

Е.Е. Кузина, Е.Н. Кузин

ОБЩЕЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Пенза 2015

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

Е.Е. Кузина, Е.Н. Кузин

ОБЩЕЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ

**Учебное пособие для самостоятельной работы
по почвоведению**

**(для студентов агрономического факультета,
обучающихся по направлению подготовки
35.03.03 – агрохимия и агропочвоведение)**

Пенза 2015

УДК: 631.4(075)

ББК 40.3(я7)

К 89

Рецензенты: А.И. Иванов, доктор биол. наук, профессор, заведующий кафедрой биологии, экологии и химии ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА»

Печатается по решению методической комиссии агрономического факультета от мая 2015 г., протокол № .

Кузина, Елена Евгеньевна

К 89 **Общее почвоведение: учебное пособие / Е.Е. Кузина, Е.Н. Кузин.**
– Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 140 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 35.03.03 – агрохимия и агропочвоведение. Состоит из введения, двух разделов и 10 глав. В первом разделе дается характеристика почвообразовательного процесса и факторов почвообразования. Во втором разделе описаны состав, свойства и режимы почв. В пособии представлен перечень вопросов для выполнения контрольной работы.

© ФГБОУ ВПО
«Пензенская ГСХА», 2015
© Е.Е. Кузина,
Е.Н. Кузин, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ.....	9
РАЗДЕЛ 1. ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС И ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ.....	14
Глава 1. Общая схема почвообразовательного процесса и формирование почвенного профиля.....	14
1.1 Выветривание горных пород и минералов.....	14
1.2 Общая схема почвообразовательного процесса.....	17
1.3 Образование и эволюция почв.....	21
1.4 Морфологические признаки почв.....	25
Глава 2. Факторы почвообразования.....	30
2.1 Климат.....	30
2.2 Почвообразующие породы.....	32
2.3 Рельеф.....	33
2.4 Биологический фактор почвообразования.....	34
2.5 Возраст почв.....	38
2.6 Производственная деятельность человека.....	39
РАЗДЕЛ 2. СОСТАВ, СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ ПОЧВ.....	40
Глава 3. Происхождение и состав минеральной части почв...	40
3.1 Классификация почвообразующих пород, их химический и минералогический состав.....	40
3.2 Гранулометрический состав почвообразующих пород и почв.....	45
Глава 4. Происхождение и состав органической части почв...	48
4.1 Источники органического вещества в почве.....	48
4.2 Процессы превращения органических остатков в почве и условия образования гумуса.....	50
4.3 Состав гумуса и содержание его в почве.....	54
4.4 Роль гумуса в почвообразовании, плодородии и питании растений.....	58
Глава 5. Поглотительная способность и физико-химические свойства почвы.....	61
5.1 Виды поглотительной способности почв.....	61
5.2 Емкость катионного обмена и состав поглощенных катионов разных почв.....	67
5.3 Реакция почвы, виды почвенной кислотности	

и щелочности.....	70
5.4 Буферность почв.....	73
Глава 6. Почвенный раствор и окислительно-восстановительные процессы в почвах.....	74
6.1 Почвенные растворы.....	74
6.2 Окислительно-восстановительные процессы в почвах.....	76
Глава 7. Структура, физические и физико-механические свойства почвы.....	79
7.1 Понятие о структуре почвы и ее агрономическое значение.....	79
7.2 Генезис структуры почвы.....	83
7.3 Утрата и восстановление структуры.....	85
7.4 Общие физические свойства почвы.....	87
7.5 Физико-механические свойства почв.....	90
Глава 8. Почвенная влага, водные свойства и водный режим почв.....	92
8.1 Значение влаги в почвообразовании, жизни растений и микроорганизмов.....	92
8.2 Категории, формы и виды почвенной влаги.....	94
8.3 Основные почвенно-гидрологические константы.....	97
8.4 Основные водные свойства почвы.....	98
8.5 Водный баланс почв.....	103
8.6 Водный режим почв и пути его регулирования.....	105
Глава 9. Воздушные и тепловые свойства почвы.....	109
9.1 Тепловые свойства и тепловой режим почв.....	109
9.2 Воздушные свойства и воздушный режим почв.....	113
Глава 10. Плодородие почв.....	119
10.1 Виды плодородия.....	119
10.2 Относительный характер плодородия.....	120
10.3 Оптимальные параметры состава, свойств и режимов почв.....	121
10.4 Факторы, лимитирующие плодородие почв.....	123
Перечень вопросов для выполнения контрольной работы.....	126
Словарь терминов (глоссарий).....	132
Литература.....	139

Введение

Почвоведение – фундаментальная естественноисторическая наука о почвах, их образовании (генезисе), строении, составе и свойствах; о закономерностях их географического распространения; о процессах взаимосвязи с внешней средой, определяющих формирование и развитие главнейшего свойства почв – плодородия; о путях рационального использования почв в сельском и народном хозяйстве и об изменении почвенного покрова в агрокультурных условиях.

Почвоведение является одной из центральных агрономических дисциплин, так как знания о почве любой страны являются тем фундаментом, на котором строится разработка научно обоснованных севооборотов, систем удобрения, проектов мелиорации земли и правильной организации территории, приемов возделывания сельскохозяйственных культур и т.д., что в итоге определяет рациональное использование почв как основного средства сельскохозяйственного производства.

Почвоведение как наука сформировалось в конце XIX столетия. Основоположителем научного почвоведения был выдающийся русский ученый Василий Васильевич Докучаев (1846–1903), определивший почву как самостоятельное естественноисторическое тело и сформулировавший целый ряд законов ее образования, развития и географического распространения. До В.В. Докучаева почвоведение рассматривалось как часть агрономии или геологии.

Первое научное определение почвы дал В.В. Докучаев: «Почвой следует называть «дневные» или наружные горизонты горных пород (все равно каких), естественно измененные совместным воздействием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых». Он установил, что все почвы на земной поверхности образуются путем «чрезвычайно сложного взаимодействия местного климата, растительности и животных организмов, состава и строения материнских горных пород, рельефа местности и, наконец, возраста страны». Эти идеи В.В. Докучаева получили дальнейшее развитие в представлениях о почве как о биоминеральной («биокосной») динамической системе, находящейся в постоянном материальном и энергетическом взаимодействии с внешней средой и частично замкнутой через биологический круговорот.

Согласно современным представлениям, почва – самостоятельное естественноисторическое биокосное природное тело, возникшее

на поверхности Земли в результате воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов, представляющее собой открытую четырехфазную динамичную систему с характерными признаками и свойствами и обладающее способностью обеспечивать рост и развитие растений.

Почва, как всякое природное тело, имеет свое положение в пространстве, объем и границы. Верхняя граница – это поверхность раздела между почвой и атмосферой. Нижняя граница почвы определяется глубиной, на которую произошло существенное изменение горной породы почвообразовательным процессом, почва постепенно переходит в почвообразующую породу.

Почва – глобальное образование, «одевающее» пластом толщиной в несколько метров материка. С почвой связано все живое на Земле: растения, животные, микроорганизмы. Почва – «основа-подошва»: четвертое царство природы после царства минералов, животных и растений.

Почва в природе занимает особое место, в ее состав входят как минеральные, так и органические вещества. По выражению В.И. Вернадского, почва – биокосное тело природы. Располагаясь на границе литосферы, атмосферы и гидросферы, она формирует особую геосферу – педосферу, или почвенный покров Земли. Одновременно почва является одним из главных и сложных компонентов биосферы – области распространения жизни на Земле.

Учение о почве В.В. Докучаева обусловило концепцию о биосфере, созданную В.И. Вернадским, так как почва – тот узел, в котором сплелись сложные взаимоотношения человека с природой. Учение о биосфере становится «точкой роста» науки о почве.

Почвы – основное и незаменимое средство сельскохозяйственного производства, богатство любой страны, которое обеспечивает человека продуктами питания, а промышленность – сырьем. Почвы надо беречь, так как они являются не только предметом труда, но и в определенной мере его продуктом, поскольку человек может существенно изменять свойства почвы, сознательно направляя процесс ее развития в нужное русло.

Основным свойством почвы является плодородие – способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла для нормальной деятельности и создания урожая. Именно это важнейшее качество почвы, отличающее ее от горной породы, под-

черкивал В.Р. Вильямс, определяя почву как «поверхностный горизонт суши земного шара, способный производить урожай растений».

Развитие почв и почвенного покрова, как и формирование их плодородия, тесно связано с конкретным сочетанием природных факторов почвообразования и многообразным влиянием человеческого общества, с развитием его производительных сил, экономических и социальных условий.

Особая роль в почвообразовании принадлежит живым организмам, прежде всего зеленым растениям и микроорганизмам. Благодаря их воздействию осуществляются важнейшие процессы превращения горной породы в почву и формирование ее плодородия: концентрация элементов зольного и азотного питания растений, синтез и разрушение органического вещества, взаимодействие продуктов жизнедеятельности растений и микроорганизмов с минеральными соединениями породы и т. п. В познание биологической сущности почвообразования особый вклад внесли В.Р. Вильямс и В.И. Вернадский.

Разнообразие климатических условий, растительности, горных пород, рельефа, различный возраст отдельных территорий обуславливают и разнообразие почв в природе. Географические закономерности их распространения определяются сочетанием факторов почвообразования. Для земного шара и отдельных его материков эти закономерности связаны с зональными изменениями климата и растительности и выражаются в развитии горизонтальной и вертикальной зональностей почв. Особенности почвенного покрова небольших территорий связаны, прежде всего, с влиянием рельефа, состава и свойств пород на климат почвы, растительность и почвообразование.

Благодаря своим особым качествам почва играет огромную роль в жизни органического мира. Являясь продуктом и элементом ландшафта – особым природным телом, она выступает как важная среда в развитии природы земного шара.

Находясь в состоянии непрерывного обмена веществом и энергией с атмосферой, биосферой, гидросферой и литосферой, почвенный покров выступает как незаменимое условие поддержания между всеми ее сферами сложившегося на Земле равновесия, столь необходимого для развития и существования жизни на нашей планете во всех ее многообразных формах.

Вместе с тем, обладая свойством плодородия, почва выступает как основное средство производства в сельском хозяйстве. Используя почву как средство производства, человек существенно изменяет почвооб-

разование, влияя как непосредственно на свойства почвы, ее режимы и плодородие, так и на природные факторы, определяющие почвообразование. Посадка и вырубка лесов, возделывание сельскохозяйственных культур изменяют облик естественной растительности; осушение и орошение меняют режим увлажнения и т. п. Не менее резкие воздействия на почву вызывают приемы ее обработки, применение удобрений и средств химической мелиорации (известкование, гипсование).

Следовательно, почва является не только предметом приложения человеческого труда, но в известной степени и продуктом этого труда.

Таким образом, почвоведение изучает почву как особое природное тело, как средство производства, как предмет приложения и аккумуляции человеческого труда, а также в известной степени как продукт этого труда.

Как основное средство производства в сельском хозяйстве почва характеризуется следующими важными особенностями: незаменимостью, ограниченностью, непремещаемостью и плодородием. Эти особенности подчеркивают необходимость исключительно бережного отношения к почвенным ресурсам и постоянной заботы о повышении плодородия почв.

Почвоведение является широкой естественнонаучной дисциплиной. Среди наук, с которыми соприкасается почвоведение, с одной стороны, необходимо назвать науки фундаментальные (физика, химия, математика), методами которых почвоведение широко пользуется, с другой, – естественные, сельскохозяйственные и экономические науки, с которыми почвоведение находится в состоянии постоянного теоретического обмена. К последним относятся: науки геолого-географического цикла (геология вместе с минералогией и петрографией, гидрогеология, физическая география, геоботаника, биогеоценология); науки агробиологического цикла (биология, микробиология, биохимия, агрохимия, физиология растений, растениеводство, земледелие, луговое хозяйство, лесоводство) и, наконец, науки аграрно-экономического цикла (политэкономия, сельскохозяйственная экономика, землеустройство и др.).

При составлении учебного пособия использовались учебники и учебные пособия следующих авторов: Н.Ф. Ганжара; А.И. Горбылева, В.Б. Воробьев, Е.И. Петровский; И.С. Кауричев; Б.Ф. Апарин, А.В. Русаков, Д.С. Булгаков; В.И. Кирюшин; В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Современное генетическое почвоведение как самостоятельная естественноисторическая наука о почве отсчитывает свой возраст с 10 декабря 1883 г., со дня защиты В.В. Докучаевым докторской диссертации «Русский чернозём», в которой были сформулированы главные теоретические концепции о почве, получившие дальнейшее развитие в последующих работах. Однако накопление научных фактов о почве началось еще в глубокой древности, и многие тысячелетия практические знания о почве передавались из поколения в поколение. Отрывочные сведения о почвах имеются в трудах ученых Древней Греции и Древнего Рима. Относительно обширными знаниями о них обладали в Древнем Египте. Первые попытки классификации почв были сделаны 4 тыс. лет назад в Китае. По И.А. Крупенникову, эмпирическая стадия развития почвоведения началась более 2–2,5 тыс. лет назад. Ученый разделил ее на следующие этапы.

1. Накопление разрозненных фактов о свойствах почв, их плодородии и способах обработки (неолит, бронзовый век).

2. Обособление первичной системы использования почв для орошения, появление способов борьбы с засолением почвы, примитивного кадастра земель (Египет, Месопотамия, Индостан, Китай, Мезоамерика) (XIX–XII вв. до н.э.).

3. Первичная систематизация сведений о почвах (греко-римская цивилизация IV в. до н.э. – IV в. н.э.), попытка их классификации (12 книг «О сельском хозяйстве» Колумеллы), первые примеры удобрения почв (Варрон), изучения географии почв (Геродот, Страбон).

4. Описание почв как земельных угодий для установления феодальных повинностей и привилегий. Появление китайских кадастров, «Геопоники» в Византии, землеоценочных актов в Германии, Англии, Франции, «Писцовых книг» в России. Оценка почв в Литве, Беларуси и Украине (IV–XVI вв.).

5. Появление агрономических трактатов Альберта Великого, Петра Кресценция; новых идей о почвах (Авиценна), о формировании почв под воздействием растений (Леонардо да Винчи). Формулирование Б. Палисси мыслей о роли почвы в питании растений (XV–XVII вв.).

6. Зарождение современных воззрений на плодородие почв и их связи с горными породами: теория гумусового питания растений Ва-

лериуса (1761, Швеция), закон убывающего плодородия А. Тюрго (1766, Франция).

В России новые идеи о формировании почв впервые изложены М.В. Ломоносовым. Позднее В.И. Вернадский писал, что его вообще надо считать первым почвоведом, который в своих трудах «Слово о явлениях воздушных» (1753), «О слоях земных» (1763) показал, опередив В.В. Докучаева, что почва образовалась из горных пород под воздействием растений во времени.

Отцом русской агрономии является А.Т. Болотов (1766), который раньше Ю. Либиха развил теорию о минеральном питании растений. Основоположником агрофизики стал И.М. Комов, который придавал большое значение наличию в почве гумуса. Его книга «О земледелии» (1788) являлась энциклопедией земледелия и растениеводства. Образованию чернозема посвящены труды И.А. Гюльденштедта (президента Вольного экономического общества (1779)), членов этого общества П.С. Палласа, М.И. Афонина.

7. Расширение и углубление исследований почв и теоретических обобщений (XIX в.) (гумусовая теория А.Д. Тэера, Н.А. Кюльбея, М.Г. Павлова), зарождение идей агрономической химии в трудах Ю. Либиха, Ж.Б. Буссенго, Т. Мульдера и возникновение нового научного направления – агрокультурихимии. Второе научное направление – агрогеология – связано с именами немецких ученых К. Шпренгеля и Ф.А. Фаллу. В 1837 г. появилась монография К. Шпренгеля «Почвоведение, или Наука о почвах», где впервые использовалось слово «почвоведение». Однако ни агрокультурихимики, ни агрогеологи не могли в полной мере понять и объяснить явления, от которых зависит плодородие почв и сложное взаимодействие почвы и растений. В этот период начались дискуссии о чернозёме и появилось новое направление – почвенная картография. В 1806 г. польский геолог С. Сташиц создал первую геолого-геоморфологическую почвенную карту территории от Балтийского моря до Днепра, на которой выделялась растительная земля – чернозёмы, степи пустынные, болотные, мергелистые почвы и др. На карте А.Н. Гроссул-Толстого на территории от Прута до Ингула были нанесены четыре широтные полосы: настоящая чернозёмная, супесчано-чернозёмная, суглинистая с примесью чернозёма, глинисто-известковая с незначительной примесью чернозёма. В 1851 г. К.С. Веселовский составил первую почвенную карту России, позднее в 1879 г. появилась карта В. И. Чаславского для Европейской части России. В картах, однако, отсут-

ствовала руководящая идея о классификации и закономерностях распространения почв, поскольку составлялись они опросным методом, без выхода в поле и поэтому, как писал В.В. Докучаев, «поражали своей беспорядочной пестротой».

8. Создание генетического почвоведения, доказательство его важнейших концепций В.В. Докучаевым в труде «Русский чернозём» (1883) и других работах («К учению о зонах природы», 1879; «Наши степи прежде и теперь», 1892, и др.). Будучи известен как активный член Вольного экономического общества, геолог по образованию, он по заданию общества 7 лет провел в степях, обобщив результаты экспедиции в труде «Русский чернозём». До него само понятие «почва» не имело определенного значения. В.В. Докучаев определил, что почва – самостоятельное природное тело, непрерывно меняющееся во времени и пространстве, установил закономерности и факторы почвообразования, выдвинул и развил идею о закономерностях пространственного распределения отдельных типов почв, на основе чего создал учение о зональности почвенного покрова. Это учение оказало большое влияние на развитие таких смежных наук, как геоботаника, физическая география, лесоводство, геохимия. В.В. Докучаев создал первую научную схему классификации почв Северного полушария. В ней выделены бореальная, таёжная, чернозёмная, аэральная платеритная зоны, каждая из которых характеризуется генезисом определенных почв в зависимости от климата, характера растительности, фауны, рельефа и преобладающих грунтов. В.В. Докучаев является основоположником учения о ландшафтах, из его теоретических положений вытекают методы изучения почв, основу которых составляют сравнительно-географический и профильно-морфологический. Ученым заложены также основы современной картографии почв.

Создавая науку о почве, В.В. Докучаев заботился о ее практическом приложении. Его внимание привлекали вопросы поднятия русского сельского хозяйства путем правильного использования почв и повышения их производительности. Ученый подчеркивал, что всякое земледелие должно быть строго зональным. Он создал три опытных опорных пункта в Воронежской, Екатеринославской и Харьковской губерниях, где внедрил эффективные способы защиты почв от эрозии и борьбы с засухой, а также придал комплексный характер землеоценочным работам в Полтавской и Нижегородской губерниях.

В.В. Докучаев был выдающимся педагогом. Из его школы вышли Н.М. Сибирцев – автор первого учебника генетического почво-

ведения и заведующий первой в мире кафедрой почвоведения в Ново-Александровском сельскохозяйственном институте, директором которого был В.В. Докучаев (ныне Харьковский государственный университет имени В.В. Докучаева); К.Д. Глинка (биогеохимик), В.И. Вернадский (основатель учения о биосфере), Т.А. Земятченский (минеролог), В.П. Амалицкий (геолог), Ф.Ю. Левинсон-Лессинг (петрограф), Г.И. Танфильев (ботаник-географ), Г.Н. Высоцкий и Т.Ф. Морозов (лесоводы), А.Н. Краснов (ботаник и почвовед), Л.И. Прасолов и Б.Б. Полюнов (почвоведы).

В XIX в. формируется московская школа почвоведов под руководством А.И. Сабанина, в Казани – под руководством Р.В. Расположенного. В Лесном институте в Петербурге химию почв развивал П.С. Коссович.

Вторым сооснователем русского почвоведения был П.А. Костычев (1845–1895). Н.М. Сибирцев писал, что П.А. Костычеву и В.В. Докучаеву принадлежат первые два места. Как основоположник агропочвоведения, П.А. Костычев видел основную задачу почвоведения в изучении свойств почв по отношению к растениям, а все приемы агротехники связывал со свойствами почв. Ученый показал, что плодородие почвы должно определяться не только химическими, но и физическими, биологическими методами. П.А. Костычев вложил много нового в изучение проблемы гумуса, почвенной структуры. Он является автором первого русского учебника «Почвоведение» (1886).

В тот же период в зарубежных работах преобладал агрогеологический подход к почвоведению. Основателями почвенной школы США являлись Г.В. Гигару (1833–1916) и М. Уитни (1860–1927), которым были близки докучаевские идеи. Развитие почвоведения в Европе связано с именами М.Э. Вольни и Е. Раманна (Германия), Ю. Шлезинга (Франция), С. Миклашевского (Польша), И.П. Пушкарова (Болгария) и др.

9. Завоевание Докучаевским учением лидирующего положения в мире благодаря классическим работам К.Д. Глинки, К. К. Гедройца, Г.Н. Высоцкого, Д.Н. Прянишникова, С.П. Кравкова, Н.А. Димо, Д.Г. Виленского, В.А. Ковды, А.Н. Соколовского, В.Р. Вильямса, Я.Н. Афанасьева и др. (1914–1941). Проведение Международных конгрессов и выставок укрепляло международные связи. Организация в 1927 г. Почвенного института имени В.В. Докучаева в Москве, факультетов и кафедр почвоведения в университетах и сельскохозяйственных вузах способствовала развитию и утверждению агрономического почвоведения.

После Великой Отечественной войны усилия советских почвоведов были сосредоточены как на дальнейшем развитии теоретических исследований, так и на усилении роли почвоведения в рациональном использовании почв по следующим направлениям:

- разработка учения о корках выветривания и геохимии ландшафта на основе биогеохимических идей В.В. Вернадского;
- развитие школы агрохимии под руководством Д.Н. Прянишникова;
- проведение генетических и почвенно-агрономических исследований на основе изучения органического вещества (И.В. Тюрин, М.М. Кононова, Л.Н. Александрова, Д.С. Орлов и др.), почвенных процессов и режимов (А.А. Роде, И.С. Кауричев, И.Н. Скрынникова, Я.В. Пейве, И.П. Гречин и др.), агрофизических свойств (Н.А. Качинский, Ф.Р. Зайдельман, В.А. Ковда и др.), физико-химических свойств (Н.И. Горбунов, С.Н. Алёшин, Е.В. Гапон, Н.Г. Зырин, А.Ф. Тюлин);
- совершенствование методов картирования, классификации, диагностики и бонитировки почв (И.П. Герасимов, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов, В.М. Фридланд, И.И. Карманов, Г.В. Добровольский и др.);
- развитие учения о почвенно-биоклиматических поясах и областях мира (И.П. Герасимов, Л.И. Прасолов, Е.В. Лобова).

10. Современный период. Характеризуется интенсификацией изучения и охраны почвенного покрова мира под эгидой ООН, ФАО, ЮНЕСКО и др. В почвоведении выделились и развиваются самостоятельные разделы и направления (физика, химия, биология, минералогия, география почв) и интенсивно развивается сельскохозяйственное почвоведение. Создан Международный почвенный музей в Амстердаме с коллекцией эталонов почв мира. В 1978 г. опубликованы последние листы почвенной карты мира в масштабе 1:5000000. Разрабатываются международные проекты в системе ООН: карта деградации почв мира, методы оценки, картирования, опустынивания; классификация почв мира; социально-экономические аспекты потерь почв и ряд проектов оказания помощи развивающимся странам в охране и рациональном использовании почв.

Вопросы для самоконтроля

1. Почвоведение – как наука о почвах. Задачи почвоведения в развитии современного сельскохозяйственного производства Российской Федерации.

2. Понятие о почве и ее плодородии. Значение производственной деятельности человека в повышении плодородия почв.

3. Значение работ В.В. Докучаева, П.А. Костычева, Н.М. Сибирцева в создании генетического почвоведения.

4. Роль русских, советских и российских ученых в создании и развитии почвоведения.

РАЗДЕЛ 1. ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС И ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Глава 1. Общая схема почвообразовательного процесса и формирование почвенного профиля

1.1 Выветривание горных пород и минералов

Горные породы, попадая на дневную поверхность, оказываются в условиях, резко отличающихся от условий, при которых формируются изверженные породы. Поэтому они теряют свою устойчивость и подвергаются процессам преобразования. Сумма процессов преобразования горных пород называется выветриванием. Горизонты горных пород, где протекают процессы выветривания, называются корой выветривания. В ней различают две зоны: зону поверхностного, или современного, выветривания и зону глубинного, или древнего, выветривания. Мощность коры современного выветривания, в которой может протекать почвообразовательный процесс, колеблется от нескольких см до 2–10 м. Процесс выветривания предшествует процессу почвообразования, но часто его нельзя отделить от процесса почвообразования. Процесс выветривания протекает под воздействием различных факторов (агентов): солнечного тепла, кислорода, углекислого газа, осадков, живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. Выделяют три типа выветривания: физическое, химическое и биологическое.

Физическое выветривание представляет собой процесс механического дробления горных пород на обломки различной величины и формы без изменения их первоначального химического и минералогического состава.

Основной фактор физического выветривания – резкие суточные и сезонные перепады температур в наружных слоях горных пород (термическое выветривание). Термическое выветривание перестает проявляться лишь в обломках породы диаметром менее 0,01 мм. Физическое выветривание протекает также под действием воды, которая попадает в трещины породы. В трещинах вода развивает сильное капиллярное давление (до 1500 кг/см²). При замерзании вода также развивает большое давление на стенки трещин (до 890 кг/см²). Определенную роль в физическом выветривании играют соли, кристаллизуясь они увеличиваются на 33 %.

В результате физического выветривания горная порода разрушается на обломки различной величины, называемые рыхляком. В результате физического выветривания горная порода уже способна пропускать воздух и воду. Физическое выветривание, раздробляя и разрыхляя массивные породы, значительно увеличивает общую поверхность, что создает благоприятные условия для проявления химического выветривания.

Химическое выветривание проявляется в разрушении горной породы с изменением химического состава и образованием новых минералов, отсутствующих в первичных породах. Главнейшими агентами химического выветривания являются вода, кислород и углекислый газ. Особенно велика роль воды, которая не только перемещается в рыхляке, но и является энергичным растворителем горных пород и минералов.

Разложение минералов водой усиливается с повышением температуры и насыщением ее углекислым газом; последний придает воде кислую реакцию, что увеличивает ее разрушающее действие.

Вода также вступает в химические реакции с минералами. Основная химическая реакция воды с минералами магматических пород – гидролиз – приводит к замене катионов щелочных и щелочноземельных ионов кристаллической решетки на ионы водорода, диссоциированных молекул воды. Образующаяся щелочь и кислота разрушают минералы дальше.

С деятельностью воды также связана и реакция гидратации – химический процесс присоединения частиц воды к частицам минералов. Гидратация наблюдается в силикатах и алюмосиликатах. Она приводит к разрыхлению поверхности минералов.

Окисление – эта реакция широко распространена в зоне выветривания. Окислению подвергаются все минералы, содержащие закисное железо и другие, способные к окислению, элементы.

В процессе окисления изменяется окраска породы. Она приобретает землистое пористое строение.

В результате химического выветривания изменяется физическое состояние минералов, разрушаются первичные минералы и образуются вторичные. Рухляк еще больше раздробляется. Порода обогащается тонкими илистыми частицами, повышается подвижность многих веществ. Все это постепенно создает условия для поселения в породе живых организмов.

Биологическое выветривание – это механическое разрушение и химическое изменение горных пород под воздействием живых организмов и продуктов их жизнедеятельности.

С поселением организмов на горной породе ее выветривание значительно усиливается. Корни растений и микроорганизмы выделяют во внешнюю среду углекислый газ и различные кислоты, которые оказывают разрушающее действие на минералы. Нитрификаторы образуют азотную кислоту, серобактерии – серную кислоту. Эти кислоты растворяют многие минералы. Диатомовые водоросли, строя свой панцирь из кремнезема, разрушают алюмосиликаты. Животные организмы и растения, кроме того, механически разрыхляют породу (корни могут развивать давление до 60–100 атм.).

При разложении отмерших организмов в почве образуются гумусовые кислоты. Они еще больше усиливают разрушение первичной породы и минералов. Кроме того, микробы и низшие растения обогащают верхние слои горных пород органическим веществом и питательными элементами. Они подготавливают породу для заселения ее высшими растениями и знаменуют собой начало почвообразовательного процесса.

Таким образом, выветривание горных пород представляет собой сложный и разносторонний процесс, происходящий под воздействием химических, физических и биологических факторов. Разные породы и минералы обладают неодинаковой устойчивостью к процессам выветривания. Наиболее устойчивы метаморфические породы, менее устойчивы осадочные. Больше всего подвержены выветриванию вулканические пеплы. Из минералов наиболее устойчив к выветриванию кварц. Поэтому он накапливается в коре выветривания. Менее устой-

чивы к выветриванию минералы, в состав которых входит закисное железо. Промежуточное положение занимают полевые шпаты.

Большое значение в развитии процессов выветривания имеют концентрация и солевой состав растворов, реакция среды, окислительно-восстановительные условия. Процессы выветривания зависят от климата (количество осадков и температура). В условиях засушливого климата растворимые продукты выветривания накапливаются, в условиях влажного климата – выщелачиваются.

В настоящее время различают два основных типа коры выветривания: сиалитную, для нее характерно образование глинистых минералов преимущественно монтмориллонитовой группы и гидрослюд, сохранение наиболее устойчивых первичных минералов (тип характерен для зон с умеренно-влажным климатом); аллитную, для нее характерно господство вторичных минералов группы гидроокисей железа и алюминия, почти полное разрушение первичных минералов, в составе глинистых минералов преобладает каолинит (характерен для условий влажного субтропического климата).

1.2 Общая схема почвообразовательного процесса

В процессе выветривания горные породы разрушаются, дробятся, а составляющие их минералы видоизменяются. Большинство из них приобретают способность растворяться в воде. Растения уже способны извлекать из перешедших в раствор минеральных соединений необходимые для их жизнедеятельности элементы пищи такие, как азот, фосфор, калий, кальций, магний, железо, сера и многие другие.

Однако, перешедшие в раствор вещества из-за их высокой подвижности не могут служить надежным и постоянным источником питания растений. Атмосферными осадками они выносятся из коры выветривания и увлекаются водными потоками в Мировой океан.

Вынос элементов питания с континентальных областей очень сильно развит. На сушу, по данным М.И. Львовича, выпадает 107 тыс. км³ осадков, из этого количества испаряется 70700 км³, а 36300 км³ влаги стекает в моря и океаны. Эта влага в виде речных потоков, по данным Г.В. Лопатина, ежегодно выносит в мировой океан более 17000 млн. т различного материала: грубых наносов, взвешенных частиц и растворимых веществ. Огромная масса взвешенного материала и растворимых веществ откладывается на дне морей и океанов и обуславливает формирование осадочных пород, которые при тектониче-

ских движениях земной коры могут выйти на поверхность и образовывать сушу. Под воздействием выветривания из этих пород будут высвобождаться элементы питания, и они вновь могут быть использованы растениями или вымыты в океан. Такой круговорот веществ, повторяющийся во времени через геологически продолжительное время и совершающийся между сушей и океаном, называется геологическим, или большим круговоротом веществ в природе.

Под геологическим круговоротом веществ следует понимать геологические процессы превращения и перемещения массы горной породы, совершающиеся на протяжении геологических эпох. В геологическом круговороте образуется рыхлая кора выветривания в виде различных по генезису осадочных горных пород. В коре выветривания создаются условия для поселения растительности и развития процесса почвообразования. Общей характерной особенностью геологического круговорота веществ является постепенное обеднение горной породы элементами зольного питания растений вследствие вымывания их в гидросферу.

Под влиянием одного выветривания горная порода, превратившись в рухляк, не может приобрести плодородие и стать почвой. Превращение горной породы в почву происходит в процессе почвообразования. Он осуществляется в результате длительного взаимодействия массы материнской горной породы с живыми организмами, продуктами их жизнедеятельности и элементами гидросферы и атмосферы. В основе процесса почвообразования лежит малый биологический круговорот веществ в природе, развивающийся на фоне геологического круговорота.

Почвообразовательный процесс начинается с того момента, когда на рухляковой породе поселяются живые организмы и происходит процесс накопления органического вещества. Итак, малый биологический круговорот веществ обусловлен жизнедеятельностью живых организмов и, прежде всего, зеленых растений.

Характерными чертами биологического круговорота веществ являются:

1. Извлечение из материнской горной породы элементов питания.
2. Синтез биомассы и аккумуляция элементов питания в виде сложных нерастворимых органических соединений.
3. Возврат в формирующуюся почву этих соединений с ежегодным опадом отмирающей биомассы.

Как следствие биологического круговорота веществ является биологическое накопление органического вещества и аккумуляция в верхних горизонтах породы биологически важных элементов пищи, а также азота, что и обуславливает постепенное развитие плодородия.

В зависимости от физико-географических условий и характера растительности интенсивность биологического круговорота различна.

Таким образом, в основе почвообразовательного процесса лежит биологический круговорот веществ. Чем он интенсивнее, тем меньше из него увлекается элементов пищи в геологический круговорот.

Почвообразовательный процесс относится к категории биофизико-химических процессов. По определению А.А. Роде, почвообразовательным процессом называется совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии, протекающих в почвенной толще.

Агентами почвообразования являются живые организмы и продукты их жизнедеятельности, вода, кислород воздуха и углекислота. Наиболее важные слагаемые почвообразовательного процесса: 1) превращение минералов горной породы, из которой образуется почва; 2) накопление в ней органических остатков и их постепенная трансформация; 3) взаимодействие минеральных и органических веществ и образование сложных органо-минеральных соединений; 4) накопление в верхней части почвы биофильных элементов и, прежде всего, элементов питания; 5) передвижение продуктов почвообразования с током влаги по вертикальной толще формирующейся почвы.

Образующиеся в процессе почвообразования минеральные, органические, органно-минеральные вещества характеризуются различной подвижностью, а потому способны к передвижению с током влаги, что и приводит к дифференциации почвенной толщи на различные генетические горизонты.

Миграция веществ обуславливает формирование горизонтов выщелачивания, они называются элювиальными; продукты почвообразования выпадающие в осадок в твердой фазе почвы, формируют горизонты вмывания, называемые иллювиальными. Таким путем развивается почвенный профиль – вертикальная толща почвы, состоящая из ряда горизонтов, причем верхний из них обогащается органическим веществом и элементами питания.

В результате биологического круговорота веществ, процесса синтеза и разрушения органического вещества почвообразующая порода непрерывно взаимодействует с растениями и животными, с продуктами

разложения органических остатков. Это и составляет сущность почвообразовательного процесса.

Ритмы поступления на поверхность почвы солнечной энергии и биологические циклы развития растений обуславливают цикличность почвообразовательного процесса.

Генезис любой почвы состоит, как минимум, из трех стадий:

1. Начало почвообразовательного процесса, то есть первичный почвообразовательный процесс.
2. Развитие почвы – субстрат материнской породы последовательно приобретает характерные почвенные признаки.
3. Стадия зрелой почвы, на которой преобладают циклические обратимые процессы.

Почвообразовательный процесс начинается с появления жизни на поверхности суши, с воздействия на горную породу простейших организмов. Первыми поселенцами на горных породах были бактерии и водоросли. С их воздействием на горную породу начался первичный почвообразовательный процесс. Отмирая, микроорганизмы обогащали осадочные горные породы органическим веществом и создавали условия для развития других групп организмов. За бактериями и водорослями появились грибы, хвощовые, плауновые, папоротники, мхи и, наконец, покрытосеменные растения.

С появлением высших растений почвообразовательный процесс значительно усиливается. Вместе с растительностью почву заселяют животные организмы, которые также оказывали влияние на почвообразовательный процесс. В результате жизнедеятельности растений и животных происходило накопление гумуса, в котором концентрировались элементы зольной и азотной пищи растений. С накоплением органического вещества в минеральных почвах улучшается водный режим. Он приобретает более устойчивый характер. Так, постепенно из горной породы развивалась почва.

Процесс почвообразования представляет собой комплекс более простых физических, физико-химических, физико-биологических и биологических процессов или явлений. На основе комплекса физико-химических и биологических процессов в почве протекают в различных сочетаниях элементарные процессы почвообразования, слагающие общий процесс образования почв. К ним относятся: **оглинение** – образование вторичных глинистых минералов в процессе минерализации органических остатков в различных гидротермических условиях; **латеритизация**, состоящая в том, что в условиях жаркого климата

происходит быстрый распад первичных и вторичных алюмо- и ферросиликатов на окислы железа, алюминия и кремнезема; **лессиваж**, или **обезиливание**, представляет собой вымывание илистых частиц из верхнего слоя почвы в нижний; **оподзоливание** – глубокое разложение минеральной части почвы под влиянием кислых перегнойных веществ и вынос из верхних горизонтов растворимых и взвешенных веществ; **ожелезнение** – обогащение почвы железом; соединения железа и марганца, осаждаясь в почве, образуют рудяковые горизонты; **заблачивание** – переувлажнение почвы, сопровождаемые сложными восстановительными процессами и оглеением; **оглеение** – возникновение глеевого горизонта почвы в виде вязкой глиноподобной массы, появляющейся в результате восстановления и разложения минеральных веществ в анаэробных условиях при переувлажнении поверхностными или, чаще, застойными грунтовыми водами; **засоление** – прогрессивное накопление легкорастворимых солей в почве, принимающих участие в почвообразовании и в формировании солончаковых почв и солончаков; **осолонцевание** – процесс образования солонцеватых почв и солонцов, происходящий при периодическом промывании почв, содержащих соли натрия, сопровождающийся поглощением обменного натрия с вытеснением из ППК других катионов; **осолодение** – глубокий распад алюмосиликатов и кремнезема солонцеватой почвы в результате активной деятельности диатомовых водорослей в условиях застоя воды и промывания слабоминерализованными щелочными растворами; **гумусообразование** – накопление гумуса в форме различных соединений, образующихся при разложении остатков отмерших растений; **торфообразование** – консервирование и накопление слабо-разложившихся растительных остатков на поверхности почвы.

В результате сочетания многочисленных элементарных процессов создается тот или иной почвенный профиль с генетическими горизонтами, характерными для соответствующего типа почвообразования.

1.3 Образование и эволюция почв

Изложенная выше общая схема почвообразовательного процесса представляет абстрактную модель. Конкретные особенности почвообразования и дальнейшей эволюции и развития почв зависят от характера проявления известных природных, а в современных условиях – и антропогенных факторов, их изменения во времени и пространстве.

Почвообразовательный процесс начался с появления жизни на поверхности суши, с воздействия на горную породу простейших организмов. Первичными организмами, которые могли принять участие в почвообразовании, по-видимому, были бактерии и водоросли. С их воздействием на горную породу начался первичный почвообразовательный процесс.

Отмирающие первичные микроорганизмы обогащали выветривающуюся горную породу органическим веществом и создавали необходимые условия для развития других групп организмов. За бактериями и водорослями появились псилофиты, грибы, хвощовые, плауновые, папоротники, мхи и, наконец, покрытосеменные растения.

С появлением высших растений с мощной корневой системой, проникающей в глубь породы и охватывающей большие ее объемы, почвообразовательный процесс усиливался. Вместе с растительностью почву заселяли животные организмы, которые также оказывали влияние на почвообразовательный процесс.

В результате жизнедеятельности растений и животных происходило накопление органических остатков и гумуса, в которых концентрировались элементы зольной и азотной пищи растений. С накоплением органического вещества в минеральных почвах улучшался водный режим, он приобретал более устойчивый характер. Так постепенно из бесплодной горной породы развивалась почва.

Изучение растительности и географических условий прошлых геологических периодов (этим занимаются палеоботаника и палеогеография) позволяет с той или иной мерой достоверности воссоздать возможный путь развития почвообразовательного процесса. В кембрийский и ордовикский периоды почвообразовательный процесс находился на стадии первичного, так как в то время существовали только низшие растения – бактерии и водоросли. В силурийский, девонский, каменноугольный и пермский периоды с появлением и расселением новой растительности (псилофитов, хвощовых и др.) создались условия для дальнейшего развития и усложнения почвообразовательного процесса.

В меловой и третичный периоды по суше широко распространились хвойные и широколиственные леса, луга и травянистые степи, под покровом которых формировались соответствующие почвы. К этому времени на земном шаре отчетливо обособились климатические пояса, что привело к еще большей дифференциации и разнообразию почвенного покрова.

В четвертичный период в результате материкового оледенения почвообразовательный процесс прерывался на значительной части суши (около 50–60 %). На территории распространения ледников почвенный покров был полностью уничтожен. На прилегающих к ледникам внеледниковых пространствах он был эродирован стекающими ледниковыми водами, а затем перекрыт флювиогляциальными и аллювиальными отложениями. В субтропических и тропических областях, где не было материкового оледенения, почвенный покров в значительной части сохранился от третичного периода. На территории нашей страны почти весь дочетвертичный почвенный покров был уничтожен. После окончания ледниковой эпохи начался современный почвообразовательный процесс.

В современную геологическую эпоху на горной породе, вышедшей на дневную поверхность, последовательность поселения живых организмов не будет такой, какая проходила с начала зарождения жизни на Земле. В зависимости от конкретных физико-географических условий на рыхлой почвообразующей породе могут сразу поселиться высшие травянистые или деревянистые растения в сочетании с микроорганизмами и животными.

Следует отметить, что в высокогорных и пустынных районах (жарких или холодных) и в современную геологическую эпоху можно наблюдать на горных породах, особенно скальных, развитие только пионеров литофильной растительности: микроорганизмов, лишайников и мхов. Высшие растения из-за неблагоприятных условий здесь не развиваются, и почвообразовательный процесс находится на стадии первичного. Там, где слабо проявляется биологическая деятельность, слабо развивается и почвообразовательный процесс и не формируются плодородные почвы.

Итак, почва как естественноисторическое тело претерпевает во времени разнообразные изменения, связанные как с ее естественным развитием в относительно стабильных условиях, так и с изменением факторов почвообразования.

Совокупность всех изменений в почве от начала ее образования (ноль-момент) до сегодняшнего дня называют эволюцией почвы (существует и иное понимание эволюции почвы). При этом предполагают как эволюцию почвы на какой-то ограниченной территории, вплоть до точки, так и эволюцию почвенного покрова на более или менее значительной территории, вплоть до почвенного покрова Земли.

Причина изменения почвы – не соответствие свойств почвы и про-

текающих в ней процессов, связанных с функционированием экосистемы, факторам почвообразования. Это несоответствие вызывает несбалансированность почвенных процессов выноса и аккумуляции вещества в горизонтах почвы, новообразования и разрушения специфических почвенных соединений и т. д., что приводит к изменениям почвы.

В общей эволюции почв выделяют иногда фазу саморазвития (созревания) почвы, при которой почва развивается в условиях относительно стабильного климата, геологических и геоморфологических факторов, в силу несоответствия наземной экосистемы, составной частью которой является почва, данным факторам. Фаза саморазвития соответствует трем стадиям, рассмотренным в общей схеме почвообразовательного процесса.

Теоретически можно представить изменение почвы в процессе ее саморазвития в чистом виде в условиях стабильных климатических, геологических и геоморфологических факторов. Однако реально на любой стадии развития почвы происходят более или менее существенные изменения природных факторов, а также характера антропогенного воздействия на почву, что приводит к изменению направленности почвообразовательного процесса. В данном случае происходит изменение почвы под влиянием внешних условий в отличие от изменений в процессе саморазвития.

Под влиянием внешних факторов плодородие почвы может как увеличиться, в результате чего возрастает продуктивность биоценозов, так и снизиться, вплоть до полного или почти полного его уничтожения. В последнем случае происходит деградация почвы.

При деградации не обязательно должно происходить исчезновение почвы как природного тела, например, в результате чрезмерного развития эрозионных процессов, погребения почвы селевыми отложениями, лавой и т. п. Почва может оставаться на поверхности без видимых нарушений, но перестав функционировать как почва, например, вследствие сильного загрязнения веществами, уничтожающими биоту.

Направленность почвообразовательного процесса может изменяться многократно. Выше этот случай определен как полигенетичность почвы. В связи с полигенетичностью в почвенном профиле иногда обнаруживаются реликтовые признаки, не связанные с современным почвообразовательным процессом, а унаследованные от предшествующих стадий формирования почвы. В любой почве выделяют остаточные признаки, унаследованные от материнской породы,

а также рецентные признаки, возникшие в результате современного почвообразования.

В почвенном покрове ряда районов СССР и зарубежных стран установлены эволюционные изменения в почвах и в почвенном покрове по наличию в почвах реликтовых признаков или даже целых реликтовых горизонтов (гумусонакопления, карбонатных или железистых аккумуляций и т. д.), оставшихся от предыдущих фаз развития. Необходимо иметь в виду, что эволюция природных условий протекает очень медленно, особенно в биоклиматическом цикле развития, поэтому большая часть почвенного покрова бывает уничтожена эрозией и почвы с реликтивными признаками сохраняются только на наиболее древних поверхностях рельефа.

Иногда перестройка почвенных профилей в процессе эволюции почв происходит настолько полно, что реликтовые признаки, связанные с предшествующей фазой развития, полностью стираются и наличие этой фазы можно установить только по косвенным палеоклиматическим, палеоботаническим и палеогеографическим данным.

Плодородие почв может быть связано с теми или иными реликтивными признаками, но в основном определяется современными воздушным, гидротермическим и питательным режимами почвообразования и современными биохимическими особенностями почв как среды для растений.

1.4 Морфологические признаки почв

Морфология почвы – это совокупность ее внешних признаков. Она отражает основные моменты развития почвы и ее свойства. По внешним признакам почвы можно судить о происходящих в ней процессах. К основным морфологическим признакам относят: строение и мощность почвенного профиля, его окраску, структуру, гранулометрический состав, сложение, включения и новообразования.

Строение почвенного профиля – это его внешний облик, обусловленный определенной сменой горизонтов в вертикальном направлении. Генетические горизонты отличаются друг от друга цветом, структурой, сложением. Они имеют различный химический и нередко гранулометрический состав. В них по-разному протекают биологические процессы. В профиле почвы различают несколько горизонтов.

Каждый горизонт имеет свое название и буквенное обозначение. Главными генетическими горизонтами почв являются следующие:

A_0 – лесная подстилка, которая состоит из наземного опада древесной растительности.

A_d – дернина (органо-минеральный горизонт), представлена полуразложившейся травянистой растительностью.

A – гумусово-аккумулятивный горизонт, образуется в верхней части профиля, куда поступает максимальное количество наземных и корневых растительных остатков. В результате накопления гумуса он имеет темный цвет. Мощность его достигает 1,5 м.

A_1 – гумусо-элювиальный горизонт.

$A_{\text{пах}}$ – пахотный горизонт.

A_2 – элювиальный горизонт, имеет белесую окраску.

B – иллювиальный, или переходный, горизонт, формируется под элювиальным или гумусовым горизонтом. Выделяют: B_{Fe} – вымывание железистых соединений, B_K – вымывание карбонатов, B_h – вымывание гумусовых веществ, B_S – вымывание сульфатов, хлоритов, B_i – вымывание илистых частиц.

G – глеевый горизонт, образуется в гидроморфных почвах, имеет сизовато-голубую окраску из-за большого количества закисного железа.

T – органогенный горизонт (торфяной).

C – материнская порода. Субстрат слабо затронут процессом почвообразования.

D – подстилающая порода.

Каждому почвенному типу свойственно свое сочетание горизонтов. Переход одного горизонта в другой в различных почвах может быть различным. Различают резкий переход и постепенный. В последнем случае выделяют переходные горизонты $A_1 A_2$, $A_1 B$ и т.д.

Мощность почвы и отдельных ее горизонтов. Под **мощностью почвы** понимают общую протяженность всех горизонтов до материнской породы. Измеряется она в см. Мощностью отдельного горизонта профиля называют протяженность последнего в см.

Окраска почвы – наиболее доступный, и прежде всего бросающийся в глаза, морфологический признак. Это существенный показатель процессов, происходящих в почве, и принадлежности ее к тому или иному типу. Недаром многие почвы получили название в соответствии со своей окраской – подзол, краснозем, чернозем и т.д.

В окраске почвы ярко отражаются особенности почвообразовательного процесса. Она имеет большое агрономическое значение.

Практики-земледельцы всех континентов с давних времен судили о качестве и плодородии почв по их окраске.

Основными соединениями, обуславливающими цвет отдельных горизонтов, являются: гумусовые вещества, окрашенные в черные и коричневые тона; окисные соединения железа и соединения марганца дают гамму желтых, оранжевых, красных и фиолетовых оттенков; кремнезем, углекислая известь, каолинит, гидрат окиси алюминия и легкорастворимые соли окрашены в белый цвет; закисные соединения железа, имеющие сизоватую и голубоватую окраску, характерную для глеевых горизонтов болотных почв.

Различное сочетание указанных групп веществ определяет большое разнообразие почвенных цветов и оттенков. На окраску почвы влияет ее структурное состояние. Структурные почвы имеют более темную окраску, чем бесструктурные. Большое влияние на окраску оказывает вода. Влажные почвы всегда более темные, чем сухие.

Гранулометрический состав – относительное содержание в почве фракций механических элементов. Выделяют следующие разновидности почв по гранулометрическому составу: песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые.

В зависимости от величины сопротивления, оказываемого сельскохозяйственным орудиям при обработке, почвы по гранулометрическому составу условно подразделяют на легкие и тяжелые. К легким почвам относятся песчаные и супесчаные, к тяжелым почвам относятся суглинистые и глинистые почвы.

Глинистая почва на ощупь однородная тонкая масса. Во влажном состоянии очень вязкая, пластичная, в сухом – очень плотная и прочная. Ее легко скатать в шнур, а из шнура легко можно сделать кольцо.

Суглинок – масса неоднородная, но с преобладанием тонких частиц, слабо пластичная, в сухом состоянии образует непрочные комки. Из такой почвы можно скатать шнур, но кольцо разваливается.

Супесь – преобладают песчинки, малопластичная почва, в сухом состоянии – очень мелкие и непрочные комки. Шнур не скатывается, можно только скатать шарик, поверхность у него будет шероховатой.

Песчаная почва – непластичная, на ощупь песок, почва сыпучая, не склеивается и не лепится.

Гранулометрический состав важен прежде всего с агропроизводственной точки зрения, так как от него зависят многие физические и химические свойства почвы. Он определяет водный, воздушный и пищевой режимы.

Структура – это отдельности, на которые распадается почва. Способность почвы распадаться на отдельности и агрегаты называется структурностью. Различают три основных типа структуры: кубовидная – структурные отдельности равномерно развиты по трем взаимно перпендикулярным осям; призмовидная – отдельности развиты преимущественно по вертикальной оси; плитовидная – отдельности развиты по двум горизонтальным осям.

В зависимости от размера структурные агрегаты подразделяются на макроструктуру (> 10 мм), мезоструктуру (10-0,25 мм) и микроструктуру ($< 0,25$ мм). Различным генетическим горизонтам почв присущи определенные формы структуры.

При оценке почвенной структуры надо различать ее морфологическое понятие от агрономического понятия. В агрономическом смысле ценной является макроструктура по форме комковато-зернистая, если водопрочные агрегаты составляют более 55 %.

Сложение – это внешнее выражение плотности и пористости почвы. По степени плотности выделяют рассыпчатое, рыхлое, плотное и очень плотное (слитое) сложение. Рассыпчатое сложение характерно для песчаных и супесчаных почв. Рыхлое сложение свойственно супесчаным и хорошо оструктуренным суглинистым и глинистым почвам. Рыхлое сложение отмечается также в пахотных горизонтах почв после их обработки. Плотное сложение характерно для переходного горизонта суглинистых и глинистых почв. Очень плотное сложение характерно для иллювиальных горизонтов солонцов, оподзоленных почв.

По характеру пористости различают следующие виды сложения: тонкопористое – поры < 1 мм, пористое – 1–3 мм, губчатое – 3–5 мм, ноздреватое – 5–10 мм, ячеистое – > 10 мм. По характеру трещин в почве выделяют тонко-трещиноватое сложение (трещины уже 3 мм), трещиноватое (3–10 мм), щелеватое сложение (щели шире 10 мм).

Сложение является свойством, которое в значительной степени определяет аэрацию и водопроницаемость почвы, а, следовательно, и ее водный и воздушный режимы.

Новообразования – это скопление веществ различной формы и химического состава, которые образуются и откладываются в горизонтах почвы. В результате физических, химических и биологических процессов, происходящих в почвах, а также вследствие непосредственного воздействия на почву растений и животных различают новообразования химического и биологического происхождения.

Химические новообразования в почве образуются в результате химических процессов, которые приводят к образованию различного рода соединений. Химические образования по форме разделяют на следующие группы: 1) выцветы и налеты – химические вещества выступают на поверхности почвы в виде тонкой пленки; 2) корочки, примазки, потеки, выступая на поверхности почвы, образуют слой небольшой толщины; 3) прожилки, трубочки – вещества занимают ходы червей или корней; 4) конкреции и стяжения – скопления различных веществ более или менее округлой формы; 5) прослойки – вещества накапливаются в больших количествах, пропитывая отдельные слои почвы.

По составу химические новообразования делятся на следующие группы:

1. Скопления легкорастворимых солей, главным образом, NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SO_4 . они чаще встречаются в засоленных почвах.

2. Скопления гипса. Они отмечаются в тех же почвах, что и легкорастворимые соли.

3. Скопления углекислой извести. Ее новообразования встречаются почти во всех почвах, но наиболее типичные образуются в черноземах.

4. Скопления окислов и гидратов окисей железа, марганца и фосфорной кислоты. Эти образования характерны для почв таежно-лесной зоны и влажных субтропиков.

5. Закисные соединения железа. Они образуются в условиях избыточного увлажнения почв и встречаются в болотных почвах.

6. Скопления кремнекислоты в виде кремнеземистой присыпки встречаются в почвах лесостепной зоны. В подзолистом горизонте подзолистых почв кремнекислота пропитывает весь горизонт.

7. Выделения и скопления гумусовых веществ.

Новообразования биологического происхождения могут иметь следующие формы: а) червоточины – ходы червей; б) капролиты; в) кротовины; г) корневины; д) дендриты. По новообразованиям в почве можно судить о ее генезисе и агрономических свойствах.

Включениями называют тела органического или минерального происхождения, находящиеся в почве, образование которых не связано с почвообразовательным процессом: корни и другие части растений, кости животных, раковины моллюсков, валуны и другие обломки горных пород, куски стекла, кирпича, угля и т.д.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое выветривание горных пород и минералов? Охарактеризуйте физическое, химическое и биологическое выветривание горных пород и минералов.
2. В чем состоит сущность процесса почвообразования?
3. Охарактеризуйте большой геологический и малый биологический круговороты веществ в природе, их взаимосвязь.
4. Охарактеризуйте роль геологического и биологического круговоротов веществ в почвообразовании.
5. Как вы представляете схему почвообразовательного процесса?
6. Образование и эволюция почв.
7. Дайте характеристику основным морфологическим признакам почв.

Глава 2. Факторы почвообразования

Под **факторами почвообразования** понимаются внешние по отношению к почве компоненты природной среды, под влиянием и при участии которых образуется почва.

Начало учению о факторах почвообразования положил В.В. Докучаев, обосновав функциональную зависимость почвы от климата, горной породы, организмов, рельефа и времени. При этом он считал все факторы равнозначными и незаменимыми, что и подтвердилось впоследствии. Вместе с тем признание получила теория В.Р. Вильямса о ведущей роли в процессах почвообразования биологического фактора, и прежде всего зеленых растений. Признается также, что на определенных стадиях или в специфических условиях в качестве ведущего может выступить какой-либо другой фактор. А.А. Роде не считал возможным деление факторов на активные и пассивные, как предлагал С.А. Захаров, но считал необходимым дополнить перечень факторов еще двумя – земным тяготением и влиянием грунтовых, почвенных и поверхностных вод.

В настоящее время к пяти докучаевским факторам добавлен шестой – антропогенный, т.е. производственная деятельность человека, которая может существенно изменить направление почвообразовательного процесса.

2.1 Климат

Климат – статистический многолетний режим погоды на той или иной территории, характеризуемый средними и крайними показателями температуры, осадков, влажности воздуха и др. С климатическими условиями связана энергетика почвообразования.

Ведущим фактором «общеземного» климата является солнечная радиация, количество которой сильно различается в зависимости от удаления территории от солнца.

В зависимости от количества тепла формируются термические пояса планеты, различающиеся по сумме активных температур (выше 10°C) за вегетационный период. Термические пояса располагаются в виде широтных поясов и характеризуются не только температурой, но и типами растительности и почв, которые варьируются в значительных пределах в зависимости от увлажнения. Поступление осадков тоже резко возрастает от полюса к экватору. Однако эта закономерность часто нарушается в силу тех или иных географических причин (наличие равнин, гор, близость океана или моря и др.). Для оценки климата как фактора водного режима Г.Н. Высоцкий предложил коэффициент увлажнения (КУ), показывающий отношение суммы осадков (Q, мм) к испаряемости (V, мм) за определенный период: $KU = Q/V$. Эти разработки дополнил Б.Г. Иванов (1948) и теперь данный коэффициент называется коэффициентом увлажнения Высоцкого – Иванова.

По обеспеченности суши водой и особенностям почвообразования территорию земного шара можно разделить следующим образом.

От термических условий зависит направление почвообразовательного процесса. Условия увлажнения определяют водный режим почв, от них зависят окислительно-восстановительные свойства, воздушный режим. Соотношения между теплом и влагой являются определяющими в годичном выходе биологической продукции: если тепла достаточно, то дополнительное увлажнение полезно, при недостатке тепла переувлажнение ведет к снижению ее выхода.

Большое значение имеют градации климата по континентальности, которые обуславливают термический режим нижних горизонтов почв в зависимости от мощности снегового покрова и глубины промерзания почв. Это учтено при выделении в каждом типе почв фациальных подтипов (жарких, холодных, промерзающих, непромерзающих и т.д.).

Кроме общепланетарного климата, определяющего почвенно-биоклиматические пояса и области земной поверхности, важны и местные климатические условия: распределение осадков и температуры по сезонам, высота снежного покрова, относительная влажность воздуха и сила ветра.

Климат – важный фактор, определяющий интенсивность и цикличность биологического круговорота веществ. Он обуславливает многие особенности почв в связи с влиянием на тепловой, воздушный, водный, окислительно-восстановительный и питательный режимы. Климат влияет также на процессы водной и ветровой эрозии.

2.2 Почвообразующие породы

Почвообразующая, или материнская, порода определяет гранулометрический, химический, минералогический состав почв, их химические, физические, физико-механические и другие свойства и режимы, а также формирование почвенного профиля. От нее зависят интенсивность и направленность почвообразования и условия сельскохозяйственного использования почв.

Все горные породы в составе литосферы делятся на три группы: магматические, метаморфические и осадочные.

Главными почвообразующими породами являются рыхлые осадочные. Именно на них почти повсеместно развиваются почвы. К наиболее распространенным относятся континентальные четвертичные отложения: ледниковые, водно-ледниковые, лёссы, лёссовидные суглинки, элювиальные, аллювиальные, делювиальные, пролювиальные, эоловые; менее распространены озерные и морские отложения. Они различаются по характеру сложения, влагоемкости, водопроницаемости, порозности, что определяет водно-воздушный и тепловой режимы почвы.

Почвообразующие породы делятся на одночленные, однородные по составу на глубине промачивания почвы, и многочленные (дву-, трехчленные и т.д.).

Почвообразующие породы часто имеют неоднородное строение, т.е. встречаются два-три, а иногда и более слоев различных пород. Такое их строение отражается на формировании почв. Если подстилающими являются тяжелые водонепроницаемые породы, то почвы приобретают специфический вид (наличие осветленного контактного горизонта) или начинают заболачиваться. При подстилании легкими хорошо водопроницаемыми породами почвы развиваются нормально.

нищаемыми породами создаются условия для свободного оттока вод в глубину и в почвах ощущается недостаток влаги, влияющий на жизнедеятельность растительных организмов и почвообразование.

В процессе почвообразования материнская порода частично теряет свои свойства: изменяется минералогический состав вследствие образования вторичных минералов, происходит вынос карбоната кальция за пределы почвенного профиля, меняется гранулометрический состав в результате оглинивания и гумусообразования, появляются условия для формирования весной в верхнем горизонте верховых вод. В общем, изменения материнских пород могут быть самыми разными в зависимости от сочетания факторов почвообразования.

2.3 Рельеф

Значение рельефа в почвообразовании велико и разнообразно. Уже в первой генетической классификации В.В. Докучаев разделил почвы на нормальные, зональные и интразональные в зависимости от рельефа. Н.М. Сибирцев сформулировал названия почв по взаимосвязи рельефа с конкретными ландшафтными условиями: зональные (почвы водоразделов), интразональные (почвы понижений) и азональные (неполноразвитые почвы). П.С. Коссович, в свою очередь, разделил почвы на две большие группы и назвал нормальные почвы В.В. Докучаева и зональные почвы Н.М. Сибирцева генетически самостоятельными, а интразональные – генетически подчиненными.

Изучая прямую и косвенную роль рельефа в почвообразовании, С.С. Неуструев ввел понятие о почвах автоморфных и гидроморфных в соответствии с их положением в рельефе и перераспределением осадков.

Автоморфные почвы формируются на ровных поверхностях и склонах в условиях свободного стока поверхностных вод, при глубоком залегании грунтовых вод (> 6 м); полугидроморфные – при кратковременном застое поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине 3–6 м (капиллярная кайма может достигать корней растений); гидроморфные – в условиях длительного поверхностного застоя вод или при залегании грунтовых вод ближе 3 м (капиллярная кайма может достигать поверхности почвы).

Различают три группы форм рельефа.

Макрорельеф – крупные формы рельефа (равнины, плато, горные системы), определяющие общий облик обширной территории. Его возникновение обусловлено тектоническими явлениями в земной коре.

Мезорельеф – средние формы рельефа на элементах макрорельефа: долины, лощины, холмы, овраги, балки, склоны разной крутизны. Именно под воздействием элементов мезорельефа формируется местный климат и происходит перераспределение тепла и влаги. Они определяют также структуру почвенного покрова в пределах конкретного ландшафта. Происхождение мезорельефа обусловлено экзогенными геологическими процессами, на которые оказывают влияние медленные поднятия и опускания отдельных участков суши.

Микрорельеф – формы рельефа от нескольких квадратных дециметров до нескольких сотен квадратных метров с колебаниями высот в пределах 1 м (бугорки, западины, блюдца), возникающие из-за просадочных явлений; склоновые формы рельефа. Он определяет пятнистость и комплексность почвенного покрова и характер микрокомбинаций.

Главная роль различных форм рельефа заключается в перераспределении тепла и влаги, что вызывает изменения пищевого, окислительно-восстановительного и других режимов, вследствие чего формируются разные по свойствам почвы. На эти процессы, а также на подверженность почв водной эрозии и формирование их физико-механических свойств большое влияние оказывают крутизна и форма склонов. По крутизне они могут быть очень пологие ($< 1^\circ$), пологие ($1-3^\circ$), покатые ($3-5^\circ$), сильнопокатые ($5-8^\circ$), крутые ($8-20^\circ$), очень крутые ($20-45^\circ$) и обрывистые ($> 45^\circ$), по форме – прямые, выпуклые, вогнутые и ступенчатые.

Закономерность распределения почв по элементам мезо- и микрорельефа подчиняется закону аналогичных топографических рядов почв (С.А. Захаров), сущность которого заключается в том, что распределение почв во всех зонах имеет общий характер: на повышенных элементах рельефа залегают автоморфные, на пониженных – полугидроморфные и гидроморфные, а на склоновых – переходные почвы. Иногда эта закономерность нарушается сменой пород или изменениями других местных условий.

2.4 Биологический фактор почвообразования

Зеленые растения. Зеленым растениям принадлежит ведущая роль в почвообразовании: они извлекают из породы зольные элементы и азот, синтезируют органическое вещество, которое вместе с зольными элементами через опад попадает в почву и на почву.

От количества и качества биомассы, участвующей в биологиче-

ском круговороте веществ, и содержащейся в ней энергии (всего в биомассе суши $n \cdot 10^{19}$ кДж) зависит интенсивность процессов трансформации и минерализации растительных остатков.

По В.Р. Вильямсу, следует различать следующие растительные формации:

- деревянистые (таёжные, широколиственные, влажные субтропические и тропические леса);
- переходные деревянисто-травянистые (ксерофитные леса, включая кустарниковые ценозы и саванны);
- травянистые (суходольные и заболоченные луга, травянистые прерии, степи умеренного пояса, субтропические кустарниковые степи);
- пустынные (суббореальные с летним циклом вегетации, субтропические с зимним циклом вегетации и тропические);
- лишайнико-моховые (тундра, верховые болота).

Всего на суше образуется примерно $3 \cdot 10^{19} - 1 \cdot 10^{13}$ т биомассы, в том числе в лесах $n \cdot 10^{11} - n \cdot 10^{12}$; в травах – $n \cdot 10^{10} - n \cdot 10^{11}$; животными – $n \cdot 10^9$; микроорганизмами – $n \cdot 10^8$ т (В.А. Ковда, 1973).

Роль различных видов растительности существенно отличается. Лесная растительность участвует в почвообразовании, главным образом в виде опада хвои и листьев на поверхности почвы при промывном водном режиме. В хвойном лесу чаще развивается подзолообразовательный процесс, в результате которого формируются низкоплодородные кислые подзолистые почвы с невысоким содержанием зольных элементов и грубого гумуса. С опадом широколиственного леса в биологический круговорот поступает биомасса, содержащая значительно больше зольных элементов и азота, чем в хвойном лесу. К тому же в этом лесу в гумусообразовании участвует травянистая растительность, в результате образуется более мягкий гумус гуматно-фульватного типа. В таких условиях формируются дерново-подзолистые, бурые лесные и серые лесные почвы, обладающие лучшими свойствами, чем подзолистые.

Травянистая растительность на лугах и в степях, в отличие от лесного опада, богата зольными элементами и азотом, корневая система ежегодно отмирающих трав превосходит по массе надземную часть. В результате интенсивно развивается дерновый процесс, сопровождающийся накоплением «мягкого», насыщенного кальцием гумуса гуматного типа. При этом процессы трансформации растительных остатков протекают непосредственно в толще почвы, созда-

вая гумусовые горизонты различной мощности. В результате в степях образуются чернозёмные почвы, самые плодородные из всех почв, а на лугах – луговые, лугово-дерновые и дерновые, также обладающие высоким естественным плодородием.

Для пустынь и полупустынь с эфемерным растительным покровом характерна высокая, но кратковременная биогенность почвообразовательного процесса – образуются бедные гумусом серо-бурые, бурые пустынные почвы и др. Продуцентами органического вещества являются водоросли, которые влияют на накопление азота, состав почвенного воздуха и структуру почв.

Для мохово-лишайниковой растительной формации, наоборот, из-за низкой интенсивности биологического круговорота веществ и высокой влагоемкости мхов характерно превращение растительных остатков в торф.

В общем можно заключить, что каждая растительная формация обладает своими особенностями трансформации и взаимодействия продуктов распада с минеральной частью почвы и что, влияя на направленность почвообразовательных процессов, она сама служит индикатором изменений почвенных условий. Поэтому по смене растительных формаций можно установить границы почвенных ареалов, что широко используется в практике почвенного картографирования.

На пахотных почвах природный почвообразовательный процесс сменяется культурным и последствия его воздействия на почву будут зависеть от интенсивности биологического круговорота в связи с конкретными агротехническими и агромелиоративными мероприятиями (известкование, посев многолетних трав, применение органических и минеральных удобрений, мелиорация и др.).

Микроорганизмы в почвообразовании имеют исключительно важное значение. Им принадлежит главная роль в процессах гумификации и минерализации растительных остатков и гумуса, разрушения и образования минералов. Они оказывают большое влияние на состав почвенного воздуха, регулируя в нем соотношение между O_2 и CO_2 . Выделяя гидролитические и окислительно-восстановительные ферменты (гидролазы, оксиредуктазы, полифенолоксидазы и др.), микроорганизмы катализируют процессы расщепления белков, углеводов, лигнина, липидов, смол, дубильных веществ и других сложных органических соединений до простых, окисляют и восстанавливают органические соединения до простых минеральных солей. При их участии в анаэробных условиях протекают процессы оглеения, тор-

фонакопления, осолодения.

Количество, видовой состав и активность микроорганизмов зависят от гидротермических условий. Для их развития наиболее благоприятны температура 25–35 °С и слабокислая или нейтральная почва при влажности около 60%. Минимальное количество микроорганизмов содержится в северных широтах под хвойными лесами в подзолистых почвах, а максимальное – в чернозёмах и серозёмах под травянистой растительностью; их больше в верхней части почвы около живых корешков и отмерших растительных остатков. Общая масса живых организмов составляет от 3 до 7–10 т/га, или 1–2 т/га сухого вещества (Н.А. Красильников, 1956), причем их численность и масса изменяются в течение года вследствие множества повторяющихся генераций.

Наиболее распространенные среди микроорганизмов – бактерии, количество которых колеблется от 300 до 3000 млн в 1 г почвы. В зависимости от способа питания они делятся на гетеротрофные и автотрофные, по способу дыхания – на аэробные и анаэробные. Гетеротрофные аэробные микроорганизмы окисляют белки, жиры, углеводы и другие соединения до NH_3 , H_2O и CO_2 . Анаэробные вызывают гниение компонентов растительных клеток, брожение углеводов, денитрификацию и десульфификацию, маслянокислое брожение. Процесс аммонификации белков вызывают как анаэробные, так и аэробные гетеротрофы по схеме белки → аминокислоты → NH_3 → органические безазотистые соединения. Автотрофные бактерии осуществляют процессы нитрификации ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$), сульфификации ($\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$), окисления закисного железа в окисное ($\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$). Способностью фиксировать азот атмосферы обладают свободноживущие в почве аэробы и анаэробы и клубеньковые бактерии. Актиномицеты могут разлагать клетчатку, лигнин, гумусовые вещества, углерод которых они используют и благодаря которому они участвуют в образовании гумуса.

Грибы, водоросли, лишайники активно участвуют в первичном почвообразовательном процессе и оказывают глубокое разрушающее действие на первичные и вторичные минералы, слагающие почву и материнскую породу.

В общем, деятельность микроорганизмов в почве чрезвычайно многообразна и проявляется в многостороннем взаимодействии между микроорганизмами и растениями по типу симбиоза, метабиоза, антагонизма и паразитизма. Симбиоз – сожительство двух микроорганизмов разных видов, часто взаимовыгодное для обоих (например,

сожительство грибов и водорослей, в результате которого образуются лишайники; сожительство грибов с растениями, когда на корнях образуется микориза; сожительство клубеньковых бактерий с бобовыми растениями). При метабиозе организмы создают благоприятные условия для взаимного развития. Например, целлюлозоразлагающие бактерии благоприятствуют развитию азотобактера. При антагонизме микроорганизмы угнетают друг друга в результате выделения некоторых токсинов, а при паразитизме микроорганизм одного вида внедряется в клетку другого вида и пожирает ее содержимое.

Наконец, численность и активность почвенных микроорганизмов в значительной степени зависят от агротехники, так как различные виды обработки почвы, мелиорация, удобрения, изменяя питательный режим, водные, воздушные и другие свойства почвы, могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на их деятельность. Поэтому в каждой почве устанавливается определенный микробиологический комплекс, характеризующий количественный и качественный состав микрофлоры.

Почвенные животные. Среди почвенных животных преобладают беспозвоночные, биомасса которых более чем в 1000 раз больше биомассы позвоночных. Особую роль играют дождевые черви, которые пропускают через себя до 600 т мелкозёма в год и возвращают до 80–95% потребленных органических веществ в виде экскрементов, содержащих в 1,5 раза больше фосфора и в 2,5 раза больше калия, чем мелкозём. Установлено, что многие почвы на 50, а иногда на 80% состоят из полуразрушенных агрегатов, созданных червями.

Землеройки в степях многократно обогащают материал гипсом, карбонатами, легкорастворимыми солями; в чернозёмах и каштановых почвах препятствуют выщелачиванию веществ из верхних горизонтов в нижние; в солонцовых почвах способствуют накоплению в поверхностном слое гипса и карбонатов, которые противостоят развитию солонцового процесса; в дерново-подзолистых почвах противодействуют элювиальным процессам. Роющие животные перемешивают почву от поверхности до 6–8 м. Выбросы кротов, сусликов могут покрывать 12–38 % площади, создавая пестроту почвенного покрова (перерытые почвы). В пронизанной ходами почве меняется водопроницаемость, аэрация, в результате чего может развиваться эрозия.

2.5 Возраст почв

Современные почвы – результат длительного почвообразовательного процесса, превращающего исходную горную породу в новое природное тело. Принято различать абсолютный и относительный возраст почв.

Абсолютный возраст – время от начала формирования почвы до настоящего времени. Нулевой возраст имеет поверхность суши, освобожденная от воды, или осушаемые торфяные болота, или земли в дельтах рек. Абсолютный возраст других почв исчисляется тысячами (Северное полушарие – 10 тыс. лет) и миллионами лет (плато Южной Америки, Юго-Восточной Азии – 2–30 млн лет).

Относительный возраст характеризует степень развития почвы, быстроту смены стадий почвообразования, поэтому об относительном возрасте можно судить по степени развитости почвенного профиля. Более мощные и дифференцированные почвы считаются более зрелыми. О зрелости почвы можно судить также по степени обеднения рядом соединений или их аккумуляции по сравнению с почвообразующей породой.

2.6 Производственная деятельность человека

Производственная деятельность человека в настоящее время – мощный фактор воздействия на почву в целях ее окультуривания и повышения плодородия. Необходимость постоянного увеличения урожая требует глубоких знаний почвенных и экологических условий каждого хозяйства, провинции, зоны.

Любой сельскохозяйственный объект представляет собой сложный комплекс экологических условий, угодий и почв, изменчивых в пространстве и времени. Без учета этих особенностей и возникли такие виды деградаций почв, как дегумификация, переуплотнение, загрязнение пестицидами, тяжелыми металлами, углеводородами, вторичная кислотность, эрозия и т.д.

Интенсификация земледелия усложняет управление процессами плодородия почв и продуктивностью агроэкосистемы в целом, что требует от агронома необходимых знаний и опыта при выборе путей, систем и мероприятий, обеспечивающих расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

Вопросы для самоконтроля

1. Климат, как фактор почвообразования. В чем заключается прямое и косвенное влияние климата на почвообразование?
2. Что такое макро-, мезо- и микрорельеф? В чем выражается влияние рельефа на почвообразование и плодородие почв?
3. Каково значение почвообразующих пород в генезисе почв и формировании их плодородия?
4. Какими показателями характеризуется растительность как фактор почвообразования?
5. Какие основные функции осуществляют микроорганизмы и почвенные животные при почвообразовании и формировании почвенного профиля?
6. Раскройте понятие «время, как фактор почвообразования».
7. Роль производственной деятельности человека в развитии почвообразовательного процесса и плодородия почв.

РАЗДЕЛ 2. СОСТАВ, СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ ПОЧВ

Глава 3. Происхождение и состав минеральной части почв

3.1 Классификация почвообразующих пород, их химический и минералогический состав

Почва формируется на продуктах выветривания горных пород. Минеральный субстрат, на котором развивается почва, называется почвообразующей или материнской породой. Без почвообразующих пород возникновение почвы невозможно представить. По своему происхождению все горные породы, из которых слагается литосфера, подразделяются на магматические, метаморфические и осадочные породы.

Магматические породы образовались из силикатных расплавов (магма), застывших в глубине земной коры или на поверхности Земли. По условиям образования различают глубинные (интрузивные), излившиеся (эффузивные) магматические породы.

Магматические породы занимают 95 % объема земной коры, 25 % площади континентов.

Изверженные породы являются первоначальным источником всех осадочных пород, образовавшихся в процессе выветривания. К осадочным породам относятся породы, образовавшиеся на поверхности суши или на дне водоемов за счет продуктов разрушения ранее существовавших пород и остатков организмов.

На платформах мощность осадочных пород колеблется от 0 до 3 км. Занимая большую часть площади суши (75 %), осадочные породы составляют лишь 5 % от объема земной коры. Все осадочные горные породы делятся по происхождению на обломочные, химические и биогенные. По возрасту осадочные породы делятся на древние и молодые.

Древние осадочные породы образовались в дочетвертичный период, они со временем утратили рыхлость, пористость и являются преимущественно плотными породами.

Молодые осадочные породы сформировались в четвертичный период в результате выветривания коренных горных пород, их образование продолжается и сейчас. Молодые осадочные породы обладают благоприятными физическими свойствами. Они являются рыхлыми осадочными породами. Рыхлые осадочные породы служат главными почвообразующими породами. На этих породах практически развиты все типы почв.

Метаморфические породы – вторичные массивнокристаллические породы, образовавшиеся из магматических или осадочных пород в недрах Земли под действием высоких температур и давления. Их значение в почвообразовании невелико.

Итак, основными почвообразующими породами являются рыхлые осадочные породы.

В зависимости от происхождения и состава на территории нашей страны выделяют следующие основные группы почвообразующих пород.

1. Моренные отложения представлены, главным образом, основными (донными) и конечными моренами. По химическому составу подразделяются на карбонатные и бескарбонатные морены. Преобладают бескарбонатные морены. На карбонатных моренах, как правило, формируются дерновые, дерново-подзолистые почвы, на бескарбонатных – подзолистые почвы.

2. Водно-ледниковые отложения формируются водными потоками при таянии льда. При спокойных разливах ледниковых вод образуются покровные суглинки и лессовидные суглинки.

3. Озерно-ледниковые отложения аккумуляровались на дне ледниковых озер. Они характеризуются очередной слоистостью мелкозернистых песков и глин, поэтому их называют ленточными глинами.

4. С деятельностью атмосферных осадков связано возникновение ряда отложений: 1) элювиальные отложения, 2) иллювиальные отложения, 3) делювиальные отложения, 4) пролювиальные отложения.

5. Аллювиальные отложения представлены, главным образом, наносами речных вод, которые накапливаются в долинах и устьях рек.

6. Лесс представляет собой естественно уплотненные отложения тонкой пыли диаметром от 0,05 до 0,01 мм. На лессе и лессовидных отложениях формируются самые плодородные почвы.

7. Эоловые отложения – продукт деятельности ветра. Они представлены эоловыми песками дюн и барханов.

8. Морские отложения образовались вследствие наступления моря на сушу. В качестве почвообразующих пород встречаются на побережье Аральского и Каспийского морей и Северного Ледовитого океана.

Рассмотренные отложения называют четвертичными. Это основные почвообразующие породы на территории Российской Федерации.

В ряде тропических и субтропических стран в качестве почвообразующих пород выступают элювиальные отложения магматических и метаморфических пород третичного периода. За свой цвет они получили название красноцветной коры выветривания. В Российской Федерации такие породы встречаются на Кавказе.

Рыхлые почвообразующие породы неоднородны по химическому и минералогическому составу.

В состав почвообразующих пород и почв входят первичные и вторичные минералы. Первичные минералы входят в состав магматических горных пород, а в рыхлых породах и почвах являются остаточным материалом выветривания исходных пород.

Первичные минералы – кварц, полевые шпаты, слюды, роговые обманки и пироксены содержатся в почве, главным образом, в виде частиц песка (от 0,05 до 1 мм) и пыли (от 0,001 до 0,05 мм) и в незначительном количестве в виде илистых и коллоидных частиц.

Из первичных минералов при их разрушении под влиянием химических процессов и жизнедеятельности различных микроорганизмов в почве образуются вторичные минералы. Они находятся в почве преимущественно в виде илистых и коллоидных частиц и редко в виде пылеватых. По химическому составу минералы подразделяют на кремнекислородные соединения, или силикаты, и алюмокремнекисло-

родные, или алюмосиликаты. Из кремнекислородных соединений наиболее распространен в почвах и породах кварц (SiO_2). Он содержится преимущественно в виде частиц песка и пыли. Почти во всех почвах и рыхлых породах содержание кварца превышает 40-60 %. Кварц очень стойкий и прочный минерал, химически весьма инертен. Второе место занимают алюмокремнекислородные минералы. Это полевые шпаты (до 20 %), обладающие также большой механической прочностью, но менее устойчивые к химическому выветриванию. Роговые обманки, пироксены и слюды легко поддаются выветриванию, поэтому в рыхлых породах и почвах они содержатся в небольших количествах.

Первичные минералы играют определенную роль в почвах и рыхлых породах. От их количества зависят агрофизические свойства почв, они являются резервным источником зольных элементов питания растений, а также образования вторичных минералов.

Полевые шпаты и слюда, постепенно разрушаясь, служат источником калия, кальция, магния, железа и других элементов пищи для растений, кроме того, в их состав входят алюминий, кремний, кислород, водород, фтор и ряд других химических элементов.

Вторичные минералы относятся к группе алюмосиликатов. Вторичные алюмосиликатные минералы состоят, главным образом, из кремния, алюминия, кислорода и водорода, в небольшом количестве в них содержатся кальций, магний, калий и железо.

Среди вторичных минералов различают минералы простых солей, минералы гидроокисей и окисей, глинистые минералы.

1. Минералы простых солей образуются при выветривании первичных минералов. К таким солям относятся CaCO_3 – кальцит, MgCO_3 – магнезит, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – сода, CaSO_4 – гипс, фосфаты, нитраты и др. Эти минералы в условиях сухого климата способны накапливаться в больших количествах. качественный и количественный состав этих минералов в почвах определяет степень ее засоления.
2. Минералы гидроокисей и окисей – это гидроокиси кремния ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), алюминия ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), марганца. Они образуются в аморфной форме при выветривании первичных минералов в виде высокодисперсных гелей. Высокомолекулярные гели этих минералов постепенно деградируют и образуют окиси и гидроокиси кристаллической структуры. Наличие в почве высокодисперсных гелей

этих минералов оказывает существенное влияние на поглощательную способность почвы. В кислой среде они снижают катионную емкость обмена, а в щелочной увеличивают.

К высокодисперсным аморфным соединениям в почве также относятся гумусовые вещества (кислоты) и их соли. Гумусовым веществам и полуторным окислам принадлежит особая роль в структурообразовании. Аморфные полутороокиси, кроме того, поглощают много фосфора, делая его малодоступным для растений.

Глинистые минералы являются вторичными алюмосиликатами. Вторичные глинистые минералы образуются в результате синтеза из простых продуктов выветривания первичных минералов и путем постепенного изменения первичных минералов. Глинистые минералы по некоторым свойствам (строению кристаллической решетки и степени дисперсности) объединяются в следующие группы: минералы группы монтмориллонита, каолинита, гидрослюд.

Глинистым минералам присущи общие свойства: слоистое строение кристаллической решетки, высокая дисперсность, поглощательная способность.

Минералы монтмориллонитовой группы обладают наиболее высокой дисперсностью. Они содержат до 60 % коллоидных частиц и до 80 % частиц менее 0,01 мм, обладают высокой емкостью катионного поглощения (80–120 мг-экв на 100 г почвы). Водно-физические свойства этих минералов малоблагоприятны. Они удерживают большое количество воды недоступной растениям ($MГ = 30 \%$). Они обладают высокой набухаемостью, липкостью и вязкостью. Однако, в сочетании с гумусом они образуют водопропрочную структуру, улучшая тем самым водно-физические свойства почвы.

Минералы каолинитовой группы встречаются в рыхлых породах и почвах в небольших количествах. Каолинитовые глины менее дисперсны, имеют небольшую набухаемость и липкость. Емкость катионного обмена не превышает 20 мг-экв на 100 г почвы.

Гидрослюды образуются из полевых шпатов и слюд. Они широко распространены в почвах. Структура их подобна монтмориллониту. Гидрослюды являются важным источником калия в почве. Например, в иллите калия содержится до 6–7 %.

Глинистые минералы определяют тяжелый гранулометрический состав почв и образуют почвы богатые зольными элементами питания. Минералы группы монтмориллонита являются источником

кальция, магния, P_2O_5 ; каолинита – калия, магния, фосфора; гидрослюд – магния, кальция, калия.

Химический состав почвообразующих пород и почв в определенной степени зависит от химического состава минералов, входящих в породу и почву. Средний химический состав почв и пород можно характеризовать следующими данными. Почти половина твердой фазы (49 %) приходится на кислород, одна треть (33 %) – на кремний, более 10 % – на алюминий и железо и только 8 % на остальные элементы.

Из органогенных элементов в почвах и почвообразующих породах встречаются С, Н, N, P, S, К, Са, Mg. Они являются источником питания растений, и от их содержания зависит плодородие почвы. Кроме того в почвах и породах содержатся токсичные для растений элементы: хлор, натрий, марганец. Повышенное их содержание в породах и почвах делает почву засоленной. В почвах и породах имеются микроэлементы: бор, молибден, цинк, кобальт, йод, играющие важную физиологическую роль. В небольшом количестве в почвах и породах представлены радиоактивные элементы: уран, торий, радий, изотопы калия, кальция, углерода.

От минералогического состава пород и почв в большой степени зависит и гранулометрический состав почвы.

3.2 Гранулометрический состав почвообразующих пород и почв

В почвообразующих породах и почвах могут присутствовать обломки плотных горных пород и минералов диаметром от нескольких см до нескольких микрон или миллимикрон. Частицы различной величины, из которых состоит твердая фаза почв и почвообразующих пород, называются механическими элементами.

По происхождению различают минеральные, органические и органно-минеральные механические элементы. Механические элементы в почве или породе могут находиться или в свободном состоянии, или в форме агрегатов.

Свойства механических элементов изменяются в зависимости от размера. Близкие по размеру и свойствам частицы группируются во фракции. Группировка частиц по размерам во фракции называется классификацией механических элементов. Отдельные фракции по-разному влияют на свойства почвы и пород. Это объясняется различным минералогическим и химическим составом фракций, их различными физическими и физико-химическими свойствами.

Рассмотрим характерные свойства фракций:

1. Камни (> 3 мм) представлены обломками горных пород. Каменность – отрицательное свойство почвы. Наличие камней в почве затрудняет обработку почвы, мешает прорастанию семян и росту растений. Поэтому каменность учитывают и классифицируют в зависимости от количества частиц > 3 мм.

Частицы > 3 мм, %	Степень каменности
$< 0,5$	некаменистая
0,5–5	слабокаменистая
5–10	среднекаменистая
> 10	сильнокаменистая

Средне- и сильнокаменистые почвы нуждаются в мелиоративных работах по удалению камней.

2. Гравий (3–1 мм) состоит из обломков первичных минералов. Почвы, богатые гравием, имеют неблагоприятные водные свойства (провальная водопроницаемость, отсутствие водоподъемной способности, низкая влагоемкость – < 3 %).

3. Песчаная фракция (1–0,05 мм) состоит из обломков первичных минералов, кварца и полевых шпатов. Эта фракция обладает высокой водопроницаемостью, не набухает, не пластична, в отличие от гравия обладает некоторой капиллярностью и влагоемкостью.

4. Пыль крупная и средняя. Фракция крупной пыли по минералогическому составу напоминает песчаную, поэтому обладает некоторыми свойствами песка. Для средней пыли характерно повышенное содержание слюды, придающих фракции повышенную пластичность, связность. Средняя пыль уже лучше удерживает влагу, но обладает слабой водопроницаемостью, не коагулирует, не участвует в структурообразовании и физико-химических процессах.

5. Пыль тонкая характеризуется относительно высокой дисперсностью, состоит из первичных и вторичных минералов, способна к коагуляции и структурообразованию, обладает поглотительной способностью и очень низкой водопроницаемостью, высокой максимальной гигроскопичностью. Обладает высокой способностью к набуханию и усадке.

6. Ил состоит преимущественно из высокодисперсных вторичных минералов. Ил играет громадную роль в создании почвенного плодородия. Эта фракция обладает высокой поглотительной способ-

ностью, содержит много гумуса и элементов зольного питания. Коллоидной части этой фракции принадлежит особо важная роль в структурообразовании.

Таким образом, с уменьшением размера механических элементов значительно изменяются их свойства. Водно-физические свойства механических элементов резко изменяются на рубеже 0,01 мм. Это позволило разделить все фракции на две группы: физический песок ($> 0,01$ мм) и физическую глину ($< 0,01$ мм). Частицы крупнее 1 мм назвали скелетом почвы, а частицы менее 1 мм – мелкоземом.

Фракции механических элементов слагают почвы и почвообразующие породы в различных количественных соотношениях. Относительное содержание в почвах или породах фракций элементов называется гранулометрическим составом.

В основу классификации почв по гранулометрическому составу положено соотношение физического песка и физической глины. Классификацию, в которой учитывается содержание двух групп механических элементов, называют двучленной. Первые классификации почв по гранулометрическому составу были разработаны Н.М. Сибирцевым, К.К. Гедройцем, А.А. Роде. Сейчас широко распространена классификация Н.А. Качинского.

Н.А. Качинский выделил девять разновидностей почв по гранулометрическому составу (песок рыхлый, песок связный, супесь, легкий, средний и тяжелый суглинок, легкая, средняя и тяжелая глина). В классификации Н.А. Качинского основное название почвы по гранулометрическому составу дается исходя из содержания физического песка и физической глины; и дополнительное – с учетом преобладающих фракций: гравелистой (3–1 мм), песчаной (1–0,05 мм), крупнопылевой (0,05–0,01 мм), пылевой (0,01–0,001 мм) и иловатой ($< 0,001$ мм).

Гранулометрический состав почв и почвообразующих пород оказывает большое влияние на почвообразование, сельскохозяйственное использование почв. От гранулометрического состава зависит интенсивность ряда почвообразовательных процессов. Гранулометрический состав оказывает существенное влияние на водно-физические, физико-механические, физико-химические, воздушные, тепловые свойства, на накопление в почве гумуса.

В зависимости от гранулометрического состава почв меняются условия обработки, сроки полевых работ, нормы удобрений, размещение сельскохозяйственных культур.

Прежде всего, гранулометрический состав предопределяет химические свойства почв. Глинистые по составу почвы более богаты элементами зольного питания растений. Гумус лучше закрепляется в тяжелых почвах, особенно при наличии в них карбонатов кальция. От гранулометрического состава зависит емкость катионного обмена. Чем меньше размер частиц, тем больше их удельная поверхность, следовательно, тем выше поглотительная способность.

От гранулометрического состава зависят все физические свойства почвы. Глинистые почвы, если они бесструктурны, сильно уплотнены, маловодопроницаемы, обладают высокой влагоемкостью и плохой водоотдачей, воздушные и тепловые свойства их неблагоприятны. Агрегатирование механических элементов оказывает положительное влияние на физические свойства. Песчаные почвы рыхлые, водопроницаемы, но не удерживают влагу в достаточных количествах. В песчаных почвах плохо закрепляются элементы питания, вносимые с минеральными удобрениями. Органическое вещество в них быстро разлагается, гумус в них закрепляется слабо.

Лучшими почвами в сельскохозяйственном отношении считаются суглинистые почвы.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие типы по происхождению делятся горные породы? Дайте характеристику основных типов горных пород.
2. Что следует понимать под почвообразующей или материнской породой?
3. Перечислите основные виды почвообразующих пород на территории Российской Федерации.
4. Какую роль играют первичные и вторичные минералы в почвах и рыхлых породах?
5. Строение, состав и свойства глинистых минералов.
6. Принципы классификации почв и почвообразующих пород по гранулометрическому составу.
7. Влияние минералогического и гранулометрического составов материнских пород на агрономические свойства почвы.

Глава 4. Происхождение и состав органической части почв

4.1 Источники органического вещества в почве

Органическая часть почвы состоит из органических остатков и гумуса. Источником образования гумуса в почве служат органические остатки растительного, микробного и животного происхождения. Характер поступления этих остатков в почву у разных групп организмов различный. У древесных растений и кустарников основная часть органической массы, ежегодно отмирающей и подвергающейся разложению, представлена наземным опадом из листьев, кусочков коры и т.д., корневая же система у древесных растений многолетняя и практически не участвует в годичном цикле превращения органических остатков. У травянистых растений наоборот хорошо развитая корневая система отмирает ежегодно и дает тем самым большое количество сырья для образования гумуса. Наземная же часть травянистых растений обычно отчуждается человеком, поедается скотом, поэтому доля ее в формировании гумуса невелика.

Остатки зеленых растений при разложении используются микроорганизмами и почвенной фауной и частично превращаются во вторичные формы органических соединений.

Органические остатки микроорганизмов, по данным И.В. Тюрина, составляют около 1/3 остатков биомассы зеленых растений, это примерно составляет 1–2,5 т/га сухого органического вещества, количество остатков животного происхождения еще меньше и колеблется от 0,1 до 0,2 т/га сухого вещества.

Под травянистой растительностью в метровом слое почвы ежегодно остается от 5–6 до 15–20 т/га корней, основная масса которых сосредоточена в верхней 20–30-сантиметровой толще почвы. Количество опада в лесу зависит от возраста, густоты и состава древостоя, условий произрастания деревьев и колеблется обычно от 3 до 7 т/га сухого вещества.

Таким образом, первичным и основным источником органических веществ, из которых образуется гумус, являются остатки зеленых растений в виде наземного опада и корней.

В условиях сельскохозяйственного производства важным источником для образования гумуса служат вносимые в почву органические удобрения и остающиеся в ней корни и пожнивные остатки сельскохозяйственных культур (3–5 т/га). Под многолетними травами в зависимости от урожая в метровом слое почвы накапливается от 6 до 15 т/га органического вещества.

Состав органических остатков сложный. Основную массу органических остатков (75–90 %) составляет вода. В состав сухого вещества входит три группы соединений.

1. Группа безазотистых соединений – углеводы, лигнин, жиры и др. (до 40 %)
2. Группа азотистых соединений представлена белками (в растениях от 0,6 до 14,8 %; в грибах и бактериях от 10 до 50 и от 40 до 80 %).
3. Зольные элементы: Ca, Mg, K, Si, P, S и т.д. (5%)

Соотношение этих групп соединений в разных органических остатках различное. В растительных остатках обычно преобладают безазотистые соединения, в микробной плазме – наоборот азотистые.

Скорость разложения растительных остатков в значительной степени зависит от их химического состава. В древесине и хвое много лигнина, смолы и дубильных веществ, но мало белков. Разложение этих остатков идет медленно. Остатки бобовых трав и микробная плазма, богатые белками, разлагаются быстро.

Органические вещества, поступив в почву, проходят длительный путь биологических и биохимических превращений, приобретая на отдельных стадиях специфические свойства. Эти превращения идут по пути разложения сложных соединений на более простые, вплоть до полной минерализации с образованием CO_2 , H_2O , NH_3 и др. В процессе разложения около 1/3 органических остатков образуют новые устойчивые соединения – гумус.

4.2 Процессы превращения органических остатков в почве и условия образования гумуса

Превращение органических веществ в гумус совершается в почве при участии микроорганизмов, животных, кислорода воздуха и воды.

Остатки зеленых растений, попадающие в почву, разлагаются микроорганизмами и используются ими как источник энергии и питания. В результате сложные соединения исходной органической массы распадаются на более простые, так называемые промежуточные продукты разложения. Белки расщепляются на пептиды и аминокислоты, жиры – на глицерин и жирные кислоты, углеводы – на моносахариды (глюкоза, фруктоза) и органические кислоты (щавелевая, уксусная, янтарная), лигнин – на соединения типа фенолов и хинонов.

В дальнейшем часть промежуточных продуктов разложения полностью минерализуется автотрофными микроорганизмами. Большинство конечных продуктов минерализации в виде газообразных и растворимых в воде соединений снова может усваиваться растениями или вымываться в Мировой океан.

Другая часть промежуточных продуктов разложения используется гетеротрофными микроорганизмами для питания. В результате вновь образуются вторичные органические соединения в виде белков, углеводов, жиров, липидов, лигнина и других веществ. Этот процесс получил название микробного синтеза. После отмирания гетеротрофных организмов их тела вновь подвергаются разложению.

Третья часть промежуточных продуктов разложения вступает в реакции медленного биохимического окисления, поликонденсации и полимеризации, происходящих вне клеток микроорганизмов, но при участии выделяемых ими ферментов. При этом образуются более сложные органические соединения, которые отсутствовали как в первичных органических остатках, так и в продуктах микробного синтеза. Эти соединения называются гумусовыми, а процесс их образования – гумификация.

Агентами гумификации являются кислород воздуха, вода и ферменты микроорганизмов. Устойчивость гумусовых веществ к разложению микроорганизмами и обуславливает возможность их накопления в почве при благоприятных условиях.

Таким образом, превращение органических остатков в гумус является совокупностью процессов разложения исходных органических остатков, синтеза вторичных форм микробной плазмы и их гумификация.

Гумусовые вещества (кислоты) возникают из белков, лигнина, дубильных веществ и других компонентов растительных, микробных и животных остатков.

Существует ряд гипотез образования гумуса. Исследования Тюрина, Александровой показали, что гумификация является сложным био-физико-химическим процессом превращения высокомолекулярных промежуточных продуктов разложения органических остатков в особый класс органических соединений – гумусовые кислоты. Ведущее значение в процессе гумификации имеют реакции медленного биохимического окисления, в результате которых образуется система высокомолекулярных органических кислот.

А.Г. Трусов и М.М. Кононова считают, что гумификация – процесс окисления и конденсации продуктов разложения белков с соединениями типа фенолов и хинонов, которые образуются в результате расщепления лигнина и дубильных веществ.

Суть теории фрагментарного обновления гумуса (А.Д. Фокин) состоит в том, что продукты разложения не формируют целиком новую гумусовую молекулу, а включаются за счет конденсации сначала в периферические фрагменты уже сформированных молекул, а затем после частичной минерализации образуют более устойчивые циклические структуры.

Возникшая система гумусовых кислот вступает во взаимодействие с зольными элементами растительных остатков, а также с минеральной частью почвы, образуя ряд органо-минеральных производных. При этом менее дисперсная часть системы, образующая нерастворимые в воде соли формируется как группа гуминовых кислот, более дисперсная фракция, дающая растворимые соли, образует группу фульвокислот.

В почвах повышенного увлажнения образуется больше фульвокислот из-за интенсивного гидролитического расщепления всей системы гумусовых кислот.

В различных природных условиях характер и скорость гумусообразования неодинаковы и зависят от ряда взаимосвязанных фактов почвообразования. Такими факторами являются водно-воздушный и тепловой режимы почв, состав и характер поступления растительных остатков в почву, видовой состав и жизнедеятельность микроорганизмов, гранулометрический состав и физико-химические свойства почвы.

В зависимости от водно-воздушного режима гумусообразование протекает в аэробных или анаэробных условиях.

При аэробном разложении, когда в почве содержится достаточно влаги (60–80 % от ПВ) и тепла ($t^{\circ} = 25\text{--}30^{\circ}\text{C}$), значительное количество органических остатков полностью минерализуется до CO_2 , H_2O , NH_3 , NO_3 и т.п. В этих условиях гумификация выражена слабо. В почве накапливается много элементов минеральной и азотной пищи для растений, но мало накапливается гумуса (влажные субтропики).

При недостатке влаги в почве накапливается мало растительных остатков, процессы разложения и гумификации замедляются, и гумуса также накапливается мало (зона пустынь и полупустынь).

В условиях избыточного увлажнения, а также при низких температурах гумусообразование замедляется. В условиях избыточного

увлажнения органические остатки разлагаются анаэробными бактериями. В результате этого процесса образуются низкомолекулярные органические кислоты, которые замедляют и угнетают микробиологические процессы. Процесс разложения постепенно затухает, гумификация идет слабо, а органические остатки превращаются в торф (торфяно-болотистые почвы).

Наибольшее накопление гумуса происходит при благоприятном сочетании гидротермического и водно-воздушного режимов и некоторого периодически повторяющегося иссушения. В этих условиях происходят постепенное разложение органических остатков, достаточно энергичная гумификация их и закрепление гумусовых веществ в почве. Такой режим свойственен черноземам.

На интенсивность образования гумуса значительное влияние оказывает химический состав органических остатков и характер их поступления в почву. Органические остатки древесных растений вследствие высокого содержания лигнина, дубильных веществ и смол – весьма неблагоприятная среда для аэробных бактерий. Опад поступает главным образом на поверхность почвы и разлагается при участии грибов в условиях промывного водного режима, что приводит к образованию большого количества органических кислот, нейтрализация которых затруднена из-за отсутствия оснований. Кислая реакция подавляет развитие гумификации, и на поверхности почвы формируется грубый гумус, содержащий много полуразложившихся остатков.

Под многолетними травами основное количество органического вещества накапливается в массе почвы в виде корней. Эти органические остатки богатые белками, углеводами и зольными элементами разлагаются в почве в присутствии значительного количества оснований. В таких условиях образуется мягкий или мулевой гумус богатый гуминовыми кислотами, равномерно пропитывающий минеральную часть почвы.

На гумусообразование большое влияние оказывает также видовой состав почвенных микроорганизмов и интенсивность их жизнедеятельности. С севера на юг численность микроорганизмов увеличивается, их видовой состав становится более разнообразным, жизнедеятельность резко возрастает. Исследования показали, что как слабая, так и высокая биогенность не способствует накоплению гумуса в почве.

Существенное влияние на гумусообразование оказывают гранулометрический состав и физико-химические свойства почвы.

В песчаных и супесчаных почвах создается хорошая аэрация, и они быстро прогреваются. В этих почвах разложение органических остатков идет интенсивно, значительная часть их минерализуется полностью. Образовавшийся гумус плохо закрепляется в почве и быстро минерализуется. В более влагоемких и менее аэрируемых глинистых и суглинистых почвах органические остатки разлагаются медленно, интенсивно идет процесс гумификации, а возникающие гумусовые вещества прочно закрепляются в почве.

На накопление гумуса в почве оказывает влияние химический и минералогический состав материнских пород. Минералогический состав почв определяет наличие элементов зольной пищи. Кислые почвы и породы не благоприятны для жизнедеятельности бактерий. На карбонатных породах даже возникающие фульвокислоты почти полностью нейтрализуются основаниями. Кроме того, наличие Са и Mg способствует закреплению в почве гуминовых кислот и возникновению водопрочной структуры.

4.3 Состав гумуса и содержание его в почве

Гумусом называют сложный динамический комплекс органических соединений, образующихся при разложении и гумификации органических остатков в почве. Содержание гумуса в почве колеблется в широких пределах: от 0,5–1 % до 12–15 %.

В составе гумуса можно выделить две группы входящих в него соединений, различающихся между собой качественными и количественными показателями:

1. негумусовые вещества органических остатков и промежуточных продуктов разложения, на их долю приходится 10–15 % массы гумуса;
2. гумусовые вещества, они составляют 85–90 % массы гумуса.

Гумусовые вещества представляют собой систему высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений циклического строения и кислой природы.

На основании исследований Тюрина, Кононовой, Пономаревой, Александровой различают две группы гумусовых веществ: гуминовые кислоты и фульвокислоты.

Ряд исследователей выделяют еще гумины – это, во-первых, комплекс гуминовых кислот и фульвокислот прочно связанных с ми-

неральной частью почвы (глино-гумусовый гумин), во-вторых, частично разложившиеся растительные остатки, утратившие анатомическое строение и обладающие устойчивыми к минерализации компонентами, прежде всего лигнином (детритный гумин).

Гуминовые кислоты представляют собой темноокрашенные высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты циклического строения, в воде не растворимы. Они растворяются только в растворах щелочей.

В состав гуминовых кислот входят углерод (52–62 %), кислород (31–39 %), азот (2–6 %), водород (2,5–6,6 %) и некоторое количество зольных элементов (P, S, Fe, Al).

Молекулярная масса гуминовых кислот колеблется от 3000 до 100000.

Кислая природа этих соединений обусловлена наличием карбоксильных (COOH–) и фенолгидроксильных (–ОН) функциональных групп, водород которых может замещаться катионами оснований. Величина рН гуминовых кислот составляет 3 ед.

В почве основная масса гуминовых кислот находится в виде гелей и незначительная часть в виде коллоидных растворов. Гуминовые кислоты обладают высокой поглотительной способностью, которая может достигать 250–700 мг-экв. на 100 г вещества.

При взаимодействии с катионами минеральной части гуминовые кислоты образуют соли, которые называются гуматами.

Гуматы одновалентных катионов хорошо растворяются в воде и могут выщелачиваться осадками. Гуматы двух- и трехвалентных катионов в воде нерастворимы. В почве они накапливаются в виде нерастворимых коллоидных осадков, которые склеивают механические элементы в водопрочные структурные агрегаты.

Растворы гуминовых кислот и гуматов передвигаются в электрическом поле, причем при всех значениях рН молекулы несут отрицательный заряд.

Вероятный процент ароматических гетероциклических группировок в молекуле составляет 50–65 %, алифатических – 25–40 %, функциональных групп – 10–25 %.

Фульвокислоты представляют собой светлоокрашенные высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты. В их состав входят углерод (40–52 %), кислород (40–48 %), водород (4–6 %), азот (2–6 %).

Фульвокислоты хорошо растворяются в растворах кислот, щелочей и в воде. С катионами ряда металлов они образуют соли, назы-

ваемые фульватами. Фульваты одно- и двухвалентных катионов растворимы в воде, фульваты алюминия и железа могут образовывать растворимые и нерастворимые соли. Ввиду хорошей растворимости в воде фульвокислоты и их соли практически не закрепляются в почве и вымываются в нижние горизонты.

Растворы фульвокислот в воде сильноокислые (рН 2,6–2,8), благодаря этому они энергично разрушают минеральную часть почвы. Разрушительное действие фульвокислот на минералы зависит от количества гуминовых кислот в почвах, чем меньше гуминовых кислот тем сильнее действие фульвокислот.

Кислая природа фульвокислот обусловлена наличием карбоксильных и фенолгидроксильных групп. Емкость поглощения этих кислот равняется 800–1000 мг-экв. на 100 г препарата.

В отличие от гуминовых кислот в фульвокислотах ароматическая часть молекулы выражена менее ярко. Преобладающее значение имеют алифатические компоненты.

Молекулярная масса фульвокислот колеблется от 200–300 до 30000–50000.

Следовательно, две основные группы гумусовых веществ, близкие по элементарному составу, при определенных условиях могут оказать неодинаковое влияние на плодородие почв.

При выявлении агрономической ценности гумуса разделяют все органические соединения почвы на две большие группы: группу консервативных устойчивых веществ и группу лабильных соединений. Первая группа объединяет те вещества, которые характеризуют типовые признаки почв в течение длительного времени и сохраняющиеся в вековых циклах. Это, прежде всего, гуминовые кислоты, гуматы, гумин и другие органно-минеральные соединения. С их содержанием, составом и свойствами связаны окраска почв, емкость поглощения, тепловой режим, водно-физические свойства, реакция, буферность, потенциальные запасы элементов питания. Консервативный гумус в малой степени участвует в питании растений, но создает для них благоприятную среду.

Лабильный гумус непосредственно участвует в питании растений, формирует водопрочную структуру, служит энергетическим материалом для микроорганизмов. Н.Ф. Ганжара относит к лабильным формам органические вещества растительного, микробного и животного происхождения, промежуточные продукты распада. Лабильные формы органических веществ разлагаются очень быстро (от нескольких дней до нескольких лет), стабильный гумус – десятками и сотнями

ми лет. Дефицит лабильных форм органического вещества в почвах определяет состояние выпаханности, т.е. резкое ухудшение питательного режима и структуры. Поэтому задача земледельца заключается в поддержании в почве ЛОВ.

Разнообразие условий почвообразования в различных зонах нашей страны отчетливо отражается в количестве, качестве гумуса и его распределении по почвенному профилю. Наибольшее содержание гумуса в верхнем горизонте (8–10 %) и медленное его снижение по профилю отличается в мощном типичном черноземе (1,5–2 м). Чем дальше на юг или север расположены почвы, тем меньше они содержат гумуса и тем меньше мощность гумусового горизонта.

Почвы пустынных степей – сероземы – содержат ничтожное количество гумуса – 1–2%, а мощность гумусового горизонта у них равна 30–40 см. В такырах – типичных почвах глинистых пустынь – гумус содержится в верхнем корковом микрогоризонте в количестве 0,5–1 %. В дерново-подзолистых и подзолистых почвах, расположенных к северу от черноземов, содержание гумуса и мощность гумусового горизонта также резко уменьшается. Верхние горизонты дерново-подзолистых почв содержат от 1 до 5 % гумуса. Гумус в этих почвах носит фульватный характер.

Таким образом, количество гумуса в почвах изменяется в широких пределах и по общему содержанию органического вещества все почвы условно делятся: на безгумусовые – < 1 %; очень низкогумусовые – 1–2 %; низкогумусовые – 2–4 %; среднегумусовые – 4–6 %; высокогумусовые – 6–10 %; очень высокогумусовые тучные – 10–15 %; перегнойные – 15–30 %; торфяные – 30 % (Н.И. Лактионов, 2000).

Почвы отличаются друг от друга не только по содержанию гумуса, но и по мощности гумусовых горизонтов и запасам гумуса в них, так в типичном черноземе мощность гумусового горизонта достигает до 150–200 см, а валовые запасы гумуса – до 700 т/га; в подзолистой почве мощность гумусового горизонта составляет 5 см, валовые запасы – до 30 т/га. В серой лесной почве мощность гумусового горизонта равняется 20–55 см, валовые запасы – 100–300 т/га. В каштановых почвах мощность гумусового горизонта – 25–50 см валовые запасы – 80–200 см.

М.М. Кононова показала, что и природа гумуса различных типов почв глубоко различна. Основываясь на содержании гумуса в верхнем горизонте и на отношении углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот ($C_{ГК} : C_{ФК}$), М.М. Кононова различает три типа гумуса.

Первый тип фульватный ($C_{ГК} : C_{ФК} = 0,5-0,8$). Для него характерна высокая подвижность гумусовых кислот. Агрессивность и мобильность гумуса первого типа способствует развитию подзолообразования и ферралитизации. Такой тип гумуса характерен для подзолистых и дерново-подзолистых почв.

Второй тип гумуса – гумус черноземов, черноземно-луговых и темно-каштановых почв – носит гуматный характер (отношение $C_{ГК} : C_{ФК} = 1,5-2,5$).

Третий тип гумуса (гумус бурых пустынных почв, сероземов) подобно первому типу имеет фульватный характер ($C_{ГК} : C_{ФК} = 0,5-0,7$). Образование гумуса сопровождается почти полной нейтрализацией гумусовых кислот, прежде всего, кальцием и магнием. Агрессивность и мобильность гумуса вследствие этого резко снижена.

Гумус серых лесных почв занимает положение между гумусом первого и второго типов ($C_{ГК} : C_{ФК} = 1$), гумус светло-каштановых почв – между гумусом второго и третьего типов ($C_{ГК} : C_{ФК} = 1$).

По отношению углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот Л.А. Гришина и Д.С. Орлов различают четыре типа гумуса:

1. Фульватный $C_{ГК} : C_{ФК} < 0,5$ (подзолистые почвы);
2. Гуматно-фульватный – $0,5-1,0$ (дерново-подзолистые, светло-серые лесные почвы);
3. Фульватно-гуматный – $1,0-1,5$ (серые, темно-серые лесные, каштановые почвы);
4. Гуматный $> 1,5$ (черноземы).

4.4 Роль гумуса в почвообразовании, плодородии и питании растений

С появлением гумуса в горной породе она становится почвой, приобретая специфическое свойство почв – плодородие.

Роль гумуса в почвенном плодородии велика и многогранна.

1. Гумусовые вещества содержат в ядре и боковых цепях азот и ряд зольных элементов, имеющих важное питательное значение для растений. При разложении гумуса эти элементы освобождаются и делаются доступными растениям. Таким образом, гумус является запасным фондом питательных веществ.
2. Гумусовые вещества, благодаря наличию функциональных групп, обладают большой поглотительной способностью по

отношению к катионам. При этом гуминовые кислоты, образуя с кальцием, магнием и некоторыми окислами неподвижные устойчивые соединения, предохраняют их от вымывания.

3. Гуминовые кислоты, благодаря своим клеящим свойствам, способствуют образованию водопрочной структуры и связанных с ней благоприятных физических свойств почвы.

Улучшая структурное состояние почвы гумус тем самым создает благоприятный водно-воздушный режим. От содержания гумуса зависит не только содержание азота в почве, но и содержание P_2O_5 . При разложении гумуса выделяется много CO_2 , который используется в процессе фотосинтеза.

Гумус играет большую роль в почвообразовании. Гумусовые вещества активно участвуют в биологическом выветривании горных пород.

Огромная роль принадлежит гумусу в формировании почвенного профиля. В тех почвах, где образуется много гуминовых кислот, формируется хорошо выраженный гумусовый горизонт.

Если в гумусе много фульвокислот, эти почвы легко обедняются основаниями, реакция почвы становится кислой.

Органические вещества непосредственно стимулируют рост растений. Малая доза гуминовых кислот активизирует развитие корневых систем, скорость прорастания семян и поступление питательных веществ в растения.

Гумус является источником органического питания для гетеротрофных микроорганизмов, оказывает влияние на биологическую и биохимическую активность почв, является источником CO_2 в приземном слое воздуха, тем самым влияет на продуктивность фотосинтеза. Гумус выполняет большие санитарно-защитные функции: 1) ускоряет микробиологическую деградацию пестицидов, является катализатором при разложении пестицидов; 2) закрепляет загрязняющие вещества в почвах, снижая тем самым поступление их в растения; 3) усиливает миграционную способность токсикантов.

Из сказанного видно, что наиболее ценной частью почвенного гумуса являются гуминовые кислоты. Почвы, богатые гумусом и гуминовыми кислотами в составе гумуса, обладают и более высоким потенциальным плодородием. Отсюда следует, что в практике сельскохозяйственного производства забота о сохранении гумуса, повышении его содержания и улучшении качественного состава должна быть одной из первоочередных задач.

В естественных условиях образование и разложение гумуса уравновешены. Деятельность человека может сдвинуть в ту или иную сторону равновесие между процессами образования гумуса и его разложения. Обработка почвы, выращивание культурных растений, удобрение накладывают отпечаток на состояние почвенного гумуса. Обработка почвы влечет за собой ускоренное разложение органического вещества. При распашке целинных почв в первые годы происходит снижение процента гумуса в верхнем слое.

Влияние обработки на содержание гумуса в почве можно проследить по данным опытов ТСХА. На делянках с бессменным паром количество гумуса на дерново-подзолистых почвах за 43 года снизилось почти вдвое с 2,06 до 1,05 %. При этом наиболее резкое снижение было отмечено в первые годы парования.

Возделывание культурных растений оказывает положительное влияние на содержание гумуса в почве. Наибольшее количество гумуса накапливается под многолетними травами, меньше – под однолетними зерновыми культурами и еще меньше – под пропашными.

Важным фактором накопления гумуса во всех почвах является применение органических удобрений. Исследования Кононовой показали, что в углерод гумуса превращается до 1/3 углерода навоза. Одна тонна навоза дает 60 кг гумуса.

Применение навоза, а также и других видов органических удобрений, является важнейшим фактором окультуривания почв.

Одновременно с увеличением содержания гумуса при окультуривании почв происходит изменение его состава: относительное увеличение содержания в гумусе гуминовых кислот и уменьшение фульвокислот.

Рациональное земледелие должно опираться на агротехнику и систему севооборотов, которые обеспечивают сохранение гумуса в почве и, по возможности, обеспечивающие постепенное прогрессивное возрастание его содержания в почве.

Проблема сохранения и накопления ценных гумусовых веществ в почве решается не только за счет внесения органических удобрений и травосеяния, но и за счет химических мелиораций почв. Снижение кислотности почв путем известкования будет способствовать подавлению процессов синтеза фульвокислот.

В известкованных почвах активизируется деятельность бактерий. Нередко кроме известки в почву следует вносить соединения магния, бора, меди, которые повышают эффект известкования и биохимическую активность почв.

Деятельность почвенных микроорганизмов и окисление органических веществ в большой степени зависит от влажности почвы, степени ее аэрации, реакции среды, а также от термического режима.

Подбирая удобрения, меняя характер и сроки обработки почвы, увлажняя и подсушивая почву, разрыхляя или прикатывая ее, можно управлять процессами гумусообразования и добиваться накопления ценных органических соединений в почве.

Вопросы для самоконтроля

1. Источники органических веществ в почве. Состав и количество органических остатков.
2. Влияние количества, характера поступления в почву и состава органических остатков на образование гумуса.
3. Превращение растительных остатков в почве.
4. Влияние условий почвообразования на характер и скорость гумусообразования.
5. Современные представления о процессе образования гумусовых веществ в почве. Пути регулирования количества и состава гумуса в почве.
6. Состав гумуса и особенности гумусообразования в различных почвах.
7. Гуминовые кислоты и фульвокислоты (элементарный состав, строение и свойства), их роль в процессах почвообразования.
8. Роль гумуса в генезисе и плодородии почв.

Глава 5. Поглощительная способность и физико-химические свойства почвы

5.1 Виды поглощительной способности почв

Способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора, а также коллоидно-распыленные частички минерального и органического вещества, живые микроорганизмы и грубые суспензии и удерживать их называется поглощительной способностью почв. Это свойство почвы в науке известно давно. Начало систематического изучения поглощительной способности почв относится к середине позапрошлого столетия. В 1850–1854 гг. были опубликованы результаты исследований английского ученого Джеймса Уэя,

который установил, что почвой поглощается не вся соль, а только ее основание, причем из почвы в раствор переходит такое же количество других оснований. Д. Уэй установил, что явление обмена совершается моментально и не зависит от температуры.

На дальнейшую разработку учения о поглотительной способности большое влияние оказала коллоидная химия. Многие понятия и закономерности ее были с успехом использованы при изучении почвенных коллоидов и поглотительной способности.

Наиболее выдающуюся роль в изучении поглотительной способности почв сыграл К.К. Гедройц.

Изучение поглотительной способности почв К.К. Гедройц тесно увязывал с разработкой теоретических и практических вопросов применения удобрений, питания растений, химической мелиорации почв и т.д.

К.К. Гедройц различал пять видов поглотительной способности: биологическую, механическую, физическую, химическую, физико-химическую или обменную.

Биологическая поглотительная способность связана с наличием в почве живых корней растений и микроорганизмов, которые избирательно поглощают из почвенного раствора азот и зольные элементы и переводят их в различные органические соединения своих тел. Вследствие этого питательные вещества предохраняются от выщелачивания из почвы. В результате биологической деятельности в почве накапливается органическое вещество, азот и зольные элементы.

Большинство микроорганизмов потребляют для питания и построения своих тел те же элементы, что и высшие растения.

Используя в качестве пищи и энергетического материала органические вещества, микроорганизмы разлагают их, переводят содержащиеся в них элементы питания в минеральную, доступную для растений форму. В то же время они сами потребляют некоторое количество питательных веществ (N, P, S и др.) для построения своих тел, переводят их в органическую форму и в этом смысле являются конкурентами растений.

В плазме живых тел микроорганизмов связано значительное количество азота, фосфора, калия. По подсчетам Мишустина, в окультуренных дерново-подзолистых почвах в микробной плазме содержится на 1 га 125 кг N, 40 кг P₂O₅ и 25 кг K₂O. При внесении в почву удобрений некоторая часть содержащихся в них питательных веществ также потребляются почвенными микроорганизмами. Считается, что биологическое поглощение азота и других элементов питания явление вре-

менное, так как после отмирания микроорганизмов их плазма быстро минерализуется, содержащиеся в ней элементы питания освобождаются в минеральной форме и могут использоваться растениями.

Однако если в почве находится достаточное количество легкодоступных органических веществ, служащих источником энергии для микроорганизмов, то происходит усиленное их размножение – часть поглощенного микроорганизмами азота передается из поколения в поколение и длительное время не освобождается в минеральной форме. Кроме того, при разложении и гумификации микробного белка часть связанного в нем азота включается в состав вновь образованных гумусовых веществ и на длительный срок становится недоступной для растений. Если процесс биологического поглощения питательных веществ микроорганизмами выражен слишком сильно, то это может неблагоприятно отразиться на питании культурных растений. Интенсивность биологического поглощения зависит от влажности, аэрации и других свойств почвы, а также от количества и состава органических веществ, служащих энергетическим материалом для микроорганизмов. Таким образом, в зависимости от конкретных условий биологическое поглощение питательных веществ микроорганизмами может иметь положительное значение или же играть отрицательную роль в питании культурных растений.

Механическая поглотительная способность – это свойство почвы задерживать из раствора взмученные частицы твердого вещества. При фильтрации суспензии через почву частицы взвесей задерживаются в тонких и извилистых порах почвы.

Механическое поглощение зависит от гранулометрического состава почв и от их сложения. Песчаные почвы, обладающие рыхлым сложением и крупной пористостью, слабее поглощают частицы взвесей, чем глинистые. Одна и та же почва разной степени уплотнения по-разному поглощает взвеси. Уплотненная почва поглощает сильнее, чем рыхлая.

Механическое поглощение – важное свойство почвы. Потоки весенних талых вод обычно несут большое количество взмученных почвенных частиц; но фильтруясь через почвы, они очищаются, и мелкозем, задержанный почвой, предохраняется от выноса в реки и моря. Вносимые в почву тонко размолотые удобрения (например, фосфоритная мука) не вымываются из её верхнего слоя вследствие механического поглощения.

Физическая поглотительная способность – это положительная или отрицательная адсорбция частицами почвы целых молекул различных веществ. Физическое поглощение главным образом зависит от суммарной поверхности твердых частиц почвы. Общая поверхность резко увеличивается с уменьшением их размера.

Естественно, что наличие значительных количеств высокодисперсных частиц резко повышает поверхность твердой фазы почвы и усиливает её адсорбционную активность. Энергетическим фактором, обуславливающим, явление адсорбции, служит свободная энергия молекул и ионов, находящихся на поверхности твердой фазы почвы. Поверхностная энергия измеряется произведением поверхностного натяжения, которое возникает на границе твердой и жидкой фаз, на величину общей поверхности всех твердых частиц почвы. Поверхностное натяжение величина не большая, поэтому размер частиц играет в данном случае основную роль. Легкие по гранулометрическому составу почвы имеют крупные механические элементы, а, следовательно, и меньшую удельную поверхность и поверхностную энергию, по сравнению с глинистыми почвами.

Почва стремится уменьшить величину свободной поверхностной энергии.

Уменьшение величины свободной поверхностной энергии происходит в основном за счет уменьшения поверхностного натяжения (ПН).

Благодаря свободной поверхностной энергии почва способна адсорбировать газы, жидкости, твердые вещества.

Поглощение паров и газов может осуществляться только сухими почвами. Активность поглощения газов почвой зависит от их способности приобретать электрический заряд (дипольный момент). Чем она больше, тем активнее поглощается газ. Наибольшим дипольным моментом обладают пары воды и аммиака, значительно меньшим – углекислота и очень малым – кислород, азот и водород. Вследствие этого пары воды и аммиака всегда активно сорбируются почвой.

Поглощение жидкости или смачивание почвы всегда сопровождается вытеснением газов и выделением тепла (теплота смачивания). Количество сорбированной воды определяется химическим и минералогическим составом почвы.

Кроме воды и газов на поверхности частиц могут сорбироваться растворимые в ней соли и органические вещества.

Если молекулы растворимого вещества притягиваются частицами почвы сильнее, чем молекулы воды, то у самой поверхности частиц, в пленке окружающего его раствора, создается повышенная концентрация этого вещества, а на некотором расстоянии от поверхности частиц концентрация будет ниже. В том случае отмечается положительная сорбция, т.е. положительное физическое поглощение. Положительно поглощаются (сорбироваться), могут вещества, понижающие поверхностное натяжение. Так поглощаются молекулы многих органических соединений, а именно спирты, органические кислоты и пестициды, высокомолекулярные органические вещества. Из минеральных соединений почва положительно поглощает только щелочи. Для растворимых минеральных солей и неорганических кислот характерна, наоборот, отрицательная молекулярная сорбция.

При взаимодействии раствора минеральных солей с частицами к их поверхности сильнее притягиваются молекулы воды, поэтому в растворе, непосредственно прилегающем к поверхности почвенных частиц, концентрация солей будет ниже, чем в окружающем растворе.

Отрицательное физическое поглощение наблюдается при взаимодействии почвы с раствором хлоридов и нитратов.

Отрицательное физическое поглощение хлоридов и нитратов обуславливает их высокую подвижность в почве. Данное явление учитывается при внесении удобрений.

Химическая поглотительная способность – это закрепление в почве ионов почвенного раствора в виде труднорастворимых соединений.

Химическое поглощение анионов и катионов в почве зависит от их способности образовывать нерастворимые или труднорастворимые соли при их взаимодействии.

Если в состав соли входят одновалентные анионы и катионы, то данная соль легко растворяется в воде. При замене в составе соли одновалентного катиона или одновалентного аниона на двухвалентный растворимость в воде соли снижается. При наличии в соли двух- и более валентных катионов и анионов, соли в воде не растворяются и выпадают в осадок.

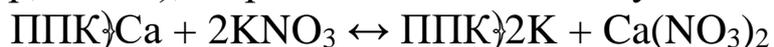
Физико-химическая или обменная поглотительная способность – это способность мелкодисперсных коллоидных частиц почвы, как минеральных, так и органических, несущих отрицательный заряд, поглощать различные катионы из раствора. При этом поглощение одних катионов сопровождается вытеснением в раствор эквивалентного количества других, ранее поглощенных твердой фазой почвы.

Обменному поглощению подвержены как катионы, так и анионы. Но в силу того, что в почвах преобладают отрицательно заряженные коллоиды, имеющие в диффузном слое мицеллы катионы, катионный обмен в почвах имеет наибольшее проявление.

При этом виде поглощения концентрация почвенного раствора не изменяется, а меняется только его состав, в то время как при химическом поглощении изменяются и состав, и общая концентрация почвенного раствора.

Основные закономерности обмена.

1. Обмен катионов происходит строго эквивалентно. Эквивалентность обмена катионами означает, что ионы почвенного раствора обмениваются с ионами диффузного слоя коллоидной частицы в строгом соотношении: грамм-эквивалент одного на грамм-эквивалент другого. Если, например, к почве, содержащей в коллоидной части в поглощенном состоянии катион кальция, прилит раствор нейтральной соли (например, KNO_3), то реакция пойдет следующим образом:



Калий из раствора поглотится почвой, а в растворе в эквивалентном количестве появится кальций.

Эквивалентность обмена катионов имеет большое значение. Она позволяет точно рассчитывать дозы мелиорирующих веществ.

2. Реакция обмена обратима и протекает в почве с большой скоростью.

3. Разные катионы обладают неодинаковой энергией к обменному поглощению. Энергия обмена зависит от валентности катионов. Чем выше валентность, тем выше энергия обмена, тем активнее катион обменивается с почвой и прочнее ею удерживается. В соответствии с этим имеется следующий ряд поглощения:



(NH_4^+ – исключение: имея меньшую массу, он занимает третье место после натрия).

В ряду катионов однозначной валентности активность их возрастает с увеличением атомной массы и уменьшением степени гидратации иона.

Исключение представляет водород; как одновалентный катион, он по своей активности приближается к трехвалентным ионам. Его активность объясняется тем, что он способен связываться только с одной молекулой воды и вступает в реакции обмена как гидроксоний

(H_3O^+). Вследствие чего, он оказывается практически негидратированным и имеет очень малый размер.

Катионы с большой активностью быстрее поглощаются почвой и прочнее удерживаются ею.

4. Реакция обмена подчиняется закону действующих масс. Если в растворе имеются различные катионы, но одной валентности, то при установившемся равновесии по завершении реакции обмена отношение поглощенных катионов в почве будет пропорциональным отношению между ними в растворе.

В случае разновалентных катионов в почвенном растворе характер поглощения будет зависеть от концентрации раствора. При увеличении концентрации раствора относительно больше поглощается одновалентных катионов, а при уменьшении концентрации раствора активнее поглощаются двухвалентные катионы. Следовательно, если почва просыхает и теряет влагу, то концентрация раствора в ней повышается, а это повышает поглощение одновалентных катионов. При химической мелиорации солонцовых почв это обстоятельство необходимо учитывать и всеми возможными средствами поддерживать в почве высокую влажность, тем самым активизируя поглощения почвой двухвалентного катиона кальция.

На ход обменных реакций и характер поглощения существенное влияние оказывают и индивидуальные свойства коллоидов.

В обменном поглощении катионов принимают участие главным образом высокодисперсные частицы почвы, как минеральные, так и органические.

Всю совокупность высокодисперсных почвенных частиц, обладающих обменной поглотительной способностью, К.К. Гедройц назвал ППК.

Физико-химическое поглощение катионов играет существенную роль в почвенных процессах, определяет важные физические свойства, физико-химические свойства почвы, ее структурное состояние, реакцию, буферность, имеет большое значение при взаимодействии с удобрениями.

Поглощение катионов почвой может сопровождаться их закреплением и переходом в необменное состояние. Необменно поглощаются почвой могут все катионы, но наиболее сильно способность к закреплению в необменной форме характерна для катионов K^+ и NH_4^+ .

Необменное поглощение – явление неблагоприятное, так как калий и аммоний исключаются из раствора и становятся малодоступными для растений.

Необменная реакция обусловлена проникновением катионов в межпакетные пространства кристаллической решетки глинистых минералов. При последующем ее сокращении они оказываются замкнутыми.

5.2 Емкость катионного обмена и состав поглощенных катионов разных почв

Общее количество способных к обмену поглощенных катионов в почве называется емкостью катионного обмена. Ее выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы.

Величина емкости катионного обмена характеризует обменную поглотительную способность почв.

Емкость катионного обмена зависит от гранулометрического состава почвы, общего содержания в ней мелкодисперсной фракции и ее состава. Почвы тяжелого гранулометрического состава с высоким содержанием мелкодисперсных частиц имеют более высокую емкость катионного обмена, чем легкие песчаные и супесчаные почвы.

Емкость катионного обмена зависит и от минералогического состава мелкодисперсной фракции почв. Чем больше в минеральной части почвы минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем выше емкость катионного обмена. При большом количестве в составе мелкодисперсной фракции минералов типа каолинита и аморфных гидроокисей железа и алюминия она значительно меньше.

Величина емкости катионного обмена зависит от содержания в почве гумуса. Гумусовые вещества обладают гораздо более высокой поглотительной способностью, чем глинистые минералы. Следовательно, чем выше содержание гумуса в почве, тем больше емкость катионного обмена. У более богатых гумусом черноземов она значительно выше по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Верхние горизонты, содержащие больше гумуса, обладают большей емкостью поглощения.

В богатых гумусом черноземах емкость катионного обмена в большей степени обусловлена минеральной и органической частью, тогда как в дерново-подзолистых – минеральной.

Емкость катионного обмена зависит также от реакции почвы и соотношения в ней отрицательно заряженных коллоидов к амфотерным коллоидам (амфолитоидам).

Органические и большинство минеральных почвенных коллоидов, обладающих отрицательным зарядом, проявляют его сильнее в условиях нейтральной и щелочной реакции. Поэтому чем ниже концентрация H^+ -ионов в растворе, тем выше емкость катионного обмена.

Если почва богата амфолитоидами, которые в кислой среде имеют положительный заряд, то они будут вступать в соединения с отрицательно заряженными коллоидами и частично снижать их отрицательный заряд, тем самым снижать емкость поглощения. Следовательно, чем уже соотношение ацидоидов к амфолитоидам и выше кислотность почвенного раствора, тем ниже емкость катионного обмена.

Емкость катионного обмена катионов у разных почв различная. Наиболее высокую емкость катионного обмена имеют богатые гумусом мощные черноземы. В почвах, расположенных к северу и к югу от типичного чернозема, количество гумуса и емкость катионного обмена уменьшается. Высокая емкость катионного обмена черноземов обусловлена повышенным содержанием в них органических и минеральных коллоидных частиц, преобладанием среди минеральных коллоидов глинистых минералов монтмориллонитовой группы, а также нейтральной реакцией среды. Наименьшая емкость катионного обмена отмечена у супесчаных и песчаных подзолистых почв. Объясняется она очень малым содержанием гумуса и мелкодисперсных частиц.

Различные почвы отличаются не только емкостью катионного обмена, но и по составу поглощенных катионов. Все почвы содержат в поглощенном состоянии Ca и Mg . В черноземах лесостепи на долю этих катионов приходится до 90 % емкости катионного обмена, а ионов водорода и алюминия содержится небольшое количество. В обыкновенных, южных черноземах и каштановых почвах среди поглощенных катионов преобладают Ca и Mg , катионов Na содержится немного и отсутствует водород. В солонцах и солончаках наряду с Ca и Mg присутствует много Na . В подзолистых и дерново-подзолистых почвах среди поглощенных катионов большое место занимают H^+ и Al^{3+} (до 50 %).

В зависимости от состава обменных катионов К.К. Гедройц разделил все почвы на две группы: почвы, насыщенные основаниями, в составе обменных катионов которых присутствуют Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ , и почвы, ненасыщенные основаниями, содержащие наряду с Ca^{2+} и Mg^{2+} катионы H^+ и Al^{3+} .

Состав обменных катионов оказывает большое влияние на свойства почвы и условия произрастания растений. Как показали исследования К.К. Гедройца, состав обменных катионов влияет на реакцию и тип коагуляции коллоидов почвы, на ее физические свойства и структурообразование. У почв насыщенных Са и Mg реакция нейтральная, коллоиды находятся в состоянии необратимых гелей и не подвергаются пептизации при избытке влаги, почвы хорошо оструктурены и обладают благоприятными физическими свойствами (черноземы, дерновые почвы). Почвы, содержащие в составе катионов наряду с Ca^{2+} и Mg^{2+} значительное количество Na^+ характеризуются щелочной реакцией. Коллоиды в этих почвах легко пептизируются, так как находятся в состоянии обратимых гелей, почвы плохо оструктурены и имеют неблагоприятные водно-физические свойства (солонцы, солонцеватые почвы).

Почвы, ненасыщенные основаниями, в составе обменных катионов которых кроме Ca^{2+} и Mg^{2+} присутствуют H^+ и Al^{3+} , имеют кислую реакцию, в них легко разрушаются коллоиды в результате кислотного гидролиза, они плохо оструктурены (подзолы).

5.3 Реакция почвы, виды почвенной кислотности и щелочности

Характерным свойством почвы является ее реакция. Реакция почвы оказывает большое влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов, на скорость и направленность происходящих в ней химических и биохимических процессов.

Усвоение растениями питательных веществ, минерализация органических веществ, разложение почвенных минералов и растворение труднорастворимых соединений, коагуляция и пептизация коллоидов и другие физико-химические процессы в сильной степени зависят от реакции почвы.

Реакция почвенного раствора зависит от соотношения в нем ионов водорода (H^+) и гидроксила (OH^-). Концентрацию ионов водорода в растворе принято выражать символом рН, который обозначает отрицательный логарифм концентрации ионов водорода. В зависимости от концентрации ионов водорода и величины рН реакция почвенного раствора подразделяется следующим образом:

Сильнокислая рН – < 4,5

Кислая рН – 4,6–5,0

Слабокислая рН – 5,1–5,5
Близкая к нейтральной рН – 5,6–6,0
Нейтральная рН – 6,1–7,1
Слабощелочная рН – 7,2–7,5
Щелочная рН – 7,6–8,5
Сильнощелочная рН – > 8,5

В природных условиях реакция почвенного раствора колеблется от рН 3–3,5 (в сфагновых торфах) до рН 9–10 (в солонцовых почвах), но чаще всего она не выходит за пределы рН 4–8. Щелочную реакцию раствора имеют почвы сухих степей, полупустынь и пустынь – южные черноземы и каштановые почвы (рН 7,5), сероземы (рН до 8,5) и солонцы (рН до 9 и более). Нейтральная (рН 6,5–7,0) реакция раствора у обыкновенного и типичного чернозема. Оподзоленные черноземы и серые лесные почвы имеют слабокислую реакцию (рН 5,1–5,5), а дерново-подзолистые, подзолистые и торфяные почвы – кислую или сильнокислую (рН 4–5 и ниже).

Многие сельскохозяйственные культуры и почвенные микроорганизмы отрицательно относятся к повышенной кислотности и щелочности. В связи с этим важное значение имеет выяснение природы почвенной кислотности и щелочности и разработка способов их устранения.

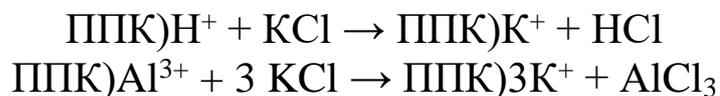
Различают следующие виды почвенной кислотности: актуальную кислотность и потенциальную кислотность, которая подразделяется на обменную и гидrolитическую.

Щелочность почв в свою очередь делится на актуальную и потенциальную.

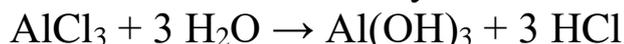
Актуальная кислотность – это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в ней ионов H^+ по сравнению с ионами OH^- .

Актуальная кислотность почвенного раствора зависит от наличия в ней свободных кислот, кислых солей и степени их диссоциации. В почвенном растворе свободные минеральные кислоты встречаются редко. В целинных, болотных и подзолистых почвах с высоким содержанием в почвенном растворе органических кислот (фульвокислота) роль их в создании концентрации ионов водорода возрастает. В большинстве почв актуальная кислотность обусловлена угольной кислотой и ее кислыми солями. Величину кислотности почвенного раствора выражают в мг-экв., и определяется она титрованием водной вытяжки из почвы, или выражается через величину pH_{H_2O} .

Потенциальная кислотность характерна для твердой фазы. Потенциальная кислотность обуславливается наличием в твердой фазе почвы обменно-поглощенных ионов H^+ и Al^{3+} . При взаимодействии почвы с растворами солей эти катионы вытесняются в раствор и подкисляют его.

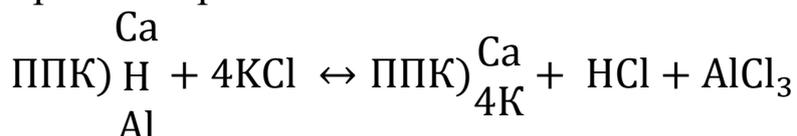


Хлористый алюминий является гидролитически кислой солью и в водном растворе расщепляется на кислоту и основание.



В зависимости от характера вытеснения различают две формы потенциальной кислотности – обменную и гидролитическую.

Обменная кислотность обуславливается наличием ионов водорода в твердой фазе почвы, которые вытесняются при обработке последней раствором нейтральной соли.



Обменная кислотность наиболее ярко выражена в подзолистых и красноземных почвах (pH 3–4).

При обработке почвы раствором нейтральной соли вытесняются не все поглощенные ионы водорода, то есть в этом случае не выявляется вся потенциальная кислотность. Более полно ионы водорода из ППК можно вытеснить, действуя на почву нормальным раствором гидролитически щелочной соли, например, уксуснокислым натрием (CH_3COONa).



При обработке почвы раствором такой соли вследствие щелочной реакции среды происходит более полное вытеснение поглощенного водорода.

Количество уксусной кислоты, определяемое титрованием, характеризует величину гидролитической кислотности.

Гидролитическая кислотность обычно больше обменной. Она может рассматриваться как суммарная кислотность почвы, состоящая из потенциальной и актуальной. Величина гидролитической кислотности измеряется в мг-экв. на 100 г почвы.

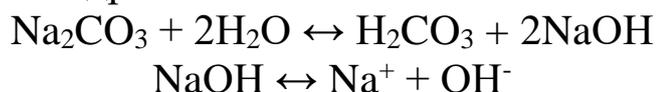
Доля участия в ППК поглощенных водорода и алюминия определяет степень насыщенности почв основаниями.

Степень насыщенности почв основаниями – это количество поглощенных оснований (S), выраженное в процентах от емкости катионного обмена (E).

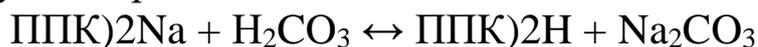
$$V = S : E \cdot 100$$

Щелочность почв подразделяется на актуальную и потенциальную щелочность.

Актуальная щелочность обуславливается наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и др.), которые при диссоциации определяют преобладающую концентрацию гидроксильных ионов.



Потенциальная щелочность обнаруживается в почвах, содержащих поглощенный натрий. При взаимодействии такой почвы с угольной кислотой, которая всегда имеется в почвенном растворе, происходит следующая реакция:



В результате в почвенном растворе накапливается сода и происходит подщелачивание раствора.

Щелочность почвенного раствора выражается в мг-экв. Щелочность, как и кислотность, также является неблагоприятным свойством почвы.

5.4 Буферность почв

Буферностью называется способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора под воздействием кислотных и щелочных агентов. Она определяется: по отношению к кислотам – титрованием растворами кислот; по отношению к щелочам – растворами едких щелочей; по отношению к соде – растворами соды.

Буферность почвы зависит от количества и состава высокодисперсных частиц (ила и коллоидов). Она увеличивается с утяжелением гранулометрического состава, с увеличением содержания гумуса, высокоемкостных минералов, ёмкости поглощения.

Почвы, ненасыщенные основаниями, имеющие в состав ППК обменные катионы водорода и алюминия (подзолистые, красноземы), обладают повышенной буферностью к подщелачиванию и пониженной к подкислению. Почвы, насыщенные основаниями (чернозёмы, каштановые, солонцы), обладают повышенной буферностью к под-

кислению и пониженной к подщелачиванию.

Буферность почв определяется также наличием в почвах простых солей (карбонаты, гипс, сульфаты и др.), которые могут взаимодействовать с растворами и ослаблять сдвиг реакций. Буферность почв имеет большое агроэкологическое значение, она определяет устойчивость почв к агрогенным и техногенным воздействиям.

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие о поглотительной способности почвы.
2. Биологическая поглотительная способность почвы. Ее значение в плодородии и применении удобрений.
3. Механическая поглотительная способность. Ее значение в плодородии и применении удобрений.
4. Физическая поглотительная способность. Ее значение в плодородии и применении удобрений.
5. Химическая поглотительная способность. Ее значение в плодородии и применении удобрений.
6. Физико-химическая или обменная поглотительная способность почвы, ее закономерности.
7. Физико-химическая поглотительная способность и ее значение в плодородии, применении удобрений и мелиорации почв.
8. Обменные катионы и влияние их на агрономические свойства почв.
9. Охарактеризуйте состав обменных катионов в различных почвах. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями.
10. Понятие о емкости катионного обмена. Охарактеризуйте влияние состава и свойств на емкость катионного обмена.
11. Мероприятия по регулированию состава обменных катионов.
12. Реакция почвы и мероприятия по ее регулированию.
13. Кислая реакция почвы, ее происхождение. Виды кислотности. Мероприятия по регулированию кислой реакции почв.
14. Щелочность почвы, ее происхождение и виды. Мероприятия по регулированию щелочной реакции почвы.
15. Буферность почвы.

Глава 6. Почвенный раствор и окислительно-восстановительные процессы в почвах

6.1 Почвенные растворы

Почвенный раствор представляет собой жидкую фазу почв, которая формируется путем взаимодействия атмосферных осадков, поверхностного стока и грунтовых вод (при неглубоком залегании последних) с твёрдой, газообразной и живой фазами.

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

Для выделения почвенных растворов используют различные методы:

- отпрессовывание, вытеснение жидкостями или газами, центрифугирование;
- улавливание почвенных растворов специальными приёмниками разных конструкций (лизиметрический метод);
- метод водных вытяжек (наиболее часто применяемое соотношение почва – вода 1:5);
- стационарный метод изучения почвенных растворов в естественном состоянии с помощью специальных приборов (наиболее часто применяются ионометрические методы с использованием специальных электродов для измерения рН, Eh, концентрации целого ряда катионов и анионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3^- и др.).

Каждый из этих методов обладает определёнными преимуществами и недостатками, которые обсуждаются в специальной литературе.

По данным К.К. Гедройца, коллоиды составляют от 1/4 до 1/10 общего количества веществ почвенного раствора. В почвенных растворах преобладают катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , всегда присутствуют K^+ , NH_4^+ , H^+ , в почвах с кислой реакцией среды – Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} . Из анионов преобладают CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} ; присутствуют NO_3^- , NO_2^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} . Железо, алюминий содержатся, в основном, в виде устойчивых комплексов с органическими веществами. Минерализа-

ция 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.

Содержание органических веществ в почвенных растворах измеряется десятками и сотнями мг/л, повышенные концентрации их наблюдаются в подзолистых и болотных почвах таёжно-лесной зоны. Органические вещества представлены в основном фульвокислотами и простыми органическими кислотами. Наиболее высокие концентрации органических веществ характерны для верхних горизонтов – лесной подстилки и гумусовых.

Реакция среды почвенных растворов (актуальная кислотность и щелочность) изменяется от кислой и слабокислой в подзолистых почвах северной и средней тайги, нейтральной в зоне чернозёмных почв до слабощелочной и местами щелочной в почвах аридных областей. Это связано с закономерными изменениями водного режима в почвах зонального ряда. При избытке влаги в почвах таёжно-лесной зоны основания и, прежде всего, щелочные металлы вымываются за пределы почвенного профиля, при непромывном водном режиме, в чернозёмах в пределах почвенного профиля всегда присутствуют карбонаты кальция и магния, а в почвах аридных областей – водорастворимые соли и обменный натрий ППК обуславливают щелочную реакцию почвенного раствора. Наиболее высокая щелочная реакция обусловлена содовым засолением, в меньшей степени хлоридным и затем сульфатным.

С концентрацией и степенью диссоциации водорастворимых солей тесно связано осмотическое давление почвенного раствора. Оно наиболее высокое у засоленных почв. Если осмотическое давление равно или выше осмотического давления клеточного сока растений, то прекращается поступление воды в растения, и они погибают. Это является основной причиной бесплодия засоленных почв. Существует выраженная динамика концентрации почвенных растворов (годовая, сезонная, суточная), связанная с изменением влажности и температуры.

Агроэкологические функции почвенных растворов заключаются в следующем.

1. Почвенные растворы играют ключевую роль в процессах почвообразования. Именно они являются центром взаимодействия

твёрдой, жидкой и газообразной фаз. Г.Н. Высоцкий сравнивал роль почвенных растворов с ролью крови в живых организмах.

2. Осуществляют вертикальные и латеральные транспортные потоки веществ и играют главную роль в элювиально-иллювиальных процессах.

3. Являются источником всех элементов питания. Недостаток или избыток тех или иных элементов приводит к снижению урожая и заболеваниям культурных растений. Существует ряд методов диагностики питания на основе анализа почвенного раствора, особенно для тепличных культур.

4. Создают условия для роста и развития растений: реакцию среды, осмотическое давление, окислительно-восстановительные условия и др.

6.2 Окислительно-восстановительные процессы в почвах

Окислительно-восстановительные реакции протекают во всех почвах и являются одними из ведущих в процессах почвообразования. Большой вклад в изучение окислительно-восстановительных процессов почв внесли С.П. Ярков, И.П. Сердобольский, И.С. Кауричев, Д.С. Орлов, В.И. Савич и др. Реакции окисления всегда сопровождаются реакциями восстановления и протекают сопряженно. Окисление рассматривается как присоединение кислорода к веществу, или потеря веществом водорода, или отдача электрона. Реакции восстановления – как противоположные явления потере кислорода, присоединение водорода или электрона. Способность почвы вступать в окислительно-восстановительные реакции измеряется окислительно-восстановительным потенциалом. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – разность потенциалов, возникающая между почвенным раствором и электродом из инертного металла (платины). Измеряется ОВП при помощи потенциометра. ОВП по отношению к водороду обозначается символом E_h , измеряется в милливольтках.

Окисленные и восстановленные формы соединений образуют окислительно-восстановительные системы, представленные набором пар элементов с переменной валентностью: $Fe^{3+} - Fe^{2+}$; $Mn^{4+} - Mn^{3+} - Mn^{2+}$; $NO_3^- - NO_2^-$; $SO_4^{2-} - H_2S$; $H_2 - 2H^+$ и др., а также органическими системами. Преобладающие в количественном отношении окисленные и восстановленные формы носят название потенциалопределяю-

щей системы. От неё в основном зависит величина Eh.

Основным окислителем в почве является молекулярный кислород почвенного воздуха и почвенного раствора. Основными восстановителями – продукты анаэробного распада органического вещества и жизнедеятельности микроорганизмов. Микроорганизмы в процессе жизнедеятельности поглощают кислород почвенного воздуха и содержащийся в составе органических веществ и переводят минеральные соединения железа, марганца и др. в восстановленные формы. Поэтому большая часть окислительно-восстановительных реакций в почвах имеет биохимическую природу. Главными условиями, определяющими интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов в почвах, является состояние увлажнения и аэрации почв, содержание кислорода в почвенном растворе, содержание легкоразлагаемого вещества и температура почвы.

Величина Eh в подзолистых и дерново-подзолистых почвах нормального увлажнения составляет 450–600 мВ, в серых лесных, чернозёмах и каштановых почвах – 500–650. Наиболее низкие значения Eh (ниже 200 мВ) характерны для болотных почв. Снижение Eh ниже 350–450 мВ свидетельствует о начале смены окислительных условий на восстановительные, а до значения 200 мВ и ниже – об интенсивном развитии восстановительных процессов с типичными признаками глеевого процесса.

Величина Eh зависит от pH раствора. Как правило, в кислой среде окисление идёт при более высоких значениях Eh по сравнению со щелочными условиями. Для получения сравнимых данных в средах с различной величиной pH У.М. Кларк предложил использовать показатель водородного потенциала rH_2 .

$$rH_2 = \frac{Eh}{29} + 2pH$$

При rH_2 выше 27 преобладают окислительные процессы, при 22–25 – восстановительные и при rH_2 ниже 20 происходят интенсивные восстановительные процессы.

Для характеристики окислительