: от 0,03-0,05 до 0,1-0,2 МПа в незасоленных чернозёмах и каштановых почвах и до 10-30 МПа в солончаках.

Водоудерживающая способность незасоленных почв возрастает по мере их иссушения и при достижении 1-2 МПа у большинства сельскохозяйственных культур наблюдается устойчивое завядание. При накоплении солей увеличивается осмотическое давление почвенного раствора и наступает «физиологическая сухость» почвы. В таких условиях растения, несмотря на достаточную влажность почвы, не могут получить необходимое количество воды. Кроме того, температура и свет при засолении могут действовать отрицательно.

Агроэкологические функции почвенных растворов:

- почвенные растворы играют ключевую роль в процессах почвообразования, они являются центром взаимодействия твердой, жидкой и газообразной фаз;
- осуществляют вертикальные и латеральные транспортные потоки веществ;
- являются источником элементов питания;
- создают условия для роста и развития растений: реакцию среды, осмотическое давление, окислительно-восстановительные условия.

Регулирование состава и реакции почвенного раствора в практике земледелия осуществляется внесением удобрений, обработкой почв, мелиорацией.

Вопросы и задания для проверки знаний

1. В чем сходство и различие почв и пород по химическому составу?
2. От чего зависит элементный состав почв?
3. Какая существует связь между химическим составом почвы и характером почвообразовательного процесса?
4. Опишите валовой химический состав дерново-подзолистых почв Пермского края. Сделайте выводы.
5. В каких основных формах находятся химические элементы в почвах?
6. Дайте характеристику концентрационной группировке химических элементов в почвах. Каковы ее недостатки при использовании на практике в решении почвенных задач, сельском хозяйстве?
7. Какие элементы относят к макроэлементам?
8. Какие группы элементов могут содержаться в твердой фазе почв?
9. В чем заключаются особенности химического состава твердой фазы почв?
10. Какие химические элементы преобладают в почвах?
11. Как отражается химический состав почв на их плодородии?
12. Почему в земной коре и в почвах преобладают минералы, содержащие кислород, кремний и алюминий?
13. Что такое газовая фаза почвы? Назовите состав почвенного воздуха.
14. Каковы основные отличия почвенного воздуха от атмосферного?
15. Что такое газообмен, от каких факторов зависит?
16. Каковы оптимальные условия аэрации почв?
17. Расскажите о роли кислорода и диоксида углерода в почвообразовании и плодородии почв.
18. В чем заключается значение микрогазов в составе почвенного воздуха?
19. В каких формах находится воздух в почве?
20. В чем значение почвенного воздуха в жизни почвы и продуктивности растений?
21. Что представляет собой почвенный раствор? Опишите химический состав почвенного раствора.
22. Расскажите о происхождении и свойствах почвенного раствора.
23. Каковы особенности почвенных растворов различных зон?

24. С чем связано негативное влияние почвенного раствора на сельскохозяйственные культуры?
25. В чем особенности динамики почвенного раствора?
26. Какую роль играет почвенный раствор в развитии почвенных процессов и плодородия?
27. Каково значение почвенных растворов?
28. Охарактеризуйте почвенные растворы по концентрации и ионному составу. Почему эти показатели динамичны?
29. Какими свойствами обладают почвенные растворы? Расскажите о показателях почвенных растворов, имеющих физиологическое значение для растений.
30. Какие имеются отличия в концентрации, составе и свойствах растворов почв одного и того же типа на целине и пашне?
31. Как влияют сельскохозяйственные культуры на состав почвенных растворов?
32. Как регулировать концентрацию, состав и свойства почвенных растворов в земледельческой практике?

3. ОСНОВНЫЕ ПИТАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАСТЕНИЙ

Данные валового анализа используют для нахождения общего запаса веществ, то есть содержания их в определенном объеме почвы. Запасы фосфора и калия дают представление о потенциальном плодородии почвы. Для того чтобы найти запас какого-либо элемента, нужно знать его потенциальное содержание, мощность и плотность горизонта. Запасы вычисляют, перемножая эти показатели, и выражают их в т/га или в кг/м².

По валовому содержанию химических элементов в почве можно оценить только их потенциальные запасы, а о том, какая часть этих элементов может быть использована растениями, судить нельзя, так как биофильные элементы находятся в почвах как в усвояемых, так и не в усвояемых растениями формах.

Элементы зольной и азотной пищи для растений находятся в почве в виде различных солей, а другая часть – в виде не растворенных в воде органических и минеральных соединений. Легкорастворимые соли в отличие от не растворимых соединений называются усвояемыми соединениями.

Растения не способны усваивать необходимые им элементы из твердых, нерастворимых в воде соединений. Установлено, что живые корни растений выделяют во внешнюю среду кислые вещества, по силе действия равные 1-3 % раствору уксусной или лимонной кислоты. Эти кислые выделения корней и способствуют частичному переводу в раствор соединений, находящихся в почве в нерастворимом состоянии. Таким образом, к усвояемым веществам следует отнести почвенные соединения, как растворимые, так и нерастворимые, но растворимые в слабых кислотах.

Источником образования азотистых минеральных соединений являются исключительно органические вещества. Другие питательные элементы (P, K, Ca, S, Fe, Mg) образуются в результате минерализации органических веществ и при выветривании минеральной части почвы. Однако основное значение имеют органические вещества почвы, как главный источник пищи растений.

В агрономических целях для характеристики условий питания растений определяют валовое содержание элементов в почве, резерв доступных элементов, количество непосредственно усвояемых элементов из почвы.

Доступность химических элементов растениям зависит от многих факторов: реакции среды, гранулометрического и минералогического состава, гумусного состояния, содержания влаги и воздуха,

температурного режима и др., а также от биологических особенностей и фазы развития самого растения. По способности усваивать элементы питания из почвы сельскохозяйственные культуры условно делят на три группы:

- 1) культуры невысокого выноса питательных элементов - колосовые, зернобобовые, лен, травы;
- 2) культуры повышенного выноса - корнеплоды, картофель;
- 3) культуры с высоким выносом - овощные, некоторые технические культуры, плодовые, чайный куст цитрусовые.

Растения поглощают из почвенного раствора и из твердой фазы почв азот и зольные элементы в виде ионов: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , NO_3^- , HPO_4^{2-} , SiO_2^{2-} , H_2PO_4^- , Cl^- , SO_4^{2-} и др.

3.1. Азот в почвах

Азот необходим для роста растений, образования белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла и др. органических веществ. При недостатке азота в почве растения желтеют, становятся этиолированными и отстают в росте и развитии.

Азоту принадлежит важная роль в процессах новообразования гумусовых веществ. Аккумуляция азота в почве является характерным признаком почвообразования, а запасы общего азота определяют потенциальное плодородие. Являясь самым мобильным элементом, азот удобрений и почвы может теряться в результате миграции в нижележащие горизонты почвы, теряться в газообразном состоянии, закрепляется в кристаллической решетке минералов и в плазме микроорганизмов.

Валовое количество азота в почвах изменяется от 0,02-0,05 % в дерново-подзолистых песчаных до 0,2-0,5 % в черноземах. В почвообразующих породах азота почти нет. Почвенный азот находится в основном в составе органического вещества – гумуса ($\frac{1}{20}$ - $\frac{1}{40}$ часть его процентного содержания). Этот азот растениям недоступен. Однако в течение теплого времени года часть гумуса (1-2% его содержания) разлагается микроорганизмами и азот высвобождается в доступной для растений форме.

Таким образом, содержание азота в почве зависит от количества органического вещества, прежде всего гумуса. Следовательно, чем больше гумуса содержат почвы, тем больше в них азота (табл. 15).

На содержание азота оказывает влияние климат через температуру и обеспечение водой растений и микроорганизмов, осуществляющих преобразование азота (Блэк К.А., 1973).

Таблица 15

Общий запас гумуса и азота в различных почвах, т/га
(Тюрин И.В., 1965)

Почва	Гумус		Азот	
	0-20 см	0-100 см	0-20 см	0-100 см
Дерново-подзолистая	53	99	3,2	6,6
Серая лесная	109	215	6,0	12,0
Чернозем:				
выщелоченный	192	549	9,4	26,5
мощный	224	709	11,3	35,8
обыкновенный	137	426	7,0	24,0
Темно-каштановая	99	229	5,6	-
Серозем	37	83	2,5	7,5
Краснозем	153	282	4,7	10,5

На содержание азота в почве влияет и антропогенная деятельность: окультуренные почвы содержат азота на 5-30 % больше, чем почвы в естественном состоянии.

Азот почвы можно разделить на шесть категорий: 1) азот органических веществ; 2) минеральный азот в почвенном растворе; 3) минеральный азот в обменном состоянии; 4) азот растительных остатков; 5) аммоний, фиксированный в глинистых минералах; 6) газообразный азот в почвенном воздухе.

Элементарный азот (N_2) в газообразной форме содержится в почвенном воздухе и в растворенной форме в почвенном растворе. В сухих почвах он адсорбирован на поверхности твердых частиц. Однако элементарный азот обычно не учитывается, так как он не имеет непосредственного значения для растений, у которых нет симбиотических отношений с азотфиксирующими микроорганизмами, и он имеется в достаточном количестве, как для симбиотической, так и для не симбиотической фиксации.

Минеральный азот находится в почвах в форме закиси азота N_2O , окиси азота NO , двуокиси азота NO_2 , аммиака NH_3 , аммония NH_4^+ , нитрита NO_2^- и нитрата NO_3^- . Первые четыре соединения – это газы, которые присутствуют в концентрациях недостаточно больших, чтобы их можно было обнаружить. Последние три – это ионные формы, встречающиеся в почвенном растворе.

Органический азот можно разделить на легко-, трудно- и негидролизующую фракции. Резервом доступного для растений азота является легкогидролизуемый азот. Его содержание в почвах составляет 2-5 % валового количества азота. Это азот, который может быть минерализован. Однако по валовому количеству нельзя делать прогноз об обеспеченности растений азотом, как элементом питания.

Основную роль в азотном питании растений играют минеральные формы азота: окисленная (NO_3^-) и восстановленная (NH_4^+). Минерального азота содержится в среднем от 50 кг/га в пахотном слое дерново-подзолистых суглинистых почв до 100 кг/га и более в черноземных, что составляет 0,5-1 % валового количества азота в почвах. За вегетационный период растениями усваивается около 40 % минерального азота.

Аммонийный азот образуется в почвах в результате жизнедеятельности аммонифицирующих гетеротрофных микроорганизмов. Большая часть аммония находится в обменной и необменной формах. Аммонийный азот входит в состав обменных катионов и составляет 0,3-0,4 % от суммы обменных оснований (обменный аммоний), является компонентом почвенного раствора – 5-6 мг/л (водорастворимый аммоний). Содержание обменного и воднорастворимого аммония зависит от типа почв, численности аммонифицирующих бактерий и изменяется в динамике; по профилю распределен равномерно. Основная часть аммонийного азота находится в поглощенном состоянии. Так в дерново-подзолистых почвах воднорастворимого аммония в 5-7 раз меньше, чем обменно-поглощенного.

Необменный аммоний может встречаться в трех главных формах. Первая – это кристаллические соединения, образующиеся из составных частей раствора. Вторая форма – включение аммония в первичные силикатные минералы, подобные слюдам и полевым шпатам, где он занимает места принадлежащие калию. Третья форма – это положение между слоями кристаллической решетки минералов, подобных вермикулиту и иллиту, в тех же местах, где калий также может удерживаться в необменной форме. Третья форма имеет наибольшее значение в почвах, содержащих значительные количества вермикулита и иллита. Необменный аммоний составляет 4-8 % от общего содержания азота в верхнем слое различных почв (Блэк К.Э., 1973).

Образование нитратного азота в почвах происходит благодаря биологическому окислению NH_3^+ , $(\text{NH}_4)^+$ до NO_3^- в результате микробиологического процесса нитрификации, который осуществляется двумя группами автотрофных бактерий. Бактерии *Nitrosomonas* окис-

ляют аммиак до азотистой кислоты, а Nitrobakter – азотистую кислоту до азотной.

Различают три группы нитратного азота в почве: свободный, подвижный, адсорбированный.

1. Свободный нитратный азот. Находится в почвенном растворе (30-60 мг/л), может передвигаться по профилю почв, хорошо поглощается корнями растений; часть нитратного азота подвергается денитрификации.
2. Подвижный нитратный азот – это адсорбированный NO_3^- , легко переходящий в почвенный раствор из твердой фазы после высыхания почвы и последующего ее увлажнения.
3. Адсорбированный NO_3^- находится в твердой (коллоидной) фазе почв в обменном состоянии. Активно обменивается на фосфат-ион.

Подвижный и адсорбированный нитратный азот не подвергается вымыванию и денитрификации, так как находится в почве в виде поглощенных ионов.

В лесных почвах преобладает аммонийный азот. При распашке лесных почв процесс нитрификации активизируется, преобладает количество нитратного азота.

Содержание N- NO_3 в пахотных почвах зависит от типа почв, степени их окультуренности, состава глинистых минералов. Об уровне обеспеченности сельскохозяйственных культур свободным нитратным почвенным азотом судят по нитрификационной способности почв (прил. 1). Для расчета доз азотных удобрений для получения планируемого урожая сельскохозяйственных культур необходимо знать содержание минерального азота в почвах.

Таким образом, Э.И. Шконде и И.Е. Королева весь азотный фонд почвы разделили на четыре фракции (группы): 1- минеральная (нитратный, нитритный, обменный аммоний); 2 – легкогидролизуемая (амиды, часть аминов); 3 – трудногидролизуемая (амины, часть амидов, гумины, необменный аммоний); 4 – негидролизуемая (азот гуминов, меланинов, битумов, необменный аммоний).

Групповой состав органических соединений азота для трех главных типов почв приведен в таблице 16.

Соотношение различных соединений азота даже в контрастных по свойствам и генезису почвах довольно устойчиво. Во всех случаях преобладают негидролизуемые соединения азота. В черноземе они составляют около 40-45 % всего запаса азота, в сероземе немного меньше – около 40 %, в дерново-подзолистой почве – около 30 %. Такое соотношение обусловлено повышенной биологической активно-

стью чернозема и серозема, в которых более быстро разлагаются лабильные соединения азота и относительно легко накапливаются более устойчивые негидролизуемые формы.

Таблица 16

Содержание различных соединений азота в почвах
в слое 0-20 см, кг/га (Орлов Д.С., 2004)

Группа	Дерново- подзолистая почва	Типичный чернозем	Серозем
Весь азот	3560	9890	3420
Азот аминогрупп	425	1010	400
Аммонийный азот	500	1040	650
Азот аминсахаров	400	670	220
Негидролизуемый азот	1080	4340	1400

Фракционный состав азота находится в соответствии с запасом гумуса и общего азота (табл. 17). Экспериментальные данные А.С. Пискунова показывают, что большая часть азота (72-76 %) дерново-подзолистых почв представлена негидролизуемой фракцией, то есть азотом гуминов, меланинов, битумов, необменным аммонием. При внесении органических и минеральных удобрений происходит накопление этой фракции азота, она составляет основную часть баланса в азотном фонде почв, которая недоступна растениям.

На долю трудногидролизуемой фракции приходится 17-19 %. Фракция трудногидролизуемого азота является наиболее стойкой в процессе минерализации и слабее вовлекается в биологический круговорот.

При внесении удобрений и возделывании сельскохозяйственных культур содержание этой фракции может снижаться за счет перехода азота в более подвижные формы, в результате чего происходит накопление легкогидролизуемого (8-10 %) и минерального азота. Чем больше вносится азотных удобрений, тем больше минерального (особенно нитритного) азота вымывается в подпахотные горизонты. При умеренных дозах (не больше 60 кг/га) происходит наиболее полное и рациональное использование азота растениями.

Дерново-подзолистые почвы Предуралья, бедные органическим веществом, обладают низким плодородием. При внесении азотных удобрений повышается плодородие, а вместе с ним и содержание подвижных форм азота.

В сравнении с высокогумусным оподзоленным черноземом, дерново-глеевой и серой лесной почвами для дерново-подзолистых почв

Предуралья характерна повышенная мобильность органических соединений азота и меньшая устойчивость к гидролизу и минерализации.

Подвижные формы азота определяются по широко распространенным методикам (табл. 18).

В каждом годичном цикле часть органического азота в почве минерализуется, и часть минерального азота иммобилизуется, часть почвенного азота теряется, а часть вновь поступает в почву. Статьи прихода и расхода азота образуют его баланс в почве. Потери азота из почвы: вынос с урожаем; вымывание; превращение в газообразную форму; эрозия. Поступление азота в почву происходит за счет: не симбиотической фиксации – это процесс, в результате которого определённые свободноживущие организмы превращают элементарный азот в органические соединения; симбиотической фиксации – это процесс превращения элементарного азота в органические формы благодаря симбиозу или связи между двумя видами растений; поступления с осадками; внесения удобрений.

Основные приемы регулирования азотного режима заключаются в следующем:

- в увеличении органической части в твердой фазе почвы путем внесения органических удобрений, использовании органических остатков (стерни, соломы), возделывании сидеральных культур, совершенствовании севооборота - повышение в нем доли культур сплошного посева (многолетних трав);

- увеличение содержания в почве подвижных форм азота путем внесения минеральных удобрений;

- повышение эффективности использования азота почвы путем регулирования реакции почвенного раствора, уменьшении темпов минерализации органического вещества почвы за счет снижения интенсивности обработки почвы;

- использование кальцийсодержащих соединений (известки, доломитовой муки, мергеля);

- совершенствование способов внесения азотных удобрений (дробное внесение);

- совершенствование структуры посевных площадей и чередования культур в севооборотах;

- улучшение агрофизических свойств почвы и повышение общей культуры земледелия.

Таблица 17

Фракционный состав азота дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, мг/кг
(по данным кафедры агрохимии ПГСХА Пискунова А.С., 1994)

Горизонт, слой, см	Гумус, %	Влажность, %	Общий азот	минеральный		Легкогидролизуемый	Трудногидролизуемый	Негидролизуемый
				N-NO ₃	N-NH ₄			
A _{пах} 0-30	2,33	15,7	1442	2,6	30,2	185,6	319,2	904,4
B ₁ 30-54	0,72	15,6	1022	4,2	33,9	166,3	193,2	624,4
B ₂ 54-87	0,36	18,4	742	6,1	41,7	132,4	206,2	355,6
B ₂ C 87-110	0,37	18,4	462	5,2	30,8	129,2	165,2	131,6
C 110-135	0,28	19,2	287	5,5	38,5	105,8	57,4	79,8

Таблица 18

Формы подвижного азота и методы извлечения из почвы
(Пискунов А.С., 2004)

Формы определяемого азота	Вытяжка	Предполагаемый состав извлекаемых соединений азота	Автор
Нитритный	Водная	N – NO ₃	Грандваль – Ляжу
Обменно- поглощенный	Солевая (2% KCl)	N – NH ₄	Важенин, модификация ЦИНАО
Минеральный	Солевая (1н KCl)	N – NO ₃ + N – NH ₄ , частично амиды	ВИУА (В.Б. Замятина)
Легкогидролизуемый	0,5 н H ₂ SO ₄	N – NO ₃ , N – NH ₄ , часть амидов и аминов	Тюрин, Кононова
Окисляемый	30 % NaOH+5 % KMnO ₄	N – NO ₃ , N – NH ₄ , обменный и частично фиксированный N – NH ₄ , аминоксахара и др.	Крисджи и Меркли
Щелочно-гидролизуемый	1н NaOH, компостирование 48 ч при t 28 ⁰	N – NH ₄ , частично N – NH ₄ обмен-ный, частично N – NH ₄ фиксиро-ванный, амиды, амины, аминокса-хара, моноаминокислоты и др.	Корнфилд
Биологически активный (нитрификационная способность)	14-7 – дневное компости-рование при t 28 ⁰	N – NO ₃ после компостирования без вычета ис-ходного содержания	Кравков, 1927, моди-фикация Болотиной

3.2. Фосфор в почвах

Фосфор играет исключительно важную роль в процессах обмена энергии в растительных организмах. Энергия солнечного света в процессе фотосинтеза и энергия, выделяемая при окислении ранее синтезированных органических соединений в процессе дыхания, аккумулируется в растениях в виде энергии фосфатных связей у макроэнергетических соединений, важнейшим из которых является аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Накопленная в АТФ энергия используется для всех жизненных процессов роста и развития растения, поглощения питательных веществ из почвы, синтеза органических соединений, их транспорта.

При недостатке фосфора нарушается обмен энергии и веществ в растениях. Особенно резко дефицит фосфора сказывается у всех растений на образовании репродуктивных органов, тормозит развитие и задерживает созревание, вызывает снижение урожая и ухудшение качества продукции.

В почву фосфор поступает с растительными и животными остатками, удобрениями; значительная часть его привносится почвообразующей породой. Некоторая часть фосфора поступает с атмосферными осадками, с космической и атмосферной пылью и техногенным путем.

Фосфор относительно устойчив в почве и не теряется так легко как N в результате улетучивания и вымывания. Высокая устойчивость (низкая растворимость) фосфора в почвах является непосредственной причиной недостатка почвенного фосфора для растений. Если бы растворимость фосфора можно было повысить, то небольшие количества фосфора в почве быстро приобрели бы первостепенное значение.

Фосфор является «дефицитным» элементом, так как в мире запасы фосфатного сырья (апатитов и фосфоритов) для производства удобрений невелики. Общие запасы фосфора (валовой) в почвах невысокие и составляют 0,05-0,25 % (от 1 до 5 т/га в пахотном слое 0-20 см). Большая часть (примерно 90 %) его находится в неусвояемой или трудноусвояемой для растений форме, а фосфор удобрений сильнее, чем азот и калий, закрепляется почвами в неподвижные формы. Естественных путей возобновления запасов фосфора в отличие от азота в почвах нет.

Общее количество фосфора в почвах с увеличением плодородия возрастает (табл. 19). Содержание валового фосфора в почвах различного типа изменяется менее существенно, чем азота.

Таблица 19

Валовой запас фосфора в пахотном слое почв
по В.М. Клечковскому и А.В. Петербургскому (Муха В.Д., 2003)

Почва	P ₂ O ₅	
	%	т/га
Дерново-подзолистая песчаная	0,03-0,06	0,9-1,8
Дерново-подзолистая суглинистая	0,04-0,12	1,2-3,6
Чернозем	0,1-0,3	3,0-9,0
Серозем	0,08-0,2	2,4-6,0

В почве фосфор находится в форме органических и минеральных соединений. На долю органических соединений фосфора в почвах приходится от 10-20 до 70-80 % всех запасов фосфора (табл. 20). Поэтому органическое вещество почвы – резерв подвижного фосфора.

Таблица 20

Соотношение органических и минеральных фосфатов
в гумусных горизонтах различных почв,
мг P₂O₅/100 г почвы (Гинзбург К.Е., 1980)

Почвы	Валовой фосфор	Органический фосфор	Органический фосфор, % от валового
Дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые	105	27	25,7
Дерново-подзолистые суглинистые	117	32	27,4
Серые лесные	148	66	44,6
Черноземы выщелоченные	198	142	71,7
Черноземы типичные	172	79	45,9
Черноземы южные карбонатные	148	75	50,7
Каштановые	149	34	22,8
Сероземы	146	20	13,7
Субтропические почвы	113	42	37,2

Органические соединения представлены нуклеиновыми кислотами, нуклеопротеидами, фосфатидами, сахарофосфатами и др. значительная часть фосфора входит в состав гумусовых веществ. Так, в гуминовых кислотах содержится до 50-80 % всего органического фосфора почвы. Растительные остатки также богаты этим элементом. Фосфор органических соединений переходит в доступную форму после минерализации их микрофлорой.

Минеральные соединения фосфора содержатся в почвах в виде солей кальция, магния, железа и алюминия ортофосфорной кислоты.

Ортофосфаты щелочных металлов и аммония хорошо растворимы в воде. Однозамещенный ортофосфат кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ так же хорошо растворим в воде, а двузамещенный ортофосфат кальция $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растворяется значительно хуже. Трехзамещенные фосфаты двух- и трехвалентных катионов очень плохо растворяются в воде. Фосфор может находиться в почве в составе минералов апатита, фосфорита, вивианита, а также в поглощенном состоянии в виде фосфат-аниона.

Кислые почвы содержат химически активные формы железа и алюминия, которые поглощают фосфат-ион и удерживают его в труднодоступном состоянии. В нейтральных или слабощелочных почвах преобладают фосфаты кальция – это почвы степей, полупустынь, пустынь.

Минеральные фосфаты – основной источник фосфора для растений. Фосфор органических соединений усваивается после их минерализации. Наиболее благоприятная реакция среды для усвоения растениями фосфат-ионов – слабокислая (рН – 5,0-5,5).

Среднее содержание фосфора для почв подзолистого типа составляет 0,1-0,5 %, причем минеральные формы фосфатов преобладают над органическими (табл. 21).

Содержание органического фосфора в почвах связано с содержанием в них органического вещества, величиной рН, гидротермическим режимом и системой обработки почв. Поэтому вопросы содержания различных форм почвенных фосфатов в дерново-подзолистых почвах Пермского края позволяют правильно оценить фосфатный режим почв и наметить пути оптимального применения фосфорных удобрений.

Таблица 21

Содержание органических и минеральных фосфатов в слое 0-50 см в дерново-мелкоподзолистых среднесуглинистых почвах Предуралья (Дьяков В.П., 1987)

Место заложения разреза	$\text{P}_2 \text{O}_5$, мг/кг			$\text{P}_2 \text{O}_5$, % от валового	
	валовой	в том числе		органический	минеральный
		орган.	минер.		
ГСУ, среднекультуренная, среднепахотная	4,27	1,4	2,9	25,6	74,7
Колхоз, слабокультуренная	4,43	1,8	2,6	40,6	59,4
Лес смешанный, целинная, среднедерновая	5,20	1,4	3,8	27,0	73,0

В почвах происходит медленная и постепенная потеря фосфором растворимости, что возможно в результате следующих процессов:

- проникновения фосфат-ионов в межплоскостные пространства глинистых минералов;
- образования железистых конкреций и поглощения ими фосфат-ионов, а также включения фосфат-ионов в минералы типа гетита или гиббсита в процессе кристаллизации соответствующих гидроксидов;
- фиксации фосфатов в карбонатной среде, когда рН поднимается выше 8, и фосфаты переходят в менее растворимое и более окристаллизованное состояние.

Доступность фосфора растениям у почв разных типов неодинакова. Сравнительно легко переходит в раствор фосфор, удерживаемый глинистыми минералами глиногумусового комплекса. В кислых почвах доступность фосфора растениям резко падает вследствие связывания его свободным алюминием и включения в железистые конкреции. При высоком содержании карбонатов доступность фосфора растениям также низкая.

Фосфор в твердой фазе почв по доступности растениям подразделяется на пять групп (по Ф.В. Чирикову):

- I. Наиболее доступны растениям, легко переходят в раствор (фосфаты NH_4^+ , одно- и двузамещенные фосфаты Ca и Mg, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$).
- II. Ближайший резерв фосфора для питания растений - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, часть фосфора фосфорита и апатита, часть AlPO_4 и часть органических фосфатов.
- III. Труднодоступные фосфаты железа и алюминия, фосфорита, апатита, фитина.
- IV. Фосфаты органического вещества почвы, непосредственно растениям недоступны.
- V. Фосфаты невыветрившихся минералов, непосредственно растениям недоступны.

Количество форм соединений фосфора в почвах зависит от типа почв, содержания гумуса, минералогического и гранулометрического составов, изменяется по генетическим горизонтам (табл. 22).

Фосфор содержится в твердой фазе почв в адсорбированном состоянии, а в почвенном растворе (0,1-0,3 мг/л) в виде фосфат-ионов (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}).

Для извлечения фосфата из твердой фазы почв применяются различные химические методы. По количеству подвижного фосфора проведена агрономическая группировка почв, которую используют для характеристики почвенных условий питания растений фосфором,

составления картограмм и расчетов доз фосфорных удобрений (прил. 2). За вегетационный период растения используют 5-10 % фосфора от содержания подвижных фосфатов в почвах, то есть непосредственно усвояемый фосфор. Его количество зависит от особенностей химического состава органической и минеральной частей почв, их кислотности, гранулометрического состава.

Таблица 22

Валовой и подвижный фосфор в дерново-подзолистых почвах Краснокамского района Пермского края (Дьяков В.П., 1989)

Почва	Горизонт, глубина образца, см	Валовой P_2O_5 , %	Подвижный P_2O_5 , мг/кг	Подвижный P_2O_5 , % от валового
Дерново-неглубоко-подзолистая тяжело-суглинистая	A _п 0-23	0,099	73	0,73
	A ₂ 23-30	0,078	60	0,60
	A ₂ B ₁ 30-37	0,063	102	1,6
	B ₁ 50-60	0,073	119	1,63
	B ₂ 75-85	0,079	97	1,20
	B ₂ C 100-110	0,051	106	2,06
	C 150-160	0,067	102	1,52
Дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая среднесмытая	A _п 0-24	0,099	42	0,42
	B ₁ 35-45	0,059	48	0,81
	B ₂ 60-70	0,060	60	1,00
	B ₂ C 100-110	0,089	117	1,31
	C 110-120	0,079	15	0,19

Вынос фосфора в грунтовые и дренажные воды незначителен, в связи с его способностью закрепляться в почве и слабой подвижностью.

Почвы, хорошо обеспеченные фосфорной кислотой, отличаются хорошим структурным состоянием, высокой биологической активностью, так как фосфорная кислота оказывает положительное действие на жизнь бактерий в почве.

Способы регулирования фосфорного режима:

- внесение минеральных фосфорных удобрений;
- внесение органических удобрений;
- для повышения усвояемости почвенных фосфатов на кислых почвах необходимо проводить известкование, которое способствует растворению фиксированного фосфора и повышает его доступность растениям;
- возделывание растений с глубокой корневой системой и высокой растворяющей способностью труднодоступных фосфатов. Особенно хорошей растворяющей способностью обладают люпин, гор-

чица, гречиха, люцерна, клевер и другие бобовые, в меньшей степени рожь и кукуруза могут растворять труднодоступные соединения фосфора с помощью своих относительно мощных корневых систем и благодаря этому мобилизовать их в круговорот фосфора;

- тщательное перемешивание фосфорных удобрений с почвой.

3.3. Калий в почвах

Калий участвует в процессах синтеза и оттока углеводов в растениях, обуславливает водоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к засухе и поражаемость культур болезнями. При недостатке калия клетки растут неравномерно, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев.

Валового калия в почвах больше, чем азота и фосфора, вместе взятых – до 2-3 % (30-50 т/га в пахотном слое), что зависит от минералогического, гранулометрического составов и содержания гумуса (табл. 23).

Таблица 23

Валовой запас калия в пахотном слое почв
по В.М. Ключковскому и А.В. Петербургскому, (Муха В.Д., 2003)

Почва	K ₂ O	
	%	т/га
Дерново-подзолистая песчаная	0,5-0,7	15-21
Дерново-подзолистая суглинистая	1,5-2,5	45-75
Чернозем	2,0-2,5	60-75
Серозем	2,5-3,0	75-90

На почвах тяжелого гранулометрического состава валовое содержание калия может составлять 2 % и более. Значительно меньше калия в почвах легкого гранулометрического состава. Почвы с высоким содержанием органического вещества, особенно торфяные, содержат меньше валового калия, чем бедные, малогумусные почвы.

В.И. Пчелкин (1966) подразделил валовой или общий калий по степени участия в питании растений на следующие группы (фракции).

1. Водорастворимый калий (полностью доступен растениям).
2. Обменный или обменно-поглощенный калий (хорошо доступный для растений).
3. Подвижный калий (сумма водорастворимого и обменного).

4. Необменный гидролизуемый калий (труднодоступный или резервный), служащий резервом для питания растений.

5. Кислоторастворимый калий, объединяющий все четыре предыдущие группы.

6. Необменный калий, определяемый по разнице между валовым и кислоторастворимым калием.

7. Органический калий, входящий в состав пожнивно-корневых остатков и микроорганизмов почвы.

Для характеристики калийного состояния почв определяют количество калия в почве в различной форме – валовое содержание калия, подвижный, обменный, кислото-водорастворимый.

Водорастворимый калий находится в почве в виде солей органических и минеральных кислот. Эта форма калия составляет в дерново-подзолистых почвах десятые и сотые доли от валового калия либо 10-20 % от обменного или подвижного калия (Петербургский А.В., 1963). В почвенных растворах Нечерноземной зоны России содержится 30-40 мг/л калия (K_2O).

К обменной форме калия относится калий диффузного слоя почвенных коллоидов, который служит основным источником питания растений. Обменный (резервный) калий, содержание которого может колебаться от 5 до 30 мг на 100 г почвы и выше, составляет 1-5 % от валового калия почвы, необменная форма калия – до половины его валового содержания и при определенных условиях способна усваиваться растениями. Количество обменного калия изменяется по генетическим горизонтам почв. Часть необменного калия может переходить в обменную форму по мере истощения запасов. При этом содержание различных форм калия находится в динамическом равновесии. Во влажные годы в почве содержится больше доступного калия, чем в засушливые, потому что в сухой почве усиливается фиксация калия.

Необменный или необменно-фиксированный калий непосредственно в питании растений не участвует, содержание его в почве отражает потенциальные запасы калия, которые при определенных условиях могут переходить в обменно-поглощенное состояние.

В.Г. Минеев (1999), ссылаясь на исследования почвенного института им. В.В. Докучаева, приводит следующие данные о содержании валового, обменного и необменного калия в почвах (табл. 24).

Содержание валового калия в почвах Пермского края колеблется в пределах почвенного профиля от 0,86 до 2,44 %. Несмотря на значительное содержание калия в почве, растения могут страдать от

его недостатка, так как основная масса этого элемента находится в недоступной форме кристаллической решетки почвенных минералов (табл. 25).

Таблица 24

Содержание калия в пахотном слое различных почв

Почвы	Валовой, %	Обменный, мг/кг	Необменный, мг/кг
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	1,2	40-90	350-500
Дерново-подзолистые тяжело-суглинистые и глинистые	2,23	200-250	1300-1800
Светло-серые и серые	1,92	40-100	1800-2500
Темно-серые	2,03	80-150	1800-2500
Черноземы оподзоленные и выщелоченные	2,23	120-300	2000-3000
Черноземы обыкновенные и южные	2,01	400-500	3000-4500
Каштановые	2,27	250-400	3000-4500
Сероземы	2,29	500-600	3000-5500

В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин (2000) предлагают для характеристики плодородия почвы выделять четыре фракции калия, которые в природной почве неразрывно связаны между собой и постоянно меняются для достижения равновесия.

1. Калий минерального скелета – основная часть калия почвы, обусловленная почвообразующими калийсодержащими первичными и вторичными минералами, в основном недоступная для растений.

2. Калий необменный – часть калия почвы, находящаяся в структуре слюдоподобных минералов и органоминеральных комплексов, частично доступная для растений.

3. Калий обменный – часть калия почвы, расположенная на поверхности органоминеральных коллоидов и на специфических позициях вторичных минералов. Эта фракция калия считается доступной для растений.

4. Калий почвенного раствора – находящийся в водорастворимой форме, является непосредственным источником питания для растений. Содержание его в почвенном растворе невелико и составляет около 1/10 части количества обменного калия.

Таблица 25

Формы калия в дерново-подзолистых почвах Кишертского района Пермского края
(Дьяков В.П. 1985, 1991)

Почва	Горизонт, глубина см	Валовой		Водорастворимый		Обменный		Необменный		Нераствор. силикатов и орг. части, %
		%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	
Дерново-слабоподзолистая средне-суглинистая	A ₁ 3-25	1,40	14000	0,19	26	0,59	83	6,6	930	92,19
	A ₂ 25-30	0,73	7340	0,21	16	0,80	59	5,1	380	92,52
	B ₁ 30-47	0,72	7200	0,34	25	1,60	115	5,6	400	93,89
	B ₂ 47-70	0,82	8200	0,45	37	2,04	168	9,5	780	88,01
	B ₂ C ₂ 90-100	1,41	14100	0,39	55	0,96	135	7,2	1010	94,49
	C 110-125	1,16	11600	0,39	46	1,37	161	9,1	1050	89,19
Дерново-мелкоподзолистая тяжело-суглинистая	A _{пах} 0-20	1,86	18600	0,06	11,0	0,89	164	2,1	400	96,85
	A ₂ 20-30	1,27	12700	0,10	12,8	1,51	193	3,0	390	95,39
	A ₂ B ₁ 30-40	1,21	12100	0,22	27,0	0,89	104	2,5	310	96,39
	B ₁ 40-60	1,13	11300	0,09	10,5	1,16	132	8,4	950	90,35
	B ₂ C 100-120	1,36	13600	0,22	30,6	0,76	108	3,0	410	96,02
	C 120-130	1,22	12200	0,09	10,5	1,24	125	5,9	720	92,00
Дерново-мелкоподзолистая тяжело-суглинистая целинная (лес смешанный)	A ₀ 0-3	1,72	17230	0,20	35	0,14	72	7,98	1375	91,41
	A ₁ 3-18	2,01	20130	0,21	42	0,75	152	6,68	1344	92,36
	A ₂ 18-29	1,91	19120	0,13	25	0,62	120	5,12	980	94,36
	A ₂ B ₁ 29-38	1,95	1540	0,12	23	0,51	100	4,76	930	94,61
	B ₁ 38-48	1,97	19710	0,12	23	0,61	120	5,45	1075	93,82
	B ₁ 58-68	1,917	19710	0,13	25	1,04	200	9,55	1831	89,28
	B ₂ 70-80	2,11	21110	0,12	25	0,9	200	10,81	2287	88,12
	B ₂ 80-90	2,11	21140	0,12	26	0,99	210	10,35	2190	88,55
	B ₂ C 120-130	1,86	18630	0,13	25	1,07	200	9,26	1725	89,54
	B ₂ C 160-170	1,99	19990	0,13	27	1,10	220	8,46	1686	90,31
C 190-200	1,98	19890	0,13	25	1,16	230	6,76	1344	91,95	

Суммарное содержание воднорастворимого и обменного калия в почве не всегда является показателем обеспеченности почв калием, доступным для питания растений. Д.Н. Прянишников (1963) отмечал некоторое равновесие между калием почвенного раствора, обменным и необменным. По мере использования воднорастворимого и обменного происходит постепенное освобождение прочно связанного калия силикатов и переход его в состояние, способное к обмену. Необменный калий составляет 2,1-9,1 % от его валового содержания.

Калийное состояние почв определяется не только по соотношению различных форм калия, но и его резервов и калийного потенциала. Резервы калия распределяются следующим образом. Общий резерв соответствует валовому содержанию калия в почве и включает в себя непосредственный, ближний и потенциальный резервы. Непосредственный резерв представлен калием, извлекаемым из почвы 1н раствором уксуснокислого аммония. Этот резерв непосредственно используется растениями в первую очередь. Ближний резерв калия – калий илистой фракции, используется растениями после истощения непосредственного резерва. Потенциальный резерв представлен калием фракций крупнее 0,001 мм, который находится в почве в прочносвязанном состоянии и может постепенно восполнять ближний и непосредственный резервы. Высокая культура земледелия способствует увеличению непосредственного и ближнего резервов.

Показателем обеспеченности растений калием считается содержание в почве обменного калия. Однако характеристика калийного состояния почвы должна отражать степень доступности его растениям, что соответствует калийному потенциалу любой почвы. Калийный потенциал характеризует способность ионов калия почвенного поглощающего комплекса переходить из твердой фазы почвы в почвенный раствор.

Важную роль в обеспеченности почв калием играет их минералогический состав, а содержание первичных и вторичных минералов служит показателем потенциального эффективного плодородия почв в отношении калия.

Большое значение в питании растений имеет не только обеспеченность доступным калием, но и степень его подвижности. По запасам и подвижности обменного и необменного калия и по значению этих двух форм для питания растений почвы подразделяют на две группы:

1. Почвы с большим запасом и большой подвижностью обменного калия, с большим запасом и малой подвижностью обменного калия - черноземы и др. почвы.

2. Почвы с небольшим запасом и малой подвижностью обменного и большой подвижностью обменного калия – дерново-подзолистые, серые лесные и др.

Поэтому в почвах первой группы растения обеспечиваются калием при высоком его содержании, а в дерново-подзолистых, серых лесных почвах – при низком.

Высокая подвижность обменного калия характерна для целинных почв. Применение органических и минеральных удобрений на фоне известкования резко снижает подвижность калия, предохраняя его от вымывания вглубь профиля почвы. Внесение удобрений, известкование дерново-подзолистых почв предотвращают потери калия. Частое и обильное применение калийных солей на средних и тяжелых почвах приводит к образованию корки, заплыванию и уплотнению почвы, особенно на почвах ненасыщенных кальцием. Калий закрепляется в почве тем сильнее, чем меньше степень насыщенности основаниями. Высокое содержание кальция и гумуса улучшают калийный режим. Внесение калийных удобрений, особенно в форме K_2SO_4 , способно увеличить количество органического вещества в почве, так как сульфаты функционально участвуют в образовании гумуса.

Разработана группировка почв по содержанию в почвах обменного калия (прил. 3) с учетом гранулометрического состава. Ее используют для характеристики почвенных условий питания растений калием, для расчетов доз калийных удобрений и составления картограмм. Растения усваивают 10-20 % калия от его форм.

Оптимизация калийного питания достигается внесением органических и минеральных удобрений, химическими мелиорациями, направленными на увеличение емкости катионного обмена.

3.4. Микроэлементы в почвах

К числу микро- и ультрамикроэлементов относятся все элементы 5-, 6- и 7-го периода системы Д.И. Менделеева, большая часть элементов 4-го периода и некоторые элементы 2-го периода.

Строгое учение о микроэлементах было создано трудами многих отечественных и зарубежных ученых (В.И. Вернадский, А.П. Виноградов, К.К. Гедройц, Д.Н. Прянишников, В.В. Ковальский, В.А. Ковда, Р. Митчел, А. Пейлж, Дж. Ходсон, Н.Г. Зырин).

Микроэлементы играют важную биохимическую и физиологическую роль в жизни растений, животных и человека. Неблагоприятными являются как недостаток микроэлементов в питании, так и избыток.

На долю всех микроэлементов (если не считать Mn и Fe, которые в ряде случаев выполняют такую же роль) приходится менее 1 %. Среднее содержание некоторых микроэлементов в почве и в других элементах биосферы приведено в таблице 26.

Таблица 26

Среднее содержание некоторых элементов в биосфере, мг/кг
(Виноградов А.П., 1950)

Элемент	Литосфера	Почва	Растения (зола)
Li	32	30	11
Be	4	6	2
B	12	1	400
F	660	200	10
Na	25000	6300	20000
Mg	18700	6300	70000
P	930	800	70000
S	470	850	50000
Ti	4500	4600	1000
V	90	100	61
Cr	83	200	250
Mn	1000	850	750
Co	18	10	15
Ni	58	40	50
Cu	47	20	200
Zn	85	50	900
Se	0,05	0,01	-
Mo	1,1	2	20
I	0,4	5	50
Au	0,004	-	1
U	2,5	1	0,5

Соотношение содержания в почвах и литосфере для многих микроэлементов довольно сходное: чем больше элемента в литосфере, тем больше его в почве, однако строгой пропорциональности нет. Если, например, содержание лития в почвах и литосфере почти одинаковое, то серы больше в почвах, а никеля, меди, цинка больше в литосфере. Одна из причин такого распределения – аккумуляция многих элементов живыми организмами после отмирания которых микроэлементы попадают, прежде всего в почву. Это отчетливо видно на

примере элементов - биофилов, содержание которых в золе растений во много раз выше, чем в литосфере и почвах (Mo, Zn, Cu, I, B).

Положительное действие микроэлементов обусловлено тем, что они принимают участие в окислительно-восстановительных процессах, углеводном и азотном обменах, повышают устойчивость растений к болезням и неблагоприятным условиям внешней среды. Под влиянием микроэлементов в листьях увеличивается содержание хлорофилла, улучшается фотосинтез. Многие микроэлементы входят в активные центры ферментов и витаминов. Микроэлементы влияют на проницаемость клеточных мембран и поступление элементов питания в растения. Например, марганец способствует избирательному поглощению ионов из внешней среды; при его исключении повышается содержание ряда элементов в растениях. Марганец влияет на передвижение фосфора из стареющих листьев к молодым. Кобальт, медь, бор улучшают поступление в растения азота. Цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния. Поступление магния в растения улучшается при достаточном обеспечении медью, цинком бором.

Экспериментально доказано, что микроэлементы необходимы для многих важнейших биохимических процессов; недостаток элементов замедляет эти процессы и даже останавливает. Для белкового, углеводного и жирового обмена необходимы Mo, Fe, V, Co, W, B, Mn, Zn; в синтезе белков участвуют Mg, Mn, Fe, Co, Cu, Ni, Cr; в кроветворении – Co, Cu, Mn, Ni, Zn; в дыхании – Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Co.

Исследования ученых показали, что даже при малом содержании многие микроэлементы могут существенно повлиять на процессы почвообразования и активно в них участвовать. Все почвенные биохимические процессы накопления, трансформации, переноса органических соединений в экосистеме во многом зависят от уровня содержания и набора микроэлементов. В тоже время микроэлементы стимулируют деятельность микроорганизмов. В результате интенсифицируются процессы образования гуминовых веществ из растительных остатков.

На содержание и распределение микроэлементов по генетическим горизонтам активно влияют многие процессы формирования почвенного профиля (табл. 27). При гумусово-аккумулятивном процессе они накапливаются в верхней части профиля почв. Интенсивное развитие элювиальных процессов (оподзоливание, лессиваж, осолодение) сопровождается обеднением почв и выносом элементов из отдельных горизонтов, накоплением в иллювиальных и глеевых горизонтах.

В процессе почвообразования происходит перераспределение микроэлементов в почвенном профиле, вследствие чего они накапливаются или вымываются из верхних горизонтов, их содержание может увеличиваться в результате внесения удобрений, техногенных загрязнений, вблизи вулканов и др. Поэтому выделяются территории с недостаточным или избыточным содержанием микроэлементов. Такие территории А.П. Виноградов назвал биохимическими провинциями.

Таблица 27

Участие микроэлементов в важнейших почвенных процессах
(Ковда В.А., 1973)

Процесс	Почвы или почвенные образования	Накапливающиеся микроэлементы
Малый биологический круговорот	Растительный опад свежий или частично разложившийся	Mo, Zn, Cu, B, I, Br, Se, Ni, U, Ba, Mn, Sr, V
Синтез гумуса	Гуминовые вещества	B, I, Mn, Co, Cu, Mo, Zn, Ni, Pb, Br, F
Образование глин и синтез коллоидов	Высокодисперсная часть почвы	Mn, Fe, Cu, Co, V, Cr, Ni, Mo, Li, Rb, Cs, Ba, Sr, Pb, Zn, Mn, V, I, B
Иллюирование	Иллювиальные горизонты	Cu, Ni, Co, V, Cr, Zn, Mo, B
Оглеение	Глеевый горизонт	Mn, Co, Cu, V
Гидрогенная аккумуляция	Северные луговые почвы Южные луговые почвы Солончаки Тропические латериты	Mn, Cu, Ni, V, Co, B Ba, Sr, B B, I, F, Li, Rb, Cs, Zn, Ca, Co Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu

В.В. Ковальский (1970) разрабатывал биогеохимическое районирование территории России на основании, которого выделил четыре главные биогеохимические зоны.

Таежно-лесная нечерноземная зона. Реакции живых организмов в этой зоне обусловлены недостатком кальция, фосфора, кобальта (73 % всех почв), меди (70 %), йода (80 %), молибдена (53 %), бора (50 %), цинка (49 %), оптимумом содержания марганца (72 %), относительным избытком, особенно в поймах рек, стронция (15 %).

Лесостепная и степная черноземная. В этой зоне характерно оптимальное содержание в почве кальция и кобальта (96 % для серых лесных и 77 % для черноземных), меди (72-75 %), марганца (71-75 %), йод, цинк, молибден сбалансированы с другими элементами. Иногда наблюдается недостаток подвижного марганца.

Сухостепная, полупустынная, пустынная. На живые организмы влияют повышенные уровни содержания сульфатов, бора (88 %), цинка (76 %), часто стронция (47 %), молибдена (40 %), низкое содержание меди (40 %), иногда кобальта (52 %).

Горные зоны. Часто проявляется недостаток йода, кобальта, меди, цинка, хотя возможны и варианты избытка меди, цинка, кобальта, молибдена, стронция и др.

В каждой зоне выделены биогеохимические провинции. Так, в провинциях с недостатком кобальта ослабляется синтез витамина В₁₂, что характерно для Нечерноземной зоны; при недостатке йода нарушается функция щитовидной железы и возникает эндемический зоб; при избытке селена происходит деформация копыт, нарушение волосяного покрова у животных. Территория Белоруссии, особенно Полесье, характеризуется недостатком йода в водах и почвах, в результате чего наблюдается зубная болезнь, при недостатке кобальта развивается лейкемия (сухотка в Прибалтике), избыток молибдена в Северном Казахстане, Туве, Армении вызывает подагру и др.

Недостаточное или избыточное содержание микроэлементов в почвах обусловлено двумя группами причин:

- биохимическими особенностями почв и ландшафтов;
- влиянием техногенных потоков веществ.

Провинции с повышенным содержанием элементов формируются в районах с преобладанием аккумулятивных ландшафтов, а также вблизи рудных месторождений, в зонах деятельности вулканов, в результате технического загрязнения территории.

Первичными источниками микроэлементов являются горные породы, частично атмосферный воздух и почвенно-грунтовые воды. Микроэлементы потребляются растениями из почвы, но некоторые элементы поступают в растения из воздуха и воды. Микроэлементы могут поступать в почву с газами атмосферы, дымом вулканов, с метеоритными осадками при внесении пестицидов для борьбы с болезнями и вредителями растений, с минеральными удобрениями.

Микроэлементы в почвах содержатся: в кристаллической решетке первичных и вторичных минералов в виде изоморфной подмеси; в форме нерастворимых соединений (солей, оксидов); в ионообменном состоянии; в составе органического вещества; в почвенном растворе.

Одним из критериев степени обеспеченности растений микроэлементами является их содержание в почве. При этом наиболее важно не валовое (общее) количество в почве отдельных микроэlemen-

тов, а наличие подвижных форм, которые определяют их доступность для растений (табл. 28).

Таблица 28

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах
(Ринькис Г.Я., 1982), мг/кг

Почвы	Cu в вытяжке 1н. HCl	Zn в вытяжке 1н. KCl	Mn в вытяжке 0,1н.H ₂ SO ₄	Co в вытяжке 1н. HNO ₃	Mo в щавелевокислой вытяжке (по Григу)	В водной вытяжке
Подзолистые:						
минимальное	0,1	0,05	2,0	0,1	0,02	0,02
максимальное	6,7	26,0	300	3,0	0,45	0,6
Карбонатные Нечерноземной зоны:						
минимальное	2,0	0,1	0,2	0,4	0,05	0,3
максимальное	10	0,6	50	4,0	1,00	1,2
Черноземы:						
минимальное	4,0	0,06	1,0	1,0	0,05	0,4
максимальное	30	0,2	50	2,5	0,40	1,5
Каштановые:						
минимальное	9,4	0,06	1,5	1,0	0,09	0,5
максимальное	14	0,2	75	6,0	0,60	0,9
Сероземы:						
минимальное	5,0	0,1	1,5	1,0	0,05	0,1
максимальное	25,0	10,0	125	2,0	0,20	0,6

Доступность микроэлементов для растений определяется содержанием их в почвенном растворе и в ионообменном состоянии. Преобладающая часть содержащихся в почве микроэлементов растениям недоступна. Так, подвижные соединения Cu, Co, Mn составляют только 10-25 % от их общего количества, доля доступных соединений цинка и молибдена меньше, иногда до 1 %. Количество подвижных форм в почвах сильно варьирует, что объясняется генетическими особенностями почв, интенсивностью их окультуривания.

Содержание микроэлементов для некоторых почв Среднего Предуралья приведено в таблице 29. Из таблицы видно, что только небольшая часть валовых запасов микроэлементов находится в доступной для питания растений форме. В разных типах почв распределение валовых и подвижных форм микроэлементов неодинаково, что обусловлено особенностями состава и свойств почв.

Таблица 29

Среднее количество микроэлементов* и содержание подвижных форм** в пахотных горизонтах почв Среднего Предуралья, мг/кг в вытяжках по Пейве-Ринькису по Кузнецову М.Ф. (Ковриго В.П., 2000)

Почвы	B	Mn	Cu	Zn	Co	Mo	J
Дерново-подзолистые супесчаные и песчаные	<u>20</u> 0,12	<u>814</u> 115	<u>19</u> 0,8	<u>29</u> 0,5	<u>7</u> 0,9	<u>0,9</u> 0,09	<u>0,4</u> -
Дерново-подзолистые суглинистые	<u>24</u> 0,26	<u>1355</u> 135	<u>20</u> 1,7	<u>34</u> 0,58	<u>12</u> 1,9	<u>1,3</u> 0,15	<u>0,8</u> -
Серые лесные оподзоленные суглинистые и глинистые	<u>26</u> 0,69	<u>1314</u> 131	<u>23</u> 4,1	<u>39</u> 0,49	<u>11</u> 2,8	<u>1,4</u> 0,19	<u>1,4</u> -
Дерново-карбонатные глинистые	<u>27</u> 0,50	<u>1460</u> 148	<u>25</u> 3,3	<u>44</u> 0,26	<u>13</u> 2,7	<u>1,6</u> 0,14	<u>3,6</u> -
Дерново-глеевые глинистые	<u>25</u> -	<u>768</u> -	<u>28</u> 5,2	<u>30</u> -	<u>10</u> 1,4	<u>1,3</u> 0,13	-
Аллювиальные суглинистые	<u>26</u> 0,87	<u>1164</u> 238	<u>35</u> 0,39	<u>35</u> 0,39	<u>10</u> 1,5	<u>1,2</u> 0,13	<u>1,3</u> -

Примечание: * числитель, ** знаменатель

Содержание микроэлементов в подвижной форме определяется типом почвы, характером материнских пород и растительности, микробиологической активностью почвы, реакцией среды, содержанием органического вещества. Например, подкисление увеличивает подвижность Mn, Cu, B, Zn и др., но доступность Mo при этом значительно уменьшается. Гумусовые кислоты, а также муравьиная, лимонная и другие могут образовывать с микроэлементами как растворимые, так и нерастворимые соединения.

Основные закономерности в содержании и распределении микроэлементов в дерново-подзолистых почвах Пермского края изучали Т.А. Кротких, Г.Я. Елькина.

Установлено, что обеспеченность дерново-подзолистых почв доступными для растений формами микроэлементов определяется валовыми запасами (главным образом, в почвообразующих породах), степенью оподзоленности, гранулометрическим составом.

Валовое количество микроэлементов в пахотном горизонте тесно коррелирует с запасами их в почвообразующих породах.

Количество их повышается от почв легкого гранулометрического состава к тяжелому, от сильнооподзоленных к менее оподзоленным (табл. 30).

Таблица 30

Содержание подвижных микроэлементов в пахотном слое
дерново-подзолистых почв Пермского края, мг/кг
(Елькина Г.Я., 1980)

Почва	Бор	Молибден	Кобальт
Дерново-сильноподзолистые:			
тяжелосуглинистые	0,27	0,15	1,16
средне-, легкосуглинистые	0,19	0,12	0,62
супесчаные, песчаные	0,12	0,08	0,46
Дерново-среднеподзолистые:			
тяжелосуглинистые	0,37	0,22	1,20
среднесуглинистые	0,31	0,19	0,99
легкосуглинистые	0,25	0,12	0,71
супесчаные, песчаные	0,16	0,09	0,59
Дерново-слабоподзолистые:			
тяжелосуглинистые	0,50	0,27	1,48

Интенсивность миграции микроэлементов зависит от степени оподзоленности. На подвижность микроэлементов в дерново-подзолистых почвах большое влияние оказывает реакция среды и содержание гумуса, обменных оснований и степени насыщенности.

Бор широко распространен в природе в виде кислородных соединений борсодержащих минералов борной кислоты (H_3BO_3) и буры. Его содержание в литосфере достигает $30 \cdot 10^{-3} \%$ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$). Колебания содержания бора в почвах составляют от 2 до 130 мг/кг. Среднее содержание бора в золе растений – 0,04 %. Наиболее нуждаются в боре двудольные растения. Значительное содержание этого элемента обнаружено в цветках, особенно в рыльцах и столбиках.

Бор оказывает большое влияние на метаболизм и транспорт углеводов в растениях; при недостатке бора отток углеводов из листьев в корнеплоды и клубнеплоды задерживается. Дефицит бора снижает количество оплодотворенных цветков, нарушается процесс созревания семян, снижает фиксацию атмосферного азота клубеньковыми растениями.

Наиболее бедны бором дерново-подзолистые почвы, особенно песчаные и супесчаные, дерново-глеевые, заболоченные почвы легкого гранулометрического состава. В черноземах количество бора колеблется от 0,3 до 1,8 мг/кг; больше всего в бурых степных почвах, где встречаются солевые аккумуляции и борные солончаки. Избыток бора наблюдается в некоторых биогеохимических провинциях, одна из них расположена в бассейне р. Урал.

При недостатке бора растения поражаются сухой гнилью (корнеплоды), коричневой гнилью (цветная капуста), бактериозом. Особенно чувствительны к недостатку бора подсолнечник, люцерна, кормовые корнеплоды, лен, рис, овощные культуры, сахарная свекла.

Избыток бора вызывает ожог листьев. Хорошая обеспеченность растений кальцием и фосфором повышает требовательность к обеспеченности бором. Известкование уменьшает доступность бора, закрепляет его в почве. Внесение бора на известкованных почвах полностью устраняет заболевание корнеплодов гнилью сердечника и картофеля паршой. Внесение бора целесообразно, если содержание подвижных форм в почвах Нечерноземной зоны менее 0,2-0,5 мг на 1 кг почвы.

Медь. Среднее содержание меди в растениях 0,0002 % или 2 мг на 1 кг массы и зависит от их видовых особенностей и почвенных условий. Среднее содержание меди в литосфере составляет $10 \cdot 10^{-3}$, а в почвах $2 \cdot 10^{-3}$ %. С урожаем различных культур выносятся с 1 га 7-327 г меди. Медь повышает устойчивость растений к полеганию; способствует увеличению засухо- морозо- и жароустойчивости растений. Недостаток меди вызывает задержку роста, потерю тургора и увядание растений, задержку цветения. У плодовых при недостатке меди появляется суховершинность.

Валовое содержание меди в различных почвах колеблется от 0,1 до 150 мг на 1 кг почвы. Наиболее бедны медью верховые торфяники, дерново-карбонатные почвы, песчаные и супесчаные почвы. Известкование кислых почв уменьшает поступление меди в растения. Известь действует как адсорбент меди. Почвы считаются бедными по содержанию меди, если в почвах Нечерноземной зоны содержится меди < 1,5–2,0 мг, в черноземной зоне - < 2,0–5,0 мг на 1 кг почвы. Потребность в меди возрастает в условиях применения высоких доз азотных удобрений. Наиболее отзывчивы на медные удобрения пшеница, овес, ячмень, травы, лен, корнеплоды, просо, подсолнечник, горох, овощные культуры и плодово-ягодные.

Марганец. Особенно требовательны к достаточному содержанию доступных форм марганца в почве злаки, свекла, кормовые корнеплоды, картофель, малина, яблоня. С урожаем культур с 1 га выносятся 1000-4500 г марганца.

Марганец необходим всем растениям. Среднее содержание Mn в растениях 0,001 % или 10 мг на 1 кг массы. Основное количество его локализовано в листьях и хлоропластах. Выявлено прямое участие Mn в фотосинтезе. Марганец играет большую роль в активировании мно-

гих реакций в растениях. Марганец повышает водоудерживающую способность тканей, снижает транспирацию, влияет на плодоношение растений. При остром недостатке марганца отмечены случаи полного отсутствия плодоношения у редиса, капусты, томатов, гороха.

Марганца в дерново-подзолистых и черноземных почвах содержится 0,1-0,2 %, но большая часть этого элемента находится в виде труднорастворимых оксидов и гидроксидов. Если общее содержание Mn в пахотных горизонтах главнейших почв колеблется в пределах от 0,05 до 0,29 %, то количество подвижного (по Пейве) Mn в дерново-подзолистых почвах составляет 50-150 мг/кг, а в почвах других типов – от 1,0-1,5 до 75-125 мг/кг.

В первую очередь марганцевые удобрения следует вносить на серых лесных почвах, слабовыщелоченных черноземах, солонцеватых и каштановых почвах.

Молибден. Наибольшее содержание молибдена в растениях отмечено у бобовых (0,5-20,0 мг на 1 кг сухой массы), а у злаков от 0,2-1,0 мг на 1 кг сухой массы.

Молибден необходим растениям в наименьших количествах, чем бор, марганец, цинк и медь. Молибден локализуется в молодых растущих органах.

При недостатке молибдена в питательной среде в растениях нарушается азотный обмен, в тканях накапливается большое количество нитратов. Молибден участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, фотосинтезе, дыхании, синтезе пигментов, витаминов.

Наиболее бедны доступными формами молибдена кислые почвы. Содержание валового молибдена в почве колеблется от 0,2 до 2,40 мг, а подвижных форм – от 0,10 до 0,27 мг на 1 кг почвы. Наиболее бедны молибденом почвы легкого гранулометрического состава с низким содержанием гумуса. Наименьшее содержание подвижного молибдена отмечено в дерново-подзолистых песчаных почвах (0,05 мг на 1 кг). Более высокое содержание валовых и подвижных форм молибдена в черноземных почвах.

Цинк. Вынос цинка с урожаем полевых культур составляет от 75 до 2250 г с 1 га. Повышенной чувствительностью к недостаточности цинка характеризуются гречиха, хмель, свекла, картофель, клевер луговой. Сорные растения характеризуются большим содержанием цинка, чем культурные. Повышенным содержанием цинка отмечают хвойные растения, наиболее высокое содержание цинка найдено у ядовитых грибов. Потребность в цинке у полевых культур ниже, чем у плодовых деревьев.

Цинк повышает жаро- и морозоустойчивость растений, участвует в образовании предшественников хлорофилла. Известно более 30 цинкосодержащих ферментов. При недостатке цинка в растениях уменьшается содержание сахарозы и крахмала, снижается содержание ауксина, нарушается синтез белка, подавляется деление клеток, что приводит к морфологическим изменениям листьев, нарушается растяжение клеток и дифференциация тканей.

Недостаток цинка может проявиться как на кислых сильнооподзоленных легких почвах, так и на карбонатных почвах, бедных цинком, и на высокогумусированных почвах. Усиливает появление цинковой недостаточности применение высоких норм фосфорных удобрений и сильное припахивание подпочвы к пахотному горизонту. Наиболее высокое валовое содержание цинка в тундровых (53-76 мг на 1 кг) и черноземных (24-90 мг на 1 кг) почвах, наиболее низкое – в дерново-подзолистых (20-67 мг на 1 кг). Недостаток цинка чаще всего проявляется на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах. В кислых почвах цинк более подвижен и доступен растениям.

Кобальт. Среднее содержание кобальта в растениях 0,00002 %. Кобальт необходим для биологической фиксации молекулярного азота и является компонентом витамина В₁₂. Недостаток кобальта может проявляться, прежде всего, у бобовых культур. При низком содержании кобальта в кормах у животных развивается анемия, резко снижается аппетит и падает продуктивность. Положительное действие кобальта в первую очередь проявляется на почвах, хорошо обеспеченных всеми остальными элементами минерального питания, с реакцией близкой к нейтральной.

Агрохимическое обследование показало, что почвы отдельных биохимических провинций часто бедны подвижными формами некоторых микроэлементов. Б.А. Ягодиным и И.В. Верниченко сделано обобщение литературного материала по обеспеченности почв основных биогеохимических зон России подвижными формами микроэлементов, установленной на основании анализа почв и растений, а также в результате полевых и вегетационных опытов (табл. 31).

В агрономических целях в почвах определяют валовое и подвижное количество микроэлементов (мг/кг). Показатели содержания подвижных элементов в почвах используют для определения необходимости использования микроудобрений. Существует группировка по обеспеченности растений подвижными формами микроэлементов (прил. 4).

Таблица 31

Градации обеспеченности почв России подвижными формами микроэлементов
(Агрохимическая характеристика почв СССР, 1962-1974)

Микро-элемент	Биохимическая зона	Почвенная вытяжка	Градации обеспеченности, мг на 1 кг почвы				
			очень бедная	бедная	средняя	богатая	очень богатая
В	Таежно-лесная	H ₂ O	0,2	0,2-0,4	0,4-0,7	0,7-1,1	1,1
Cu		1,0 н. HCl	0,9	0,9-2,1	2,1-4,0	4,0-6,6	6,6
Mo		Оксалатная вы-тяжка	0,08	0,08-0,14	0,14-0,30	0,30-0,46	0,46
Mn		0,1 н. H ₂ SO ₄	1,0	1,0-25	25-60	60-100	100
Co		1,0 н. HNO ₃	0,4	0,4-1,0	1,0-2,3	2,3-5,0	5,0
Zn		1,0 н. KCl	0,2	0,2-0,8	0,8-2,0	2,0-4,0	4,0
В	Лесостепная и степная	H ₂ O	0,2	0,2-0,4	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2
Cu		1,0 н. HCl	1,4	1,4-3,0	3,0-4,4	4,4-5,6	5,6
Mo		Оксалатная	0,10	0,10-0,23	0,23-0,38	0,38-0,55	0,55
Mn		0,1 н. H ₂ SO ₄	25	25-55	55-90	90-170	170
Co		1,0 н. HNO ₃	1,0	1,0-1,8	1,8-2,9	2,9-3,6	3,6
Zn		1,0 н. KCl	0,15	0,15-0,3	0,3-1,0	1,0-2,0	2,0
В	Сухостепная и полустепная	1,0 н. KNO ₃	0,4	0,4-1,2	1,2-1,7	1,7-4,5	4,5
Cu		HNO ₃ (по Гюль-ахмедову)	1,0	1,0-1,8	1,8-3,0	3,0-6,0	6,0
Mo			0,05	0,05-0,15	0,15-0,5	0,5-1,2	1,2
Mn			6,6	6,6-12,0	12-30	30-90	90
Co			0,6	0,6-1,3	1,3-2,4	2,4	-
Zn			0,3	0,3-1,3	1,3-4,0	4,0-16,4	16,4

3.5 Регулирование режима питания растений

Самыми мощными приемами регулирования питания растений макро- и микроэлементами являются внесение органических и минеральных удобрений; приемы обработки почв, так как они активно воздействуют на режим влажности и содержание почвенного воздуха. Большое значение имеет регулирование реакции почв с помощью известкования кислых и гипсования щелочных почв. Эффективны агроприемы по увеличению емкости поглощения почв в результате внесения природных адсорбентов (цеолиты, вермикулит), глинование песчаных почв, и регулирование их температурного режима проведения мероприятий по борьбе с плоскостной водной эрозией.

Одно из условий получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур – создание комплекса благоприятных свойств для роста и развития растений. Нельзя ограничиваться только регулированием пищевого режима, т. к. свойства почв оказывают друг на друга прямое или косвенное влияние.

Необходимо также качественно осуществлять комплекс агротехнических мероприятий по обработке почв, в борьбе с сорняками, вредителями и болезнями растений; посев должен быть проведен в лучшие сроки, хорошими семенами, уборка должна быть своевременной, без потерь и т.д.

3.6 Несбалансированное применение удобрений как фактор деградации почв

С усилением антропогенного воздействия на почву все более усложняются взаимосвязи в системе почва-растение, актуальным становится вопрос взаимодействия почвы в экологической системе. Внесение удобрений и мелиорантов, в значительной степени изменяет свойства почв, подвижность и доступность элементов питания. Возникает скрытое отрицательное действие удобрений и не только при высоких дозах химикатов, но и при небольших дозах вблизи гранул удобрений и мелиорантов. Все, что вносится в почву, реагирует в ней с другими компонентами, и для эффективного ведения производства необходимы строгий физико-химический расчет и прогноз протекающих процессов.

В.Г. Минеев (1990) выделяет следующие негативные последствия воздействия химизации земледелия на природную среду:

- неправильное применение минеральных удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почв;

- нарушение технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции;

- нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами способствует развитию грибных и прочих болезней, ухудшает фитосанитарное состояние посевов;

- попадание питательных элементов из удобрений и почвы в грунтовые воды и водоемы с поверхностным током может привести к усиленному развитию водорослей и образованию планктона, то есть к эвтрофикации природных вод;

- потери некоторых соединений азота в атмосферу отрицательно сказываются на жизнедеятельности, возможно нарушение озонового слоя.

Основные причины появления скрытого отрицательного действия удобрений в почвах:

- несбалансированное применение различных удобрений;
- превышение применяемых доз, по сравнению с буферной емкостью отдельных компонентов экосистемы;

- неправильный подбор форм удобрений для отдельных типов почв, растений, условий среды;

- неправильные сроки внесения удобрений для конкретных почв и условий среды;

- внесение вместе с удобрениями и мелиорантами различных токсикантов и их постепенное накопление в почве выше допустимого уровня.

При внесении чрезмерно высоких доз азотных удобрений происходит накопление нитратов в водоемах, грунтовых водах, растениеводческой продукции.

Избыточное внесение в почву NH_4 приводит к ее диспергированию, как и при большой дозе в ППК (более 5 % от емкости поглощения) ионов калия и натрия. Внесение в кислые почвы $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ вызывает подкисление почв (в некоторых черноземах от $\text{pH}=7$ до $\text{pH}=4,8$), что сопровождается уплотнением почв, потерей структуры, недостатком кальция и магния, появлением избыточных концентра-

ций марганца и алюминия, уменьшению суммы поглощенных оснований, увеличению гидролитической кислотности, водорастворимых форм гумуса, кальция, магния, калия. Это приводит к снижению урожайности и качества продукции. Применение высоких доз азотных удобрений на затопляемых почвах (почвах рисовых полей) в связи с интенсивно развивающимися процессами денитрификации приводит не только к значительным (до 70 %) потерям азота, но и к поступлению недоокисленных соединений азота в атмосферу, что способствует разрушению озонового слоя.

При внесении высоких доз калийных удобрений возможны диспергирование почв, нарушение соотношения в ППК и почвенном растворе Ca : K, снижение гумусированности, избыточное подщелачивание почв (при доле калия в ППК более 5-10 % от емкости поглощения). По данным лаборатории агрономического почвоведения МСХА, содержание калия более 5 % от емкости поглощения сопровождается резким ухудшением водно-физических свойств почв, почти полной потерей их водопроницаемости.

Применение необоснованно высоких доз фосфорных удобрений, особенно при длительном их внесении, способствует накоплению в почве тяжелых металлов и вовлечению их в трофические цепи, что вредит здоровью людей и животных. Повышенные дозы фосфорных удобрений могут вызвать осаждение Cu, Zn, Mn, Ni, Co.

Чрезмерное известкование почв и доведение рН до 7-8 не только приводит к затруднению поглощения растениями отдельных элементов, но и к осаждению в виде трудно растворимых осадков Cu, Zn, Ni, Co, Mn, P; изменению в неблагоприятную сторону соотношения Ca:K.

В.А. Ковда считает, что чем более уравновешены и оптимизированы условия питательного режима в почве, тем более экономно растение расходует элементы питания для получения урожая и меньше необходимо внести удобрений для изменения содержания их подвижных форм элементов питания в почве на единицу. Для предотвращения негативного действия химизации на агрофитоценозы необходимы расчет взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой, прогноз их поведения в экосистеме, изучение поведения удобрений в ландшафте.

Каждое поле и культура требуют конкретных комплексных технологий получения наивысших урожаев заданного качества. Упрощенный подход к интенсивному земледелию приводит к избыточному экологически опасному накоплению в агроценозах продуктов химизации.

Вопросы и задания для проверки знаний

1. Какие элементы состава почвы относят к основным питательным? От чего зависит их доступность растениям?
2. Как изменяется содержание азота в почвах зонального ряда и от чего оно зависит?
3. Назовите источники азота в почвах.
4. Какие формы соединений азота в почвах? Какова их доступность растениям?
5. От чего зависит содержание различных форм азота в почве?
6. Опишите фракционный состав азота дерново-подзолистой почвы. Сделайте выводы.
7. Как регулировать азотный режим в почвах?
8. Что является источником фосфора в почве?
9. Каково содержание фосфора в почвах зонального ряда?
10. Каковы формы соединений фосфора в почвах и каково их соотношение в различных почвах?
11. Каково действие фосфора на растение и почву?
12. За счет чего происходят потеря фосфором растворимости?
13. Какова доступность фосфора растениям?
14. Дайте характеристику фосфатного состояния дерново-подзолистых почв Пермского края.
15. Как используют градации почв по содержанию подвижного фосфора в агрономической практике?
16. Как можно регулировать фосфатный режим почв?
17. Каковы источники калия в почвах?
18. Каково содержание калия в почвах зонального ряда?
19. Как влияет калий на свойства почвы?
20. Опишите группы (фракции) калия по степени участия в питании растений.
21. Назовите формы калия в почвах. Какова их доступность?
22. Опишите калийное состояние дерново-подзолистых почв Пермского края.
23. Какие фракции калия используют для характеристики плодородия почв?
24. Как используют градации почв по содержанию обменного калия в агрономической практике?
25. Как оптимизировать калийное питание растений?
26. Какие элементы относят к микроэлементам?

27. О чём говорит среднее содержание некоторых элементов в биосфере?
28. Какова роль микроэлементов в жизни растений, животных и человека?
29. Охарактеризуйте, насколько активно микроэлементы участвуют в процессах почвообразования.
30. Дайте характеристику биогеохимическим зонам по содержанию микроэлементов.
31. Каковы источники микроэлементов в почве?
32. В каких формах микроэлементы присутствуют в почвах?
33. Как изменяется доступность микроэлементов в почвах зонального ряда?
34. Дайте характеристику микроэлементного состава почв Среднего Предуралья.
35. Дайте характеристику основных микроэлементов, их содержание в почвах.
36. Как использовать в агрономической практике показатели содержания в почвах подвижных микроэлементов?
37. В чём заключается скрытое отрицательное действие удобрений?
38. Охарактеризуйте причины скрытого отрицательного действия удобрений в почвах.
39. Каким образом проявляется отрицательное действие высоких доз азотных удобрений?
40. Каким образом проявляется отрицательное действие высоких доз калийных удобрений?
41. Каким образом проявляется отрицательное действие высоких доз фосфорных удобрений?
42. Что вызывает чрезмерное известкование?
43. Как предотвратить негативное действие средств химизации?

4. ВРЕДНЫЕ ДЛЯ РАСТЕНИЙ ВЕЩЕСТВА В ПОЧВЕ

4.1 Повышенное содержание подвижного алюминия и марганца

По содержанию в литосфере алюминий занимает третье место после кислорода и кремния. Он входит в состав 250 минералов, около 40 % которых составляют алюмосиликаты: ортоклаз, альбит, анортит, каолинит. Включение алюминия в биогеохимические циклы зависит от реакции почвы: может выступать в растворимой или нерастворимой форме в разных минерально-органических соединениях как ион или как коллоид. Формы, в которых выступает этот химический элемент, могут иметь характер катионов, анионов или выступать как нейтральные молекулы.

Так, в кислых почвах, где рН ниже 4,2 преобладающей формой алюминия является самая реактивная форма – ион Al^{3+} (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008). Эта форма более всех токсична для растений и действует более токсично, чем марганец и водород. По мере повышения реакции почвы образуются всё менее токсичные соединения алюминия.

В почвах, где величина реакции в пределах 6-8, алюминий находится в трудно растворимых соединениях и поэтому не влияет на ход биогеохимического цикла.

Вредное действие алюминия на растения зависит от концентрации активных форм этого элемента, находящихся в почвенном растворе, преимущественно обменно-сорбированных форм или минеральных коллоидов. В незначительной степени эти формы могут освободиться из минеральных или органических коллоидов. По этой причине оптимальная реакция почвы для отдельных видов растений и даже сортов должна определяться в зависимости от гранулометрического состава и содержания гумуса. Чем больше минеральных коллоидов находится в почве, тем выше должна быть рН. Самые острые признаки токсичности алюминия проявляются при рН ниже 4.

Признаки токсичности алюминия наблюдаются как в наземных частях, так и в корнях, причём, большее ограничение проявляется в корневой системе. Растворимый алюминий тормозит развитие корневых систем: происходит смена окраски на коричневую, повреждается точка роста главного корня и боковых корней (буреет и замирает), происходит огрубление боковых корней и корневых волосков, торможение клеточного деления, нарушение синтеза белков, вся корне-

вая система становится слабой и ломкой, корни делаются короче, грубеют и переплетаются. Повреждённая корневая система не может доставлять растениям требуемое количество воды и питательных элементов. В результате увеличивается риск наступления водного стресса, что особенно проявляется на многолетних растениях (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008). Низкая эффективность поглощения питательных элементов деформированной корневой системой влияет на увеличение их вымывания в глубокие слои почвы.

Повышенное количество подвижного алюминия в почве приводит к нарушению формирования у растений генеративных органов, нарушению плодотворения и обмена веществ, подавляет рост растений. Симптомы токсичности алюминия похожи на симптомы недостатка фосфора, магния и кальция. Наблюдается, уменьшение листовых пластинок, снижение массы листьев, хлоротичные пятна на листьях, которые переходят в жёлтые полосы (недостаток магния), потускнение и покраснение (багряная окраска) листьев (недостаток фосфора), отмирание точек роста и свёртывание молодых листьев (недостаток кальция).

Избыток алюминия в почвенном растворе снижает поглощение фосфора, калия, марганца, железа, натрия и бора. Особую проблему представляют наличие его в подпахотном слое почвы, повышенную кислотность которого нельзя устранить известкованием.

При концентрации алюминия менее 0,5 мг/100г почвы, он действует на растения положительно, стимулируя активность некоторых энзимов, способствует увеличенному поглощению калия, стимулирует его перемещение из корней в наземные части растений. При более высокой концентрации он наносит вред, так как нарушает синтез белка и ограничивает абсорбцию P, Ca, Mg вследствие разрушения корней и корневых волосков.

Установлены критические пределы содержания алюминия в почве для ряда культур (табл. 32).

По чувствительности к повышенному содержанию алюминия Н.С. Авдонин (1965) выделяет четыре группы растений:

- высокоустойчивые – тимофеевка луговая и овес;
- среднеустойчивые – люпин, кукуруза, просо, чумиза;
- повышено чувствительные - горох, репа, фасоль, гречиха, ячмень, пшеница яровая, лен, турнепс;
- высокочувствительные - клевер луговой, свекла столовая и сахарная люцерна, озимая пшеница, рожь.

Таблица 32

Критические пределы содержания алюминия в почве для сельскохозяйственных культур (Авдонин И.С., 1965)

Культура	Количество алюминия (мг/100 г почвы), снижающее урожай на:	
	25-50%	50-100%
Овес	11-14	15-18
Кукуруза	7-8	8-10
Ячмень	7-8	8-10
Пшеница яровая	8-10	10-12
Лен-долгунец	8-10	10-12
Гречиха	6-7	8-10
Клевер красный	5-6	7-8
Люцерна	4-5	5-6
Люпин жёлтый	6-7	7-8

Морфологические изменения наземных частей и деформация корневой системы в крайних случаях ведут даже к гибели растений. Устойчивость растений к токсичному действию алюминия зависит от содержания и доступности фосфора и кальция в почве. Рост растений в условиях низкого содержания этих элементов в почве свидетельствует об их высокой толерантности к алюминию.

В течение последних 30 лет произошёл значительный рост содержания активного алюминия в почве. Это тревожное явление, так как этот элемент является первым элементом биологической цепи, поэтому при оценке степени деградации почв необходимо определять содержание подвижного (обменного) алюминия в почве (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008).

В кислых и переувлажнённых почвах растения могут страдать от повышенного содержания подвижного марганца, негативно влияющего на углеводный, фосфорный и белковый обмен, развитие генеративных органов. Поведение марганца похоже на поведение алюминия. С усилением кислотности почвы повышается концентрация марганца в почвенном растворе и ППК. При высокой концентрации подвижной формы марганца в почве он может действовать на растения токсично, но его токсичность значительно меньше, чем алюминия.

Распределение марганца в растении происходит иначе, чем алюминия, так как марганец легко перемещается от корней к наземным частям. Поэтому, в противоположность алюминию, избыток марганца вызывает характерные признаки токсичности, которые особен-

но заметны на молодых растениях. Эти признаки различны у разных видов, но часто наблюдается бурая пятнистость листьев, свёртывание молодых листьев, хлороз на старых листьях. Высокая концентрация подвижного марганца в почвенном растворе вызывает снижение поглощения растениями катионов кальция и магния.

Иногда избыток марганца вызывает признаки недостатка железа. Алюминий не накапливается в больших концентрациях в надземных органах большинства растений даже при его сильной токсичности, но марганец легче поглощается растениями. Угнетающее действие марганца проявляется при сочетании низких значений рН и восстановительных условий в почве (недостаток кислорода, уплотнённая почва, застой воды). Содержание марганца в почвенном растворе увеличивается с ростом кислотности в связи с большим тормозящим влиянием водорода на поглощение растениями марганца. Токсичность ионов марганца зависит также от микробиологической активности в пределах ризосферы, количества доступного кремния в почве, вида и генотипа растений. Отравление марганцем сказывается на надземных органах растений сильнее, чем на корнях.

По восприимчивости к действию подвижного марганца Н.С. Авдонин разделил сельскохозяйственные растения на четыре группы:

- очень высокоустойчивые – тимофеевка луговая;
- высокоустойчивые – овес, чумиза, просо, кукуруза, люпин, турнепс;
- чувствительные – горох, гречиха, фасоль, репа, яровая пшеница, ячмень, свекла столовая;
- высокочувствительные – люцерна, клевер луговой, лен, озимые пшеницы и рожь.

Количество марганца в почве находится в большой зависимости от её окультуренности. Систематическое применение органических удобрений уменьшает содержание подвижного марганца до безвредного минимума. Фосфорные удобрения и особенно известь резко снижают отрицательное влияние этого элемента.

Для снижения токсичности ионов алюминия и марганца и устранения их избытка в почве необходимо проводить известкование, причём материалами, обогащёнными магнием; применять фосфорные удобрения; соответствующими обработками устранять избыточное увлажнение почвы. Кроме этого, обязательно применение органического вещества, в основе которого коммунальные отходы, остатки городской зелени и сточные отложения. Так как они имеют нейтральную или щелочную реакцию, благоприятный химический состав, то

это позволяет использовать их вместо традиционного естественного удобрения – навоза (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008).

4.2 Токсичные элементы для растений

В почвах содержатся элементы, которые могут быть токсичными для растений, угнетая их рост и развитие, хотя при этом в небольших количествах они являются жизненно необходимыми.

Сера. В почвах с непромывным водным режимом и при аэробных условиях сера накапливается в виде гипса или входит в состав легкорастворимых солей. Сульфаты магния и натрия - важнейшие компоненты засоленных почв, отрицательно влияющие на плодородие почв. Такие почвы требуют промывки или других видов мелиорации. Гипс оказывает положительное влияние при умеренном содержании, предупреждая образование солонцов или способствуя их мелиорации. При высоких уровнях накопления гипс образует плотные скопления, резко ухудшая физические свойства почв.

В анаэробных условиях образование H_2S ведет к снижению продуктивности почв. Восстановительные зоны можно рассматривать как геохимические барьеры для железа и многих других металлов, образующих трудно растворимые сульфиды, которые способствуют увеличению щелочности и развитию солонцов.

Вместе с тем сера - необходимый для живых организмов элемент. Она является обязательным компонентом белков, и жизнь без серы невозможна.

Другой источник серы - поступление в почву сульфатов и серной кислоты техногенного происхождения с атмосферными осадками. Оксиды серы поступают в атмосферу с продуктами сгорания различных видов серосодержащего топлива. Образующаяся в атмосфере серная кислота вместе с атмосферными осадками поступает в почву, вызывая в гумидных районах нежелательное увеличение почвенной кислотности. В северном полушарии с осадками выпадает в среднем 3-15 кг серы на га в год. В промышленных районах эта нагрузка возрастает до 100-150 кг серы на га в год. Многие исследователи считают. Что если ежегодно на 1 га пашни поступает 12 кг серы, то этого достаточно для обеспечения потребностей сельскохозяйственных культур.

Цинк, кадмий, ртуть при высоких содержаниях являются токсичными для растений. Эти три металла являются наиболее опасными при накоплении в почвах и водах. Все соединения кадмия являются

токсичными. Пределы колебаний в незагрязненных почвах достаточно велики и для цинка составляют 10-300 мг/кг, для кадмия - от 0,01 до 0,7 мг/кг, для ртути - от 0,01 до 0,8 мг/кг. Для этих элементов характерна низкая растворимость карбонатов, некоторых фосфатов и сульфидов. В автоморфных почвах продуктами накопления цинка, кадмия и ртути могут быть их карбонаты, а в бескарбонатных почвах в твердых фазах - фосфаты этих металлов.

В породах *цинк* распределён очень неравномерно. Важнейший минерал цинка – сфалерит, также цинк встречается в слюдах и амфиболах. Цинк находится в рассеянном состоянии в километровой толще гранитного слоя земли в виде свинцово-цинковых руд. Цинк – один из главных биофильных микроэлементов, он входит в состав нескольких ферментов и поэтому участвует в белковом, углеводном, липоидном, фосфорном обмене веществ. В его отсутствии или недостатке нарушается биосинтез витаминов и ростовых веществ. Коэффициент биологического поглощения цинка в 12 раз выше, чем у свинца. Большая часть цинка в растениях сосредоточена в легко разрушающихся тканях и быстро удаляется из растения (Безуглова О.С., Орлов Д.С., 2000).

В почвах наблюдается биогенная аккумуляция цинка. Большая часть цинка находится в комплексах с органическим веществом почвы или сорбирована плёнками гидроксидов железа. В нейтральных и щелочных условиях цинк малоподвижен, так как рН выпадения гидроксида цинка в осадок – 6,8. Однако при дальнейшем повышении рН цинк снова переходит в раствор за счёт образования солей цинковой кислоты – цинкатов. На сероводородном барьере цинк накапливается в виде практически нерастворимого сульфида.

Накопление цинка происходит в зонах напряжённого автотранспорта, вдоль автострад, в промышленных центрах. Некоторое количество цинка поступает в атмосферу, а также при вулканических извержениях и в результате выделения летучих органических соединений бактериями.

Кадмий содержится в сернистых рудах цинка, свинца и меди. Источником загрязнения кадмием является металлургия цинка и свинца. Пылистые загрязнения, включающие кадмий, могут передвигаться на расстояния свыше 50 км и загрязнять почвы, расположенные далеко от промышленных заводов и электростанций. Существенным источником загрязнения почв кадмием могут быть фосфорные удобрения. Содержание кадмия в суперфосфате достигает 170 мг/кг (в среднем – 36-40 мг/кг). До 15 мг кадмия на 1 кг содержится в

известняке, от 1 до 170 мг – в калийных удобрениях, 0,4 мг – в сухой массе навоза, до 50 мг – в осадках городских сточных вод, до 180 мг/кг – в сапропеле (Минеев В.Г., 1990). Ежегодное внесение в почву удобрений и мелиорантов, содержащих кадмий, приводит к его накоплению в почве и растениях. При этом до 80 % кадмия, внесенного в почву, может удерживаться в пахотном слое. Предельно допустимая концентрация внесения кадмия в почву с удобрениями составляет до 4 г/га в год (содержание его в пахотном слое – около 0,55 кг/га). Пределы варьирования ПДК для кадмия в почве находится в диапазоне 1-5 мг/кг. Официальные ПДК в России по кадмию отсутствуют. Существует только официально утвержденный фон – 0,5 мг/кг.

По геохимическим свойствам кадмий похож на цинк, но он легче соединяется с серой и проявляет большую подвижность в природе. В кислой среде кадмий характеризуется большой подвижностью (рН 4,5-5,5). Изменение реакции почвы на близкую к нейтральной или щелочную и внесение органического вещества снижает сорбцию кадмия почвой и поглощение этого металла растениями.

Кадмий является одним из металлов, производящих самые большие изменения в биологических свойствах почвы, так как отрицательно действует на количество почвенных микроорганизмов. Сильное подавляющее действие оказывает кадмий на актиномицеты, меньше происходит снижение численности бактерий, а меньше всего – грибов (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008). Поглощение кадмия растениями в излишке вызывает физиологические изменения: нарушение процессов фотосинтеза, транспирации, поглощения макро- и микроэлементов, нарушая ионные равновесия растений. Больше кадмия накапливают в себе корни, листья и стебли, меньше – плоды, семена и клубни растений.

Симптомами токсичности перенасыщения кадмием являются покраснение жилок, хлоротичные и бурые пятна на листовых пластинках, вызванные изменением хлоропластов, специфичное скручивание листьев, утолщение и укорачивание корней.

Ртуть отличается исключительно сильной биологической и химической активностью, а также лёгкостью изменения агрегатного состояния из жидкого к газообразному и наоборот. По таблице Менделеева она принадлежит к элементам подгруппы цинка.

Рост концентрации ртути в почвах может происходить под влиянием геологических факторов и в результате антропогенного действия. Поступающая в почву ртуть накапливается в верхнем гори-

зонте, так как не подвергается вымыванию в глубокие слои, что связано с большой способностью почвы к сорбированию ртути.

Повышенное содержание ртути в среде является вредным для растений. Признаки токсичности: хлоротичные пятна, побурения по краям листовых пластинок, сокращение и деформация проростков и корней растений.

На биодоступность ртути очень влияют кислотность почвы и содержание органического вещества. Самое большое поглощение ртути растениями происходит при рН 3-5, но находящееся в питательной среде органическое вещество в кислых почвах повышает, а в щелочных понижает количество связываемого металла. Таким образом, для кислых почв одним из основных агротехнических приёмов, ведущих к образованию труднорастворимых соединений ртути, является известкование (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008).

Ртуть – классический пример естественного компонента окружающей среды, который становится загрязнителем благодаря человеку. ПДК ртути в почве составляет всего 2 мг/кг.

Мышьяк относится к семейству азота. Мышьяк – полуметалл и обладает некоторыми металлическими свойствами, проявляет высокую активность, входит в состав свыше 200 минералов (арсенопирит $FeAsS$, никелин $NiAs$), чаще всего связан в сульфидах.

Среднее содержание As в почве около 5-6 мг/кг, при колебаниях от 0,1-0,2 до 30-40 мг/кг. Мышьяк и все его соединения очень токсичны. В литературе упоминаются некоторые почвы Аргентины и Новой Зеландии со столь высоким содержанием As, что их продукция токсична для млекопитающих.

Среди соединений мышьяка важны мышьяковистая H_3AsO_3 и особенно мышьяковая H_3AsO_4 кислоты и их соли - арсениты и арсенаты соответственно. Арсенаты аналогичны фосфатам по общим свойствам и по химическому поведению в почвах. В нейтральной и щелочной средах арсенаты соосаждаются с гидроксидами железа и алюминия или адсорбируются на их поверхности. Наиболее прочно полуторные оксиды удерживают арсенат-ионы при низких значениях рН.

Находящиеся в почве соединения и минералы мышьяка легко растворимы, особенно в кислой среде в восстановительных условиях. Миграция мышьяка в гидросферу ограничена сильной сорбцией глинистыми минералами, гидроксидами железа и алюминия, органическими веществами. Кроме того, некоторые минералы (слюды, гетит) связывают мышьяк и оказывают влияние на его накопление в осадочных породах и почвах. Способность мышьяка связываться со многи-

ми почвенными компонентами – причина его накопления в верхних слоях и, следовательно, загрязнения почв этим элементом.

Повышенные концентрации мышьяка обнаруживаются в пахотных почвах, на которых сельскохозяйственные растения обрабатывались мышьяковистыми препаратами, и на почвах, подверженных техногенному загрязнению (добыча и переработка цветных металлов, добыча и сжигание углей, металлургическая и химическая промышленность, большие городские агломерации, очистки сточных вод, в почвах огородов и садов).

Накопление мышьяка возможно и при использовании минеральных и органических удобрений, загрязненных этим элементом. В двойном суперфосфате содержание мышьяка может достигать 300, аммиачной селитре – 60 мг/кг. С нитратами, сульфатами, мочевиной в почву попадает от 1 до 10 г/га мышьяка (Минеев В.Г., 1993). Токсичная концентрация мышьяка в почве, принятая за рубежом, соответствует 50 мг/кг. Официальное ПДК в России на содержание мышьяка в почве составляет 2,0 мг/кг (Временная инструкция ..., 1992).

Поведение мышьяка в почве проявляется и зависит от микробиологической активности. Находящиеся в почве микроорганизмы могут влиять на образование различных видов этого вещества, благодаря им происходит окисление арсенидов на арсенаты и др. процессы. Окисление серных минералов мышьяка может быть причиной повышения кислотности почвы в случае, когда концентрация карбонатов слишком мала, чтобы нейтрализовать этот процесс. Снижение pH почвы приводит к уменьшению количества адсорбированного мышьяка, и тем самым к увеличению его концентрации в почвенном растворе. Последствием этого процесса является более высокая способность мышьяка ассимилироваться растениями, а также перемещаться в более глубокие слои почвы. Кроме того, неблагоприятная для бактерий сильноокислая среда приводит к уменьшению распада вредных органических веществ, а также растительных отходов.

Мышьяк поглощается всеми растениями, но до сих пор не выявлена его биологическая роль. Самое низкое содержание мышьяка обнаружено в зерне хлебных культур (за исключением риса), а самое высокое – в шпинате. Поглощение мышьяка растениями соответствует его содержанию в почве. Симптомы токсичности мышьяка в растениях сводятся к изменению цвета листьев и повреждению корневой системы, рост растений останавливается, а более чувствительные растения могут погибнуть (Нейтрализация загрязнённых почв, 2008).

Известкование, вызывая повышение рН почвы, влияет на понижение подвижности мышьяка в данной среде, а значит, на уменьшение поглощения мышьяка растениями. Большое влияние на мобильность мышьяка оказывает органическое вещество, которое способствует его детоксикации. Удобрения, богатые соединениями серы, могут ограничить доступность мышьяка путём связывания его в слабо-растворимые и мало мобильные сульфаты. Обогащение почвы фосфатами способствует образованию слабо-растворимых сульфатов мышьяка, которые менее вредны для окружающей среды.

Свинец. Этот элемент является высоко токсичным: ингибирует ферментативные реакции, вступая в химическое взаимодействие с белками и осаждая их; повышенные концентрации представляют угрозу для здоровья человека; действие свинца проявляется в заболеваниях нервной системы, печени, почек и других органов.

Свинец широко используется в промышленности и на транспорте и вместе с отходами производства попадает в почву. Например, в США только за счет выхлопных газов автотранспорта в атмосферу попадает до 100000 т свинца ежегодно.

Резкое увеличение содержания свинца наблюдается в почвах вблизи автомобильных дорог. Если при плотности движения на авто-страде в 11000 машин в час содержание Pb в почве было около 6,4 мг/кг, то при плотности движения 32000 в час оно растет до 36-37 мг/кг. Наибольшему загрязнению подвержена прилегающая к авто-страде полоса шириной 10-15 м (по обе стороны дороги). При интенсивном движении загрязнение свинцом прослеживается в зоне до 100-150 м. Быстро нарастающее содержание подвижных соединений свинца в почвах приводит к повышению его содержания в растениях.

Наибольшее влияние на состояние свинца в почвах оказывают следующие анионы: CO_3^{2-} , OH^- , S^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} . Попадающий в почву Pb сравнительно легко образует гидроксид в условиях нейтральной и щелочной реакции. Если почва содержит растворимые фосфаты, то $\text{Pb}(\text{OH})_2$ переходит постепенно в $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ или другие трудно растворимые фосфаты. Эти соединения определяют уровень концентрации Pb в почвенных растворах.

Свинец находится в минеральных удобрениях, извести и навозе, достигая в некоторых удобрениях до 300 мг/кг, навозе – до 10, в осадках городских сточных вод – от 13 до 19370 мг на 1 кг сухой массы. Доля выпадения свинца с осадками – 11-38 %.

Ванадий. Среднее содержание ванадия близко к 100 мг/кг при колебаниях от 20 до 500 мг/кг. Известно большое число ванадийсо-

держающих минералов различных классов, в том числе оксиды (корвусит, алаит, монтрозеит), сульфиды (сульванит Cu_3VS_4), ванадаты (карнотит), различные силикаты.

В почвах ванадий может находиться как в составе первичных минералов, так и в различных вторичных. Ванадат-ион адсорбируется гидроксидами Fe и Al, связывается органическими веществами (особенно в щелочных почвах), а также образует нерастворимые соединения с тяжелыми металлами.

Из числа галогенов почвы содержат в макроколичествах только хлор, фтор, йод – важнейшие микроэлементы.

Фтор. Недостаток фтора приводит к развитию кариеса, так как постепенно разрушается эмаль. Избыток фтора в почвах оказывает токсичное влияние на травоядных животных. Глубокие изменения свойств почв возможны в районах промышленных комплексов, выбросы которых обогащены фтором.

Источниками загрязнения почв фтором являются предприятия по производству алюминия, фосфорных удобрений, тепловые электростанции. Фтор поступает в почву также с пестицидами и фосфорными удобрениями до 15-20 кг/га в год. В наиболее загрязненных районах содержание фтора может достигать 1000-2000 мг/кг почвы. Среднее содержание фтора в незагрязненных почвах также сравнительно велико – около 200 мг/кг, при колебаниях от 30 до 300 мг/кг. ПДК содержания фтора в почвах составляет 2,8 мг/кг. Источниками фтора являются такие минералы, как фторапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, слюды, криолит Na_3AlF_6 , флюорит CaF_2 .

Попадающие за счет выбросов предприятий фториды достаточно интенсивно поглощаются твердыми фазами. Высокое содержание фторидов вызывает существенные изменения химических свойств почвы: смещение pH в щелочную область, увеличивается содержание водорастворимых органических веществ, снижаются окислительные потенциалы, происходит мобилизация соединений железа и марганца. Все это неблагоприятно отражается на показателях биологической активности почв. Загрязнение почв фтором представляет значительную опасность для почвенного покрова, снижает плодородие почв, вызывает их деградацию.

Хлор. В почвах накапливаются соли HCl – хлориды. Все встречающиеся в почве хлориды натрия, калия, кальция, магния и большинства микроэлементов легко растворимы. Исключения составляют хлорид серебра и некоторые соединения ртути. Уровень содержания хлоридов колеблется в широких пределах – от 1-10 мг/кг в почвах гу-

мидных областей до целых процентов в засоленных почвах (солончаках, солонцах). Предельно допустимая концентрация хлоридов в почвах составляет 0,01 % или 0,3 мг-экв/100г почвы. Хлориды являются наиболее токсичными солями.

4.3 Радиоактивные элементы

В почвах и почвообразующих породах широко представлены радиоактивные элементы (радионуклиды). Радиоактивность (естественная) – это явление самопроизвольного превращения (распада) неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотоп другого, сопровождающееся α -, β - и γ -излучениями. Радиоактивность почв обусловлена присутствием в них радиоактивных элементов естественного и антропогенного происхождения. В связи с этим различают естественную и искусственную радиоактивность. Она выражается количеством ядерных распадов в единицу времени и измеряется в беккерелях (1 Бк=1 распад/с) или в единицах активности радиоактивных изотопов – кюри (1 Ки=3,7·10¹⁰ Бк).

Естественная радиоактивность. Естественными радионуклидами принято считать такие, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека.

Естественная радиоактивность обусловлена двумя группами радиоактивных элементов: первичными, которые содержатся в материнских породах и вошли в состав почв, и космогенными – поступающими в почву из атмосферы, образование которых происходит при взаимодействии космического излучения с ядрами стабильных элементов.

Все первичные естественные радиоактивные элементы в основном долгоживущие, с периодом полураспада 10⁸-10¹⁷ лет, возникшие, вероятно, одновременно с образованием Земли. Наибольший вклад в естественную радиоактивность почв вносят радиоактивный изотоп ⁴⁰K, на долю которого приходится более 50 % естественной радиоактивности почв, а также кальций (⁴⁸Ca), рубидий (⁸⁷Rb), уран (²³⁸U), радий (²²⁶Ra), торий (²³²Th). Главный источник этих элементов в почвах – почвообразующие породы. Они существенно различаются между собой концентрацией естественных радиоактивных элементов.

Наибольший вклад в дозу облучения из большого числа космогенных радиоактивных элементов вносят тритий (³H), бериллий (⁷Be, ¹⁰Be), углерод (¹⁴C, ¹³C), фосфор (³²P, ³³P), сера (³⁵S), хлор (³⁵Cl) и натрий (²²Na). На естественную радиоактивность почв влияют следующие

щие космогенные изотопы: радиоуглерод (^{14}C) и тритий (^3H) – сверхтяжелый изотоп водорода, поступающие в почву из атмосферы. Эти радиоизотопы относятся к сравнительно короткоживущим. У радиоуглерода период полураспада составляет 5760 лет, у трития – 12,3 лет. Поскольку они поступают в почву из атмосферы, то их содержание поддерживается на относительно постоянном уровне.

Всего известно более 300 естественных радионуклидов, присутствие которых в почве определяет ее естественную радиоактивность. Концентрация естественных радионуклидов в природе варьирует в широких пределах. В земной коре из всех радиоактивных веществ больше всего содержится калия (примерно 2,5 %), тогда как содержание урана и тория в десятки и сотни, а радия в миллионы раз меньше по сравнению с содержанием радиоактивного калия (^{40}K). Этот элемент в природе представлен смесью трех изотопов: ^{39}K , ^{40}K и ^{41}K , два из которых (^{39}K и ^{41}K) – стабильные и один (^{40}K) – долгоживущий радиоактивный, период полураспада которого измеряется сотнями миллионов лет (Анненков Б.Н., Юдинцева Е.В., 1991).

Валовое содержание радионуклидов в почвах зависит, прежде всего, от материнских пород. Максимальная радиоактивность обнаружена у почв, развившихся на кислых магматических породах, чем в почвах, образовавшихся на основных и ультраосновных породах, а наиболее высокая концентрация радионуклидов наблюдается в мелкодисперсной фракции почв – в глинистых частицах. Например, почвы, сформировавшиеся на обогащенных фосфором породах, содержат повышенные концентрации урана.

Покровные и лессовидные суглинки, лессы и ленточные глины содержат в 2-4 раза больше радиоактивных элементов, чем песчаные и супесчаные флювиогляциальные отложения. В почвах, сформировавшихся на элювии карбонатных пород, содержание радиоактивных элементов в несколько раз выше, чем в породах. Эти элементы накапливаются в почве при преобразовании (выветривании) карбонатных пород.

В почвах естественные радиоактивные элементы присутствуют в ультромикроконцентрациях в пределах $n \cdot 10^{-4}$ - $n \cdot 10^{-12}$ %. На земном шаре встречаются районы с повышенным уровнем естественной радиоактивности почв. Естественно-радиоактивные вещества в повышенных концентрациях обнаруживают в местах их добычи, технического использования и захоронения.

Содержание естественных радионуклидов в почве изменяется как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. В горизон-

тальном (меридианальном) направлении наблюдается возрастание концентраций их от подзолистых почв к серозёмам: почвы болотные → подзолистые → дерново-подзолистые → серые лесные → чернозёмы → каштановые → серозёмы (табл. 33).

Таблица 33

Концентрация основных естественных радиоизотопов в почвах
(Ковриго В.П., 2008)

Почвы	Концентрация, Бк/кг		
	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th
Болотные	110	8	8
Подзолистые	180	11	15
Дерново-подзолистые	360	18	27
Серые лесные	450	22	32
Чернозёмы	500	26	44
Каштановые	700	32	45
сероземы	810	38	60
Среднемировое значение для почвенного покрова	450	32	32

Особенность распределения радиоактивности в вертикальной плоскости (по генетическим горизонтам) зависит от характера почвообразовательного процесса.

В дерново-карбонатных почвах наиболее высокое содержание естественных радионуклидов отмечается в гумусовых горизонтах и постепенно убывает при переходе к почвообразующей породе.

В черноземах, темно-серых лесных, каштановых, полупустынных и пустынных почвах, формирование которых не связано с активным преобразованием и передвижением компонентов твердой фазы, распределение естественных радиоактивных элементов по почвенному профилю отличается слабой дифференциацией. В лесостепных почвах и почвах степных областей профильная дифференциация содержания радиоэлементов совпадает с типичными профильными закономерностями изменений в них гранулометрического состава, оксидов железа и алюминия.

Оподзоливание, осолодение, лессиваж, осолонцевание приводят к выносу естественных радионуклидов из элювиальных (верхних) горизонтов в иллювиальные с последующей аккумуляцией, где концентрация радионуклидов возрастает в 1,5-3 раза по сравнению с почвообразующей породой. Уран осаждается на глеевых барьерах, в связи с чем происходит обогащение этим элементом гидроморфных почв.

Искусственная радиоактивность. В настоящее время известно более 1300 искусственных радионуклидов, из которых наибольшую опасность представляют изотопы ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce . Период полураспада у стронция – 28 лет, у цезия – 30 лет. Они отличаются высокой энергией излучения и способны активно включаться в биологический круговорот. Искусственные (техногенные) радионуклиды условно разделены на три группы: радиоактивные продукты деления (наиболее значимые из которых ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{131}Ce , ^{144}Ce); продукты наведенной активации (в том числе ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{65}Zn); транс-урановые элементы (среди которых наиболее долгоживущие ^{237}Np , ^{239}Np , ^{239}Pu , ^{244}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm).

Искусственная радиоактивность обусловлена поступлением в почву радиоактивных изотопов, образующихся в результате атомных и термоядерных взрывов, в виде отходов атомной промышленности, в результате аварий на атомных предприятиях, внесения фосфорных удобрений (часто содержащих изотопы урана), зольными выбросами тепловых электростанций, работающих на угле и горючих сланцах, содержащих уран, радий, торий, полоний. Радиоэлементы разносятся ветром, дождевыми и талыми потоками, расширяя зоны радиоактивных загрязнений почвенного покрова и природных вод, подвергая радиоактивному облучению живые организмы. При работе АЭС во внешнюю среду поступают интенсивно мигрирующие продукты деления – ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{131}I , а также нуклиды с наведенной активностью – ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn .

Содержание радионуклидов в почве увеличивается при внесении мелиорантов, органических и минеральных удобрений, содержащих радиоактивные вещества. Так, активность 1 кг фосфорных удобрений составляет: суперфосфата – 120 Бк, обогащенного концентрата – 70 Бк. При средних дозах внесения этих удобрений (60 кг/га) в почву дополнительно вовлекаются радионуклиды, активность которых в 60 кг удобрений равна $1,35 \cdot 10^6$ Бк. Повышается радиоактивность почвы при известковании за счет ^{48}Ca , концентрация которого в естественной смеси изотопов кальция составляет 0,19 %.

Радиоактивное загрязнение почвы не влияет на уровень плодородия, но приводит к накоплению радионуклидов в продукции растениеводства. Однако с увеличением уровня плодородия концентрация радионуклидов в урожае снижается за счет увеличения биомассы урожая. Усиление антагонизма между ионами радионуклидов и вносимых солей (Ca – Sr, K – Cs) препятствует поступлению стронция и цезия в растения.

В настоящее время почва является основным источником поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. (Рекомендации, 1991). Большинство искусственных радионуклидов закрепляется компонентами твердой фазы почвы, благодаря чему они аккумулируются в верхней части почвенного профиля. В почвах легкого гранулометрического состава радионуклиды проникают более глубоко, чем в тяжелых почвах, в результате чего они могут достигать уровня почвенно-грунтовых вод и поступать с ними в речную сеть.

На фиксацию радионуклидов влияют содержание гумуса, гранулометрический и минералогический составы, реакция среды. По мере увеличения содержания органического вещества и степени дисперсности почвенных частиц сорбция ^{90}Sr усиливается. В сорбции ^{137}Cs основную роль играют глинистые минералы, особенно иллит, вермикулит. При подкислении среды подвижность искусственных радионуклидов обычно возрастает, а в нейтральных и щелочных почвах снижается. Основное количество стронция и цезия, поступившее в растение, накапливается в их надземной массе, а остальных радионуклидов – в корнях.

В целом наиболее высокая сорбция радионуклидов отмечается у почв тяжелого гранулометрического состава с высоким содержанием гумуса и минералов типа вермикулита, монтмориллонита, гидрослюд. В таких почвах происходит прочное закрепление искусственных радионуклидов компонентами ППК, что предотвращает вовлечение их в миграционные процессы и поступление в растения.

Миграция радионуклидов в почвах протекает медленно, и основное их количество в настоящее время находится в слое 0-5 см. Хозяйственная деятельность человека, в частности перепашка угодий, приводит к достаточно равномерному распределению радионуклидов в пределах пахотного слоя. Вспашка с оборотом пласта обуславливает перемещение радионуклидов в глубь почвы, а внесение удобрений и известки резко снижает поступление их в культурные растения (в 4-5 раз).

Вопросы и задания для проверки знаний

1. Как реагируют растения на повышенные содержания алюминия и марганца в почве?
2. Опишите условия, при которых может усиливаться отрицательное действие алюминия и марганца на растение.
3. Назовите группы растений по чувствительности к алюминию и марганцу.

4. Какие элементы в почвах могут быть токсичными?
5. Каковы источники токсичных элементов в почвах?
6. Как повышенные содержания токсичных элементов влияют на свойства почв?
7. Что является источником естественных радиоактивных элементов в почве?
8. От чего зависит содержание естественных радионуклидов в почвообразующих породах?
9. От чего зависит содержание естественных радионуклидов в почвах?
10. Охарактеризуйте источники поступления искусственных радиоактивных элементов в почвы.
11. Как влияют искусственные радионуклиды на плодородие почвы?
12. Какие свойства почвы способствуют накоплению радионуклидов в почвах?

5. ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

Почвы существенно различаются по податливости к химическому загрязнению. Аккумуляция поступающих в почву химических соединений зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, карбонатности, рН, емкости поглощения и связана с водным режимом.

Относительная опасность загрязнения почв биохимически активными элементами нарастает при утяжелении гранулометрического состава и уменьшении коэффициента увлажнения. Опасность загрязнения почв слабо подвижными формами соединений биохимически активных элементов увеличивается при высоком содержании гумуса, высокой поглотительной способности, усилении окислительных условий.

В число загрязнителей окружающей среды входят тяжелые металлы, пестициды, ряд производных углерода, серы, азота, фосфора, жидкие углеводороды, синтетические органические вещества, радионуклиды и другие вредные вещества.

Основы теории устойчивости почв к химическому загрязнению и принципы соответствующей классификации были разработаны М.А. Глазовской (1964). Все техногенные вещества, являющиеся химическими загрязняющими веществами, М.А. Глазовская объединяет в две группы:

1. Активные почвенные вещества, способные повлиять на кислотно-основные или окислительно-восстановительные условия в почвах. К ним относятся минеральные кислоты, щелочи, карбонаты, сероводород, метан.
2. Биохимически активные вещества, действующие непосредственно на живые организмы. Это токсичные микроэлементы, пестициды, углеводороды и т.п. Воздействие на организмы зависит от их доступности растениям, подвижности в почвах.

Поведение элементов в почвах и их геохимическая миграция существенно обусловлены действием доминирующих почвообразующих процессов (табл. 34).

Согласно действующему в стране ГОСТу химические вещества, попадающие в почву из выбросов, сбросов и отходов подразделяются на три класса по степени опасности (табл. 35) (Методические указания, 1987). До 1987 г. цинк, медь, сурьма по степени опасности входили во второй класс.

Таблица 34

Главные типы почвообразующих процессов и тенденции поведения в них химических элементов (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989)

Процесс	Климатическая зона	Поведение элементов в верхнем слое	
		Накопление	Миграция
Оподзоливание	Холодная северная	Co, Cu, Mn, Ni, Ti, V, Zr (в иллювиальном горизонте)	B, Ba, Br, Cd, Cr, Li, Mn, Rb, Se, Sr, V, Zn
Осолонцевание	Теплая с сухими сезонами	B, Ba, Cu, Co, Mo, Ni, Se, Zn, V	—
Гидроморфные образования	Интразональные почвы	B, Ba, Cu, Co, I, Mn, Mo, Se, Sr, V (в органическом горизонте)	B, Br, Co, Cu, Mn, Ni, U, V
Аллитизация	Прохладная и умеренная гумидная	Co Mn V (в глеевом горизонте)	B, Ba, Br, Cu, I, Se, Sr

Таблица 35

Классы загрязняющих веществ по степени их опасности

Класс	Химические вещества
I Высокоопасные	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, фтор, медь, сурьма, цинк, бензопирен
II Умеренноопасные	Бор, кобальт, никель, молибден, хром
III Малоопасные	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенол

Охрана почв заключается в том, чтобы предотвратить или свести к минимуму все виды разрушения почв. Причины химического загрязнения:

- атмосферный перенос загрязняющих веществ (тяжелые металлы, кислые дожди, фтор, мышьяк, пестициды);
- сельскохозяйственное загрязнение (удобрения, пестициды);
- наземное загрязнение – отвалы крупнотоннажных производств и топливно-энергетических комплексов;
- загрязнение нефтью и нефтепродуктами.

Тяжелые металлы. К тяжелым металлам (ТМ) относят более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева, которые имеют атомную массу более 50 (Орлов Д.С., 1991). Наиболее типичные металлы-загрязнители – свинец, кадмий, ртуть, цинк, молибден, никель, кобальт, олово, титан, медь, ванадий.

К тяжёлым металлам часто относят элементы – неметаллы (мышьяк, селен, фтор и др.), атомная масса которых меньше 50 а.е.м.

Среди ТМ много микроэлементов, биологически важных для живых организмов. Они являются необходимыми и незаменимыми компонентами биокатализаторов и биорегуляторов важнейших физиологических процессов (Остроумов С.А., 1986, Островская Л.К., 1987). Однако избыточное содержание ТМ оказывает угнетающее и даже токсичное действие на живые организмы.

Источники поступления тяжелых металлов подразделяются на природные и техногенные (табл. 36). К природным источникам относятся: выветривание горных пород и минералов, эрозионные процессы, вулканическая деятельность. Техногенные источники загрязнения: добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание топлива, аэрозольные выбросы предприятий черной и цветной металлургии (наиболее мощный источник загрязнения); автотранспорт; жидкие и твердые коммунальные отходы.

Таблица 36

Источники поступления ТМ в окружающую среду
(Вредные химические вещества, 1998)

Элемент	Естественное загрязнение	Техногенное загрязнение
As	Извержение вулканов, ветровая эрозия	Добыча и переработка мышьякосодержащих руд и минералов, пирометаллургия и получение серной кислоты, суперфосфата; сжигание каменного угля, нефти, торфа, сланцев; синтез и использование мышьякосодержащих ядохимикатов, препаратов, антисептиков
В	Входит в состав многих минералов	Сточные воды производств: металлургического, машиностроительного, текстильного, стекольного, керамического, кожевенного, а также бытовые сточные воды, насыщенные стиральными порошками. Разработка борсодержащих руд, внесение удобрений
Cd	Относится к редким рассеянным элементам: содержится в виде изоморфной примеси во многих минералах и всегда в минералах цинка	Локальное загрязнение – выбросы промышленных комплексов, загрязнение различной степени мощности: тепловые энергетические установки, моторы, минеральные удобрения, табачный дым
Со	Известно более 1000 кобальтсодержащих минералов	Сжигание в процессе промышленного производства природных и топливных минералов
Cr	В элементарном состоянии в природе не встречается. В виде хромита входит в состав земной коры	Выбросы предприятий, где добывают, получают и перерабатывают хром

Продолжение таблицы 36

Элемент	Естественное загрязнение	Техногенное загрязнение
Cu	Общие мировые запасы меди в рудах оценивают 465 млн. т. входит в состав минералов. Самородная образуется в зоне окисления сульфидных месторождений. Вулканические и осадочные породы	Предприятия цветной металлургии, транспорт, удобрения и пестициды, процессы сварки, гальванизации, сжигание углеводородных топлив
F	Широко распространён в природе, составляя примерно 0,08% земной коры. входит в состав свыше 1000 минералов. Фтороводородом богаты вулканические газы	Электростанции, работающие на угле, производство алюминия и суперфосфатных удобрений
Hg	Рассеянный элемент, концентрируется в сульфидных рудах. Небольшое количество встречается в самородном виде. Из 1 м ³ дождевой воды на Землю выпадает всего 200 мкг, что в 15-20 раз больше, чем её добывает человечество	Пирометаллургическое получение металла, все процессы, в которых используется ртуть. Сжигание органического топлива (нефть, уголь, торф, газ, древесина), металлургические производства, термические процессы с нерудными материалами. Потери на предприятиях по производству хлора, каустической соды, при сжигании мусора, сточные воды
Mo	Входит в состав многих минералов	Металлургический процесс переработки и обогащения руд, фосфорные удобрения, производство цемента, выбросы ТЭС
Ni	Входит в состав 53 минералов	Выбросы предприятий горнорудной промышленности, цветной металлургии, машиностроительные, металлообрабатывающие, химические предприятия, транспорт, ТЭС
Pb	Содержится в земной коре в составе минералов. В окружающую среду поступает в виде силикатной пыли почвы, вулканического дыма, испарений лесов, морских солевых аэрозолей и метеоритной пыли	Выбросы продуктов, образующихся при высокотемпературных технологических процессов, выхлопные газы, добыча и переработка металла, транспортировка, истирание и рассеивание его во время работы машин и механизмов
Se	Сульфидные месторождения, в которых селен изоморфно замещает серу, вулканическая деятельность, выпадение с атмосферными осадками	Обогащение руд, производство серной кислоты, сжигание угля
Zn	Относится к группе рассеянных элементов, широко распространён во всех геосферах. Входит в состав 64 минералов	Высокотемпературные технологические процессы, потери при транспортировке, сжигании каменного угля. Ежегодно с атмосферными осадками на 1 км ² поверхности Земли выпадает 72 кг цинка, что в 3 раза больше, чем свинца и в 12 раз больше, чем меди

Сельскохозяйственные земли, помимо загрязнения через атмосферу, загрязняются ТМ ещё и специфически, при применении пестицидов, минеральных и органических удобрений, известковании, использовании сточных вод (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989).

Городские почвы испытывают значительный техногенный пресс, составной частью которого является загрязнение ТМ (Хамитова Р.Я., Степанова Р.В., 2004).

Из атмосферы в почву тяжелые металлы попадают чаще всего в форме оксидов, где постепенно растворяются, переходя в гидроксиды, карбонаты или обменные катионы. Если почва прочно связывает тяжелые металлы (что обычно наблюдается на богатых гумусом, тяжелосуглинистых и глинистых почвах), то это предохраняет от загрязнения грунтовые и питьевые воды, растительную продукцию. Однако сама почва постепенно становится все более загрязненной и в какой-то момент может произойти разрушение органического вещества почвы с выбросом тяжелых металлов в почвенный раствор. В итоге такая почва окажется непригодной для сельскохозяйственного использования. Общее количество свинца, которое может задержать метровый слой почвы на одном гектаре, достигает 500-600 т; такого количества свинца даже при очень сильном загрязнении в обычной обстановке не бывает. Почвы песчаные, малогумусные неустойчивы против загрязнения; это значит, что они слабо связывают тяжелые металлы, легко отдают их растениям или пропускают их через себя с фильтрующими водами. На таких почвах возрастает опасность загрязнения растений и подземных вод.

Таким образом, на поверхности почв, ТМ могут либо накапливаться, либо рассеиваться в зависимости от характера геохимических барьеров, свойственных данной территории. В пределах геохимического барьера происходит изменение условий миграции химических элементов, что приводит к их накоплению (табл.37).

Степень подвижности ТМ зависит от геохимической обстановки и уровня техногенного воздействия. Как видно из таблицы, на миграции ТМ, особенно сказываются восстановительный, щелочной и адсорбционный барьеры. Таким образом, при одинаковом уровне техногенного воздействия подвижность ТМ в почве зависит от окислительно-восстановительных условий, реакции среды и емкости ППК, которая в свою очередь определяется гранулометрическим составом и содержанием органического вещества.

Классификация геохимических барьеров и элементы,
снижающие на них миграционную способность
(Перельман А.И., 1966)

Тип и класс геохимического барьера	Элементы
I. Биогеохимические барьеры – для всех элементов, которые перераспределяются и сортируются живыми организмами	O, C, H, Ca, K, N, Si, Mg, P, S и др.
II. Физико-химические барьеры:	
1. окислительные: железный или железомарганцевый марганцевый серный	Fe, Mn, Co Mn S
2. восстановительные: сульфидный глеевый	Fe V Zn Ni Cu Co Pb U As Cd Hg Ag Se V, Cu, U, Ag, Se
3. сульфатный и карбонатный	Ba, Ca, Sr
4. щелочной	Fe, Ca, Mg, Sr, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd
5. кислый	SiO ₂
6. испарительный	Ca, Na, Hg, As, S, Sr, Cl, Pb, Zn, Li, Ni, Mo, U
7. адсорбционный	Ca, K, Mg, P, S, Pb, V, Cr, Zn, Ni, Cu, Co, U, As, Mo, Hg, Ra
8. термодинамический	Ca, S
III. Механические барьеры	Fe, Ti, Cz, Ni, Th, Sn, W, Hg, Pt, Pd

Тяжёлый гранулометрический состав и высокое содержание органического вещества приводят к связыванию ТМ почвой. Рост значений рН усиливает сорбированность катионообразующих металлов (Cu, Ni, Zn, Hg, Pb и др.) и увеличивают подвижность анионообразующих (Mo, Cr, V и др.). Усиление окислительных условий увеличивает миграционную способность металлов. В итоге по способности связывать большинство ТМ, почвы образуют следующий ряд: серозём > чернозём > дерново-подзолистая почва (Горбатов В.С., Обухов А.И., 1989). Таким образом, к почвенным факторам, значительно влияющим на доступность тяжёлых металлов, относятся: гранулометрический состав, реакция среды почвы, содержание органического вещества, катионнообменная способность и дренаж (избыток воды в почве способствует появлению в ней металлов с низкой валентностью в более растворимой форме).

ТМ сорбируются на поверхности почвенных частиц, связываются с органическим веществом почвы в виде элементарно-органических соединений, аккумулируются в гидроксидах железа, входят в состав кристаллических решёток глинистых минералов, дают собственные минералы в результате изоморфного замещения, находятся в раство-

рённом состоянии в почвенной влаге и газообразном состоянии в почвенном воздухе, являются составной частью почвенной биоты (Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., 2006).

Характеризуя общую картину загрязнения почв тяжелыми металлами, можно отметить, что опасные его уровни, превышающие значения ПДК, наблюдаются около металлургических, химических, лакокрасочных, стекольных предприятий в радиусе до 10-12 км, при производстве пластмасс, ТЭЦ, вдоль автодорог с интенсивным движением (в полосах шириной до 100м). В этих районах сельскохозяйственное использование почв должно быть строго специализированным, их следует исключать из обычных севооборотов. Загрязнения тяжелыми металлами из агропромышленных источников до уровней, приближающихся к ПДК, возможны только на землях, на которых средства химизации применялись длительное время без надлежащего контроля (прил. 5). Внесение минеральных и органических удобрений является источником рассеивания элементов тяжёлых металлов.

В настоящее время загрязнение тяжелыми металлами на территории Пермского края по данным агрохимической службы является сильным.

Наиболее вероятными объектами, на которых можно ожидать повышенных уровней загрязнения тяжелыми металлами и для которых необходимо проведение обследований, являются:

- пригородные зоны крупных промышленных центров (на расстоянии до 10 км);
- овощные севообороты с высокой насыщенностью удобрениями и пестицидами;
- поля с длительным применением сточных вод;
- территории, на которых систематически применяют пестициды.

Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почве значительно больше, чем в других частях биосферы, и загрязнение почвы ТМ практически вечно. Металлы, накапливающиеся в почве, медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции (Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1989). Период полуудаления (или удаления половины от начальной концентрации) ТМ сильно варьирует для различных компонентов, но составляет достаточно продолжительные периоды времени: для цинка – от 70 до 150 лет; для кадмия – от 13 до 110 лет; для меди – от 310 до 1500 лет; для свинца – от 740 до 5900 лет (Садовникова Л.К., 1994).

Почва, в отличие от других компонентов природной среды, не только геохимически аккумулирует компоненты загрязнителей, но и

выступает как природный буфер, контролирующий перенос химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу и живое вещество. Загрязнение почв ТМ имеет две отрицательные стороны.

1. ТМ включаются в биологический круговорот, поступая по пищевым цепям из почвы в растения, а далее в организм животных и человека. ТМ вызывают снижение количества и качества урожая сельскохозяйственных растений и животноводческой продукции, рост заболеваемости населения и сокращение продолжительности жизни. Разные ТМ представляют опасность для здоровья человека в разной степени. Наиболее опасными являются ртуть, кадмий, свинец.

2. Накапливаясь в почве в больших количествах, ТМ способны изменять многие её свойства, и в первую очередь биологические: снижается общая численность микроорганизмов, сужается их видовой состав (разнообразие), изменяется структура микробиоценозов, падает интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов и т. д. Сильное загрязнение ТМ приводит к изменению и более консервативных признаков почвы: гумусное состояние, структура, реакция среды и др. Результатом этого является частичная и даже полная утрата почвенного плодородия.

Существует два направления по «оздоровлению» (санации) почв от ТМ. Первое направлено на очищение почвы от ТМ. Очищение может производиться путём промывок, путём извлечения ТМ из почвы с помощью растений (фиторемедиация), путём удаления верхнего загрязнённого слоя почвы и другими способами.

При очищении почв путём промывок часть ТМ удаляется из почвы, но при этом они поступают в грунтовые воды, реки и другие водоёмы, а затем они включаются в пищевые цепи живых организмов и человека. В случаях очень сильного загрязнения почвы ТМ единственным средством является удаление верхнего загрязнённого слоя почвы и его захоронение. При этом теряется самый плодородный слой почвы и, кроме того, возникает вопрос – куда хоронить загрязнённую почву.

Почвы загрязненные тяжелыми металлами и радионуклидами очистить очень трудно. Эффективный путь: засеять такие почвы быстро растущими культурами, дающими большую зеленую массу; культуры извлекают из почвы токсичные элементы, а затем собранный урожай подлежит уничтожению. Это довольно длительная и дорогостоящая процедура.

Второе направление санации почв основано на закреплении ТМ в почве, переводя их в нерастворимые в воде и недоступные живым

организмам формы. Для этого предлагается внесение в почву органического вещества или ионообменных смол для закомплексовывания токсичных ионов или известкование почвы для повышения рН, что ведёт к снижению растворимости соединений большинства ТМ. Применение фосфорных удобрений снижает содержание подвижных форм свинца, меди, цинка, кадмия (Орлов Д.С., 1991). В последнее время в качестве поглотителей ТМ предлагают природные цеолиты (Минеев В.Г., 1989). В тоже время установлено, что их применение ухудшает азотное, фосфорное и калийное питание растений, вследствие поглощения цеолитами этих элементов. Любой способ закрепления ТМ в почве имеет свой срок действия: рано или поздно часть тяжёлых металлов снова начнёт поступать в почвенный раствор, а далее в живые организмы.

Неплохой эффект может дать глубокая вспашка, когда верхний загрязненный слой почвы при вспашке опускают на глубину 50-70 см, а глубокие слои почвы поднимают на поверхность с помощью специальных многоярусных плугов. Но при этом глубокие слои все равно остаются загрязненными.

Также на загрязненных тяжелыми металлами (но не радионуклидами) почвах можно выращивать культуры, не используемые в качестве продовольствия или кормов, например цветы.

При оценке различных способов санации загрязнённых ТМ почв следует использовать три критерия. Способ должен быть экологически безопасным, технологически эффективным и экономически рентабельным.

Экологическая безопасность подразумевает, что использование способа не повлечёт за собой экологических ущербов. *Технологическая эффективность* заключается в том, что доля извлечённых или закреплённых ТМ должна быть высокой. *Экономическая рентабельность* (эффективность) состоит в том, что «вылечить почву», восстановить её плодородие должно быть экономически более выгодным, чем получать на ней низкие урожаи и некачественную продукцию или вовсе забросить загрязнённые земли. Другими словами затраты на санацию должны быть меньше, чем убытки от загрязнения.

Как видно из обзора различных способов санации загрязнённых ТМ земель, все они имеют недостатки. Ни один из них не является одновременно экологически безопасным, технологически эффективным и экономически рентабельным (Колесников С.И., 2006).

Кислые дожди. Выпадение дождей или других атмосферных осадков с высокой кислотностью – обычный результат выброса в ат-

мосферу продуктов сжигания топлива (угля), а также выбросов металлургических и химических заводов. В составе таких выбросов высоко содержание диоксида серы и оксидов азота; при взаимодействии с водяными парами атмосферы они образуют серную и азотную кислоты.

Действие кислых дождей на почвы неоднозначно. В северных, таежных зонах они увеличивают вредную кислотность почв, способствуя повышению содержания в почвах растворимых соединений токсичных элементов – свинца, алюминия. При этом усиливается и разложение почвенных минералов. Один из путей борьбы с подкислением таежных почв – установка на заводских трубах фильтров, перехватывающих оксиды серы и азота, также известкование почв.

Если такие дожди выпадают в районах распространения карбонатных и щелочных почв, то они снижают щелочность, увеличивая подвижность элементов питания, их доступность растениям.

Промышленные отвалы. Такие отвалы занимают огромные площади, выводя из пользования земельные угодья, а многие из них представляют конкретную опасность для окружающей среды. Отвалы угольных шахт содержат немало угля, который сгорая, загрязняет атмосферу; отвалы многих горных пород содержат пирит FeS_2 , который самопроизвольно на воздухе окисляется до H_2SO_4 ; в период дождей или снеготаяния она легко образует не только сильноокислые воды, но даже озера серной кислоты в окрестностях горных выработок. Единственный путь нормализации экологической обстановки в таких местах – выравнивание отвалов, их землевание, залужение, лесные посадки.

Нефть и нефтепродукты. Нефтяное загрязнение почв относится к числу наиболее опасных, поскольку оно принципиально изменяет свойства почв, а очистка от нефти затруднена. Нефть обволакивает почвенные частицы, почва не смачивается водой, гибнет микрофлора. Растения не получают должного питания. Наконец, частицы почвы слипаются, а сама нефть переходит в иное состояние, ее фракции становятся более окисленными, затвердевают и при высоких уровнях загрязнения почва напоминает асфальтоподобную массу.

Нефть представляет собой смесь углеводов и их производных, в целом свыше 1000 индивидуальных органических веществ, каждое из которых может рассматриваться, как самостоятельный токсикант. К нефтепродуктам относятся бензин, лигроин, керосин, газойль, мазут, гудрон и т. д.

Источники загрязнения почв нефтью бывают природные (очень редко) и техногенные. В естественных условиях нефть залегает на больших глубинах и не оказывает влияния на почву. Загрязнение происходит в районах нефтепромыслов, нефтепроводов, а также при перевозке нефти. Районы и источники загрязнения почв нефтью условно можно разделить на две группы: временные и постоянные (хронические). К временным районам можно отнести утечки при сухопутной или водной транспортировке. К постоянным относятся районы нефтедобычи, на территории которых земля буквально пропитана нефтью в результате многократных утечек.

Экологические последствия загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами зависят от трёх групп факторов: параметров загрязнения (химическая природа загрязняющих веществ, концентрация их в почве, срок от момента загрязнения и др.), свойств почвы (структура, гранулометрический состав, влажность почвы, активность микробиологических и биохимических процессов и др.) и характеристик внешней среды (температура воздуха, ветреность, уровень солнечной радиации и особенно доля ультрафиолетового излучения в свете, растительный покров и пр.).

Негативное влияние нефти на почву проявляется в значительном изменении морфологических, физико-химических и микробиологических свойств почв. На поверхности почвы высокомолекулярные продукты деградации нефти образуют устойчивые к разложению корочки, затрудняющие дыхание почвы, в результате чего растения засыхают. В почвах возрастает рН, общее количество углерода повышается в 2-10 раз, а содержание углеводов в 10-100 раз. В почве нарушаются азотный режим, процессы нитрификации и аммонификации, окислительно-восстановительные процессы и т.д. Существенно меняются морфологические свойства почв: происходит изменение цветовых характеристик почвенного профиля в сторону преобладания серо- и тёмно-коричневых оттенков, ухудшается структура, снижается водопроницаемость почв.

Влияние нефти на растение обусловлено как её непосредственным токсическим воздействием, так и трансформацией почв.

Бороться с загрязнением почв нефтью очень трудно. При малых уровнях загрязнения помогает внесение удобрений, стимулирующих развитие микрофлоры и растений. В результате нефть частично минерализуется, некоторые ее фрагменты входят в состав гуминовых веществ. При длительных сроках загрязнения происходят необратимые изменения в почве. Тогда загрязненные слои приходится удалять.

Наряду с нефтью одним из основных загрязнителей являются пластовые воды – постоянные спутники нефти. Пластовые воды нефтяных месторождений всегда содержат в растворённом виде соли, некоторые органические вещества и газы, которые оказывают более сильное негативное воздействие, чем сами углеводороды.

При нефтедобыче происходит разделение нефти и пластовых вод, которые транспортируют по трубопроводам, расположенных под почвенной толщей. При повреждении или износе труб происходит разлив или утечка вод. Масштаб и интенсивность их воздействия на природные системы часто более значительны, чем собственно нефти и нефтепродуктов. Загрязнение пластовыми водами приводит к хлоридно-натриевому засолению, возникает специфическое техногенное осолонцевание со всеми вытекающими негативными последствиями. Эти участки выделяются на поверхности и образуют так называемые «техногенные пустыни».

Попадая в почвенную толщу, пластовые воды изменяют солевой состав почвенного раствора. Например, солёные пластовые воды хлоридного состава с минерализацией выше 50 г/дм^2 приводят к засолению почв, пресных поверхностных и грунтовых вод. В окружающую среду при этом попадают в значительном количестве неспецифические для почв вещества (Солнцева Н.П., 1988).

Таким образом, в сфере влияния потоков загрязнителей происходит замещение исходных почв устойчивыми техногенными модификациями, что приводит к глубокому изменению естественных биоценозов. Разливы высокоминерализованных скважинных вод в нефтедобывающих регионах оказывают крайне негативное влияние на почвенные системы вплоть до утраты почвой способности к самоочищению от углеводородного загрязнения.

Специфика загрязнения земель нефтепродуктами заключается в том, что они долго разлагаются (десятки лет), на них не растут растения и выживают немногие виды микроорганизмов. Восстановление загрязнённых нефтепродуктами земель проходит либо засевом культур, устойчивых к нефтяному загрязнению, либо завозом незагрязнённой почвы, что осуществляется в три основных этапа: удаление загрязнённой нефтью почвы, рекультивация нарушенного ландшафта, мелиорация.

Для формирования почвенных химических систем необходимы долгие годы. Для формирования высоко буферных почвенно-генетических систем, которые придают почвам способность противостоять колебаниям климата и растительности, нужны сотни лет. Такая

буферность обусловлена высоким разнообразием химических соединений в почвах, многие из которых обладают различными свойствами. Все это позволяет почвам оптимально обеспечивать устойчивое состояние биоценоза в целом.

В сельскохозяйственных почвах частично нарушается природное равновесие, а химический состав почв не полностью отвечает требованиям выращиваемых культур, часть химических элементов отчуждается с урожаем, органическое вещество частично минерализуется. В связи с этим, в пахотных почвах необходимо пополнять запас химических элементов и их соединений путем внесения минеральных и органических удобрений, которые улучшают химический состав, физические свойства почв и повышают плодородие.

В почвах медленнее достигаются токсичные уровни загрязняющих веществ, но долго в ней сохраняются, негативно влияя на экологическую обстановку целых регионов. Охрана почв – дело первоочередной важности, хотя влияние загрязнения почв бывает не столь заметным и очевидным, как загрязнение атмосферы и гидросферы.

Вопросы и задания для проверки знаний

1. Что относят к химическим загрязнителям почвы? Назовите причины химического загрязнения.
2. Каким образом проявляется влияние почвообразовательных процессов на поведение химических элементов загрязнителей?
3. Перечислите классы веществ по степени их опасности. Дайте их характеристику.
4. Какие элементы относят к тяжёлым металлам (ТМ)? Что является источником загрязнения почв тяжёлыми металлами?
5. Какие условия и свойства почвы влияют на степень подвижности ТМ?
6. В чём проявляется отрицательное воздействие при загрязнении почв тяжёлыми металлами?
7. В чём заключается «оздоровление» почв от ТМ?
8. В чём проявляется действие кислых дождей на почву?
9. Как проявляется влияние нефти на свойства почвы?
10. Каково воздействие пластовых вод на свойства почвы?
11. Каково значение химического состава почв для сохранения равновесия в почвенной системе, ландшафте, в целом биосферы?

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ПЕРСОНАЛИЙ (ГЛОССАРИЙ)

Агрегатный состав почв – относительное содержание в почве структурных отдельностей различной формы и размеров, состоящих из механических элементов.

Адсорбция – процесс поглощения из растворов или газов веществ твёрдыми телами или жидкостями.

Аккумуляция – накопление в почве органических, минеральных и органно-минеральных веществ.

Аморфное состояние – конденсированное состояние вещества, характеризуется изотропией физических свойств, обусловленной неупорядоченным расположением атомов и молекул.

Антропогенное воздействие – прямое или косвенное влияние человечества на окружающую среду.

Барьер биологический – участки в пределах биосферы, на которых происходит изменение термодинамических или физико-химических условий, приводящее к увеличению или уменьшению подвижности элементов, обусловленное деятельностью организмов.

Барьер геохимический – резкое изменение условий миграции элементов, в результате которого происходит дифференциация вещества. Различают испарительный, сорбционный, биологический, восстановительный, окислительный геохимические барьеры.

Барьер глеевый – участки почвы, место в почвенном профиле, испытывающее постоянное или длительное избыточное увлажнение и находящееся под влиянием жизнедеятельности анаэробных бактерий.

Барьер испарительный – энергичное удаление воды снизу – вверх при испарении. Встречаются в солончаках, солёных озёрах, засоленных почвах.

Барьер кислородный – проявляется на границе глеевого и окислительного горизонтов; осаждаются марганец и в меньшей степени железо.

Барьер кислый – возникают при резком падении кислотности, осаждаются анионогенные элементы.

Барьер сорбционный – места встреч вод и сорбентов с отрицательно заряженными коллоидами – гумусом. Эти барьеры характерны для краевых зон болот, иллювиальных глинистых горизонтов, почв и кор выветривания, гумусовых горизонтов почв, контакта глин и песков аллювия.

Барьер термодинамический – места выхода карстовых вод с осаждением CaCO_3 , CO_2 .

Барьер щелочной – места, где на коротком расстоянии и времени кислая среда сменяется щелочной.

Биогеохимический круговорот (биогеохимический цикл) - повторяющееся перемещение и превращение химических элементов через косную и органическую природу при активном участии живого вещества биосферы.

Буферность почв – способность всех фаз почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора.

Вещества питательные – вещества, имеющие первостепенное значение для жизни растений. Различают макро- и микроэлементы.

Вещества питательные подвижные – легкорастворимые в различных вытяжках формы соединений питательных веществ в почве, которые считаются доступными для растений и служат условным показателем содержания в почве усвояемых для растений питательных веществ.

Вещества питательные усвояемые (син.: вещества питательные доступные) – вещества, которые могут быть использованы корнями растений. Иногда подразумеваются вещества, переходящие в различные вытяжки.

Воздушный режим – совокупность всех явлений: поступления, передвижения, изменения состава и физического состояния воздуха при взаимодействии с твердой, жидкой и живой фазами почвы, а также газообмен почвенного воздуха с атмосферным.

Выветривание – разрушение горных пород и минералов под воздействием атмосферы, гидросферы и биосферы. Различают три формы выветривания: физическое, химическое, биологическое.

Выщелачивание – вымывание из почвы растворимых веществ в процессе выветривания и почвообразования нисходящим или боковым током почвенного раствора в нижележащие горизонты или почвообразующую породу.

Газообмен почвенный – процесс обмена почвенного воздуха с атмосферным; осуществляется через водоносные поры почвы, сообщающиеся между собой и с атмосферой.

Гидратация – образование оболочки из ориентированных молекул воды вокруг ионов, молекул и коллоидных частиц, находящихся в растворе, а также вокруг твёрдых частиц почвы, при соприкосновении их с влагой.

Гидролиз – химическое взаимодействие вещества с водой, сопровождающееся распадом сложного химического тела на составляющие

его части и присоединением к ним ионов воды (H^+ и OH^-). Образуется два-три и более новых соединений.

Глина – порода, содержащая от 40- 60 % до 100 % глины физической.

Горные породы – геологические образования, состоящие из минералов и обладающие относительно постоянными химическим составом и свойствами.

Гранулометрический состав почв – дисперсное состояние почвенной массы, определяемое совокупностью элементарных частиц разной размерности, выраженное в процентах.

Гумусовые кислоты – азотсодержащие высокомолекулярные оксикарбоновые кислоты, образующиеся в почве в процессе распада органических остатков полимеризации продуктов распада.

Давление осмотическое – мера стремления растворённых в почвенном растворе веществ, вследствие теплового движения, перейти в процессе диффузии в чистый растворитель (воду) до предельного понижения первоначальной концентрации раствора.

Дегидратация – процесс потери минералами связанной воды.

Деградация – процесс ухудшения и разрушения почв в результате антропогенного воздействия.

Десорбция – процесс удаления адсорбированного вещества с поверхности адсорбента; обусловлена уменьшением концентрации адсорбируемого вещества в окружающей среде или повышением температуры.

Детоксикация почв – а) совокупность процессов в почве, приводящих к ослаблению или полному освобождению от токсичного действия загрязняющих веществ различной природы; б) совокупность приёмов и методов, направленных на создание в загрязнённой почве условий, приводящих к ослаблению или полному освобождению от токсичного действия загрязняющих веществ различной природы.

Диспергирование – процессы измельчения вызывающие разрушение почвенных агрегатов и элементарных почвенных частиц.

Дождь кислотный – дождь, имеющий кислую реакцию ($pH < 5,6$), обусловленный растворением в атмосферной влаге техногенных выбросов.

Емкость катионного обмена (ЕКО) – количество способных к обмену поглощенных катионов в мг-экв, содержащихся в 100 г почвы.

Загрязнение – привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для неё физических, химических или биологических агентов, или превышение в рассматриваемый период

естественного среднемноголетнего уровня их концентрации, нередко приводящее к негативным последствиям. Выделяют загрязнение почвы глобальное, локальное, региональное, радиоактивное, сельскохозяйственное, тяжёлыми металлами.

Известкование почв – агротехнический приём внесения в почву известковых удобрений и извести для устранения избыточной кислотности; способы химической мелиорации кислых почв (подзолистых, болотных, серых лесных, краснозёмов и оподзоленных чернозёмов).

Иммобилизация – переход питательных веществ из доступного для растений состояния в недоступную форму.

Импактное загрязнение – локальное загрязнение.

Коэффициент биологического поглощения – эмпирический биогеохимический показатель, характеризующий интенсивность биологического поглощения элементов. Вычисляется как отношение процентного содержания элемента в золе растений к содержанию этого же элемента в почве или горной породе, на которой произрастает растение, Кларк литосферы.

Ленточные глины – тонкослоистые песчано-глинистые флювиогляциальные отложения, образуются в приледниковых озёрах. Для них характерно чередование тонко-песчаных и илистых слоёв

Лёсс – осадочная горная порода от палевого до жёлто-коричневого цвета, неслоистая, пористая, состоящая из сцементированной известковой пыли, тонкозернистого кварца и глины, часто с включением журавчиков-конкреций CaCO_3 ; преобладают частицы 0,01 – 0,05 мм. Происхождение эоловое, от ледниковых потоков, при мерзлотном выветривании, делювиальном процессе.

Лёссовидные суглинки – породы, близкие к лёссам; отличаются от них меньшим содержанием крупнопылевой фракции и большими колебаниями содержания других фракций, меньшей пористостью, окраска от желтовато-бурой до красновато-бурой; обычно содержат карбонаты; бескарбонатные лёссовидные суглинки называют покровными суглинками.

Мергель – осадочная горная порода, переходная от известняков и доломитов к глинистым породам, содержит от 30 до 90 % CaCO_3 и MgCO_3 , от 10 до 70 % глинистого материала.

Миграция химических элементов – перенос и перераспределение химических элементов в результате геохимических процессов, протекающих в земной коре и на её поверхности.

Минерал – природное тело однородного химического состава, обладающее во всей своей массе одинаковыми физическими свойствами.

Минералогический состав почв – ассоциация первичных (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы, мусковит, биотит и многие другие) и вторичных или глинистых минералов (монтмориллонит, вермикулит, анортит, нонтронит, хлорит, гидрослюды).

Минеральная часть почвы – основная часть почвенной массы, представленная минеральными соединениями; составляет 90-99 % веса почвы (в органогенных почвах – до 10 %). Представлена силикатными и алюмосиликатными минералами, аморфными и кристаллическими гидроксидами Al, Fe, Si, различными минеральными солями.

Мобилизация элементов питания – переход органических и минеральных веществ почвы в доступную для питания растений форму.

Морена – скопления несортированного обломочного материала, переносимого и откладываемого ледниками.

Окислительно-восстановительный потенциал почвы – разность гальвани-потенциалов между металлом и раствором окислительно-восстановительной системы.

Охрана и рациональное использование почв – система мероприятий, направленных на защиту, улучшение и рациональное использование земель, повышение плодородия почв и поддержание устойчивости биосферы в целом.

Плодородие потенциальное (скрытое, нереализованное) – суммарное плодородие почв, определяющееся её свойствами, как приобретёнными в процессе почвообразования, так и созданными или изменёнными человеком. Плодородие потенциальное зависит от мощности гумусового слоя, содержания гумуса и доступных элементов питания, гранулометрического, минералогического и химического составов, её физико-химических и агрофизических свойств, интенсивности микробиологических процессов.

Плодородие почв – способность почв удовлетворять растения (биоту) в воде, пище и воздухе.

Поглотительная способность почвы – способность почвы поглощать и удерживать твердые, жидкие, газообразные вещества и микроорганизмы.

Почва – естественно-историческое самостоятельное тело, возникшее как результат векового взаимодействия факторов почвообразования.

Почвенная биота – совокупность живых организмов, населяющих почву.

Почвенная кислотность – сумма ионов H^+ и Al^{3+} , находящихся в почвенном растворе и в поглощенном состоянии.

Почвенная система – открытая четырехфазная гетерогенная система, в развитии стремящаяся к состоянию динамического равновесия с окружающей средой и потому формирующая почвенный профиль с заданными конечными параметрами.

Почвенно-генетический горизонт – сравнительно однородный слой в составе почвенного профиля, характеризующийся относительно однородной окраской, сложением, составом и морфометрией.

Почвенные коллоиды – поверхностно активные заряженные частицы размером менее 0,0002 мм. По составу – это алюмосиликатно-органические комплексы.

Почвенный воздух – смесь газов, заполняющих поры почвы, свободные от воды.

Почвенный гумус – специфическое новообразование органического вещества в почвах, образующееся после разложения растительных и животных остатков.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) – совокупность минеральных, органических, и органо-минеральных компонентов твердой фазы почвы, обладающих ионообменной способностью.

Почвенный профиль – совокупность генетических связанных горизонтов, закономерно сменяющих друг друга по вертикали, от поверхности почвы к почвообразующей породе.

Почвенный раствор – жидкая фаза почв, содержащая минеральные, органические и органо-минеральные вещества в ионной, молекулярной, коллоидной форме и иногда в виде взвесей, а также растворенные газы.

Почвообразование – комплекс процессов, физически и биохимически преобразующих исходную горную породу в почву. Конечным итогом почвообразования является формирование полно развитого почвенного профиля.

Почвообразующая порода – геологическое минеральное образование, которое выступает основой формирования почвенного профиля.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – максимально допустимая концентрация вещества, не вызывающая негативного прямого или косвенного влияния на природную среду и здоровье человека.

Радиоактивные элементы – химические элементы, все изотопы которых радиоактивны.

Радионуклид – нуклид, ядро которого способно к радиоактивному распаду.

Разрушение минерала – процесс изменения минерала, связанный с полной перестройкой его кристаллической структуры и ведущий к образованию новых минералов. Например, каолинизация полевых шпатов, хлоризация биотита.

Рассеянные элементы – группа химических элементов, как правило, не образующих самостоятельных минералов (присутствуют в виде изоморфных примесей в минералах более распространенных элементов).

Резервы элементов питания – запас элементов питания в почве. Различают резервы элементов питания: общий (валовое содержание элемента); непосредственный (количество элемента, извлекаемое из почвы принятыми в агрохимии методами); ближайший (содержание элемента в илистой фракции); потенциальный (элементы представлены преимущественно кислыми плагиоклазами и калиевыми шпатами, которые входят в почвенные фракции $>0,001$ мм).

Рекультивация почв – мероприятия по восстановлению продуктивности нарушенных почв, утративших хозяйственную ценность или являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного и растительного покрова, гидрологического режима вследствие образования техногенного рельефа.

Сложение почвы – взаимное расположение в пространстве и соотношение механических элементов, структурных отдельностей и связанных с ними пор в почве. Это внешнее выражение плотности и пористости.

Состав почвы – соотношение (массовое или объемное) компонентов почвенного материала, выраженное в процентах его общей массы или объема. Различают фазовый, агрегатный (структурный), микроагрегатный, гранулометрический, минералогический и химический состав почвы.

Структура почвы – взаимное расположение структурных отдельностей (агрегатов) определенной формы и размеров.

Токсичность – свойство различных легкорастворимых солей вызывать угнетение развития и отравление растений вследствие повышения осмотического давления в почвенных растворах и нарушение

поступления воды и питательных элементов, а также нарушение физиологических функций растения.

Удобрения – вещества органического и минерального происхождения, которые содержат необходимые для растений элементы питания.

Устойчивость минералов – способность минералов противостоять внешним воздействиям – физическим и химическим – при процессах выветривания (и переноса); зависит от свойств среды, свойств минералов.

Фазы почвы – составляющие компоненты почвенного тела: твердая фаза – минералы и органическое вещество; жидкая фаза – растворенные соли, кислоты и органно-минеральные комплексы; газообразная фаза – доминирует CO_2 , кислород, метан, аргон, сероводород и другие; живая фаза или биота – совокупность растений, зоо- и микроорганизмов.

Физиологическая сухость – состояние почвы, при котором, несмотря на обилие в ней влаги, последняя не может использоваться растениями в силу различных причин (низкая температура, осмотическое давление, большая кислотность, недостаток кислорода и др.). Физиологическая сухость свойственна преимущественно почвам тундровой и таёжной зон, в пределах которых проявляется весной и в начале лета (в этот период при высоких дневных температурах транспирация влаги растениями увеличивается, а их корневые системы ещё не в состоянии обеспечить достаточное поступление влаги из холодных почв).

Фиксация – процесс закрепления элементов питания в почве путём биологического связывания их высшими и низшими растениями, а также химического и физико-химического (в некоторых случаях необменно) поглощения элементов питания твёрдой фазой почвы.

Флювиогляциальные отложения - слоистые осадки, отлагавшиеся потоками талых ледниковых вод и представленные преимущественно галькой, гравием и косослоистыми песками. Слагают аккумулятивные формы рельефа.

Химический состав почв – совокупность химических элементов и их соединений. Различают элементный (валовой) состав минеральной части почвы, жидкой и газообразной фаз почв.

Химия почв – раздел почвоведения, изучающий состав, структуру соединений, химические, физико-химические, коллоидные свойства минеральной и органической части почв, их взаимодействие и из-

менения при почвообразовании, химические методы исследования и использования почв.

Цеолит – группа минералов подкласса каркасных силикатов. Они способны селективно и вновь впитывать различные вещества и обменивать катионы. Из-за большого количества пустот цеолиты представляют как бы молекулярные сита; они – эффективные сорбенты, способны поглощать воду, органические соединения, катионы и анионы раствора. Цеолиты обладают высокой ЕКО, поэтому могут быть использованы для мелиорации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами и радионуклидами.

Щелочность почвы – содержание в почвенном растворе OH^- иона.

Экзогенные процессы – процессы, происходящие под влиянием энергии Солнца.

Элементный состав почв (валовой состав) – набор и химическое соотношение химических элементов в почвенной массе. Это первая и необходимая химическая характеристика почвы, на которой базируется понимание их свойств, генезиса и плодородия. Элементный состав почв используется для оценки потенциального плодородия почвы, при разработке и выборе методов анализа почв.

Элементы биофильные – химические элементы, поглощаемые из геохимической среды (почвы, воды) организмами и используемые в процессе жизнедеятельности. К ним относят макро- и микроэлементы. По степени биофильности подразделяются на максимальную (С), высокую (N, H), среднюю (O, Cl, S, P, B, Br ...), низкую (Fe, Al).

Элементы зольные (вещества зольные) – макро- и микроэлементы, обнаруженные в золе растений, опада, подстилки, живых организмов и других компонентов экосистемы после прокалывания при 450°C . Элементы зольные имеют биогенное происхождение. Обычно это все элементы, которые могут находиться в растениях и животных, кроме С, Н, О, Т; последние не входят в состав золы, т. к. улетучиваются при сухом озолении.

Элювий - континентальные геологические образования, возникшие в результате выветривания горных пород и оставшиеся на месте своего первичного залегания. Один из основных генетических типов четвертичных осадочных пород, на которых повсеместно развиваются почвы.

Эндогенные процессы – процессы, происходящие под влиянием внутренней энергии Земли.

Библиографический список

1. Авдонин, Н.С. Свойства почв и урожай. - М., Колос, 1965. - 215 с.
2. Агрохимическая характеристика почв СССР. Кн.1-14. - М.: Наука, 1962, 1974. - 479 с.
3. Анненков, Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиобиологии / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с. ISBN 5-10-001803-8.
4. Анспок, П.И. Справочник агрохимика Нечерноземной полосы / П.И. Анспок, Ю.А. Штиканс, Р.Р. Визла. – Л.: Колос, 1981. – 328 с.
5. Безуглова, О.С. Биогеохимия. Учебник для студентов высших учебных заведений / О.С. Безуглова, Д.С. Орлов // Серия «Учебники, учебные пособия». – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 320 с. ISBN 5-222-01018-x
6. Блэк, К.А. Растение и почва / Пер. с англ. канд. с.-х. наук Э.И. Шконде // Под ред. д-ра биол. наук Т.А. Работнова. – М.: Колос, 1973. – 503 с.
7. Важенин, И.Г. О нормировании загрязнённости почвы выбросами промышленных предприятий // Химия в сельском хозяйстве. Т. 23. - № 6. - 1985. – С. 42-45.
8. Вальков, В.Ф. Почвообразование на известняках и мергелях / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, М.А. Кутровский. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат», 2007. – 198 с. ISBN 978-5-7509-1021-2.
9. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1950.
10. Виноградов, А.П. Химическая эволюция Земли. – М.: изд-во АН СССР, 1959.
11. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I – IV групп / Справ. изд. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.
12. Временная инструкция о порядке закупок сельскохозяйственной продукции. – Утвержд. МСХ РФ. М., 1992.
13. Гинзбург, К.Е. Фосфор основных типов почв СССР / К.Е. Гинзбург. – М.: Наука, 1980. – 244 с.
14. Глазовская, М.А. Геохимические основы типологии и методика исследования природных ландшафтов. - М.: Изд-во МГУ, 1964.
15. Горбатов, В.С. Динамика трансформации малорастворимых соединений цинка, свинца и кадмия в почвах / В.С. Горбатов, А.И. Обухов // Почвоведение. - 1989. - № 6. – С. 129-133.

16. Горбунов, Н.И. Минералогия и коллоидная химия почв / Н.И. Горбунов. - М.: «Наука», 1974. - 313 с.
17. Дьяков, В.П. К вопросу о развитии почвообразовательного процесса при окультуривании дерново-подзолистых почв Предуралья/ В.П.Дьяков // Тр. ПСХИ – 1971 .- Т. 87. – С. 3-19.
18. Дьяков, В.П. Десорбция калия и его формы в дерново-подзолистых почвах Предуралья различной степени окультуренности / В.П. Дьяков // Приемы повышения плодородия почв северо-востока Нечерноземья. Сб. науч. тр. Пермский СХИ. - Пермь, 1985. - С. 26-35.
19. Дьяков, В.П. Содержание органических фосфатов и резервы фосфора в дерново-подзолистых почвах Пермской области различной степени окультуренности / В.П.Дьяков // Рациональное использование и охрана почв Нечерноземья. Сб. науч. тр. – Пермь, 1987. – С. 64-73.
20. Дьяков, В.П. Свойства дерново-подзолистых почв Предуралья подзоны южной тайги / В.П.Дьяков // Свойства и рациональное использование пахотных почв Предуралья. Сб. науч. тр. Пермский СХИ. - Пермь, 1989. - С. 8-25.
21. Дьяков, В.П. Калийное состояние дерново-подзолистых почв тяжелого механического состава Предуралья / В.П.Дьяков // Плодородие мелиорация почв Нечерноземья. Сб. науч. тр. Пермский СХИ - Пермь, 1991. – С. 60-71.
22. Елькина, Г.Я. Микроэлементы в дерново-подзолистых почвах Пермской области и факторы, обуславливающие их подвижность / Г. Я. Елькина // Вопросы агрохимии и почвоведения. – Сб. науч. тр., Пермский СХИ, 1980.- С. 32-35.
23. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас //Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
24. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение. – М.: Изд-во ГЕОС, 2005. – 336 с.
25. Ковальский, В.В. Микроэлементы в почвах СССР / В.В. Ковальский, Г.А. Андрианова. - М.: Наука, 1970. - 419 с.
26. Ковда, В.А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
27. Ковда, В.А. Основы учений о почве. – М.: Наука, 1973. – Кн. 1. – 447 с.
28. Ковриго, В.П. Почвоведение с основами геологии. / В.П. Ковриго, И.С. Кауричев, Л.М. Бурлакова – М.: Колос, 2000. - 416с.

29. Ковриго, В.П. Почвоведение с основами геологии / В.П. Ковриго, И.С. Кауричев, Л.М. Бурлакова. – М.: КолосС, 2008. – 439 с. ISBN 978-5-9532-0483-5.
30. Колесников, С.И. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростиздат, 2006. – 385 с.
31. Кудрин С.А. Средний химический состав основных типов почв Европейской части СССР по валовым анализам. – Почвоведение. – 1963. - № 5.
32. Мамонтов, В.Г. Общее почвоведение / В.Г. Мамонтов, Н.П. Панов, И.С. Кауричев, Н.Н. Игнатъев. - М.: КолосС, 2006. - 456 с.
33. Минеев, В.Г. Использование природных цеолитов для предотвращения загрязнения почвы и растений тяжёлыми металлами / В.Г. Минеев, А.В. Кочетавкин, Нгуен Ван Бо //Агрохимия. - 1989. - № 8. – С. 89-95.
34. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
35. Минеев, В.Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В.Г. Минеев, Д. Добрецени, Т. Мазур. – М.: Колос, 1993. – 415 с.
36. Минеев, В.Г. Агрохимические и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
37. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почв химическими веществами. – М.: Минздрав СССР, 1987. – 25 с.
38. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИ-НАО, 1992. - 59 с.
39. Муха, В.Д. Агрочесоведение / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха / Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
40. Нейтрализация загрязнённых почв : монография // Под общ. ред. Ю.А.Можайского. – Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528 с.
41. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов – М.: МГУ, 1985. - 376 с.
42. Орлов, Д.С. Химическое загрязнение почв и их охрана / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова, Л.К. Садовникова, Т.А. Соколова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 303 с.
43. Орлов, Д.С. Химия почв: Учебник - М.: Изд-во МГУ, 1992. - 400 с.
44. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005. – 558 с. ISBN 5-06-004428-5.

45. Островная, Л.К. Микроэлементы. Поступление, транспорт и физиологические функции в растениях. – Киев: Наук. думка, 1987. – 255 с.
46. Остроумов, С.А. Введение в биохимическую экологию. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 176 с.
47. Парфенова, Е.И. Минералогические исследования в почвоведении / Е.И. Парфенова, Е.А. Ярилова. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - 205 с.
48. Перельман, А.И. Геохимия ландшафтов / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1966. – 392 с.
49. Петербургский, А.В. Формы калия в почве при многолетнем применении минеральных удобрений // Изв. ТСХА. – 1963. – Вып. 6. – С. 113-124.
50. Пискунов, А.С. Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье / А.С.Пискунов // Пермский СХИ. - Пермь, 1994. - 168 с.
51. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.
52. Почвоведение с основами геологии / А.И. Горбылёва, Д.М. Андреева, В.Б. Воробьев, Е.И. Петровский // Учеб. пособие. – Мн: Новое знание, 2002. – 480 с.
53. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М., 2000. – 182 с.
54. Прянишников, Д.Н. Избранные труды. – М.: 1963. - Т.3. - 634 с.
55. Пчелкин, В.И. Почвенный калий и калийные удобрения. – М.: Колос, 1966. – 354 с.
56. Ринькис, Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1982. – 304 с.
57. Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на Чернобыльской АЭС. – М., 1991.
58. Садовникова, Л.К. Тяжёлые металлы // Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 105-126.
59. Скрябина, О.А. Почвообразующие породы Пермской области / Метод. пособие. – Пермь, 1998. – 32 с.
60. Солнцева, Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
61. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. – М., 1965. – 319 с.

62. Хамитова, Р.Я. Оценка загрязнённости тяжёлыми металлами городских почв / Р.Я. Хамитова, Н.В. Степанова // Здоровье населения и среда обитания, 2004. - № 7. – С. 28-32.
63. Шконде, Э.И. О природе и подвижности почвенного азота / Э.И. Шконде, И.Е. Королева // Агрехимия. - 1964. - №10. - С. 17-36.

Приложения

Приложение 1

Уровень обеспеченности сельскохозяйственных культур
азотом по нитрификационной способности
дерново-подзолистых и серых лесных почв (Кравков С.П., 1978)

Культуры	Уровень обеспеченности, мг/кг N-NO ₃			
	I – очень низкий	II - низкий	III – средний	IV – высокий
Зерновые	<5	5-8	8-15	>15
Корнеплоды и картофель	<8	8-15	15-30	>30
Овощные	<15	15-30	30-60	>60

Приложение 2

Группировка почв по обеспеченности подвижным фосфором,
определяемого разными методами (Анспек П.И., 1981)

Обеспеченность	P ₂ O ₅ мг/кг		
	по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
Очень низкая	<20	<20	<10
Низкая	20 – 50	20 – 50	10 – 15
Средняя	50 – 100	50 – 100	15 – 30
Повышенная	100 – 150	100 – 150	35 – 45
Высокая	150 – 250	150 – 200	45 – 60
Очень высокая	>250	>200	>60

Приложение 3

Группировка почв по содержанию обменного калия
(K₂O, мг /кг, Анспек П.И., 1981г)

Обеспеченность	по Кирсанову	по Чирикову	по Мачигину
Очень низкая	0-40	0 – 20	0 – 50
Низкая	40-80	20 – 40	50 – 100
Средняя	80-120	40 – 80	100 – 200
Повышенная	120-170	80 – 120	200 – 300
Высокая	171-250	120 – 180	300 – 400
Очень высокая	>250	>180	>400

Приложение 4

Группировка почв по обеспеченности растений микроэлементами (Важенин И.Г., 1985)

Обеспеченность	Содержание подвижных микроэлементов, мг/кг почвы (в вытяжках по Пейве-Ринькису)					
	B	Mn	Cu	Zn	Co	Mo
I группа растений (невысокого выноса микроэлементов).						
Низкая	<0.1	<15	<0.5	<0.3	<0.3	<0.05
Средняя	0.1-0.3	15-30	0.5-1.5	0.3-0.5	0.3-1.0	0.05-0.15
Высокая	>0.3	>30	>1.5	>1.5	>1.0	>0.15
II группа растений (повышенного выноса микроэлементов)						
Низкая	<0.3	<45	<2.0	1.5	1.0	<0.2
Средняя	0.3-0.5	45-70	2.0-4.0	1.5-3.0	1.0-3.0	0.-0.3
Высокая	>0.5	>70	>4.0	3.0	>3.0	>0.3
III группа растений (высокого выноса микроэлементов)						
Низкая	<0.3	<100	<5.0	<3.0	<3.0	<0.3
Средняя	0.-1.0	100-150	5.0-7.0	3.0-5.0	3.0-5.0	0.3-0.5
Высокая	>1.0	>150	>7.0	5.0	>5.0	>0.5

Примечание:

I группа растений – зерновые, кукуруза, зернобобовые, картофель

II группа растений – корнеплоды, овощи, травы (бобовые, злаковые, разнотравные)

III группа растений – сорта интенсивного типа, с/х культур I и II групп, возделываемых в условиях повышенного агрофона.

Приложение 5

Сельскохозяйственные источники загрязнения почв тяжелыми металлами, мг/кг сухой массы (ЦИНАО, 1992)

Источник загрязнения						
Элемент	Орошение сточными водами	Фосфорные удобрения	Известковые материалы	Азотные удобрения	Органические удобрения	Пестициды
As	2-26	2-1200	0.1-24	2.2-120	3-25	22-60
Cd	2-1500	0.1-170	0.04-0.1	0.05-8.5	0.3-0.8	-
Co	2-260	1-12	0.4-3.0	5.4-12	0.3-24	-
Cr	20-40000	66-245	10-15	3.2-19	5.2-55	-
Cu	50-3300	1-300	2-125	1-15	2-60	12-50
F	2-740	8500-38000	300	-	7	18-45
Hg	0.1-55	0.01-1.2	0.05	0.3-2.9	0.09-0.2	0.8-42
Mn	60-3900	40-2000	40-1200	-	30-550	-
Mo	1-40	0.1-60	0.1-15	1-7	0.05-3	-
Ni	16-5300	7-38	10-20	7-34	7.8-30	-
Pb	50-3000	7-225	20-1250	2-27	6.6-15	60
Se	2-9	0.5-25	0.08-0.1	-	2.4	-
Sn	40-700	3-19	0.5-4.0	1.4-16.0	3.8	-
Zn	700-49000	50-1450	10-450	1-42	15-250	1.3-25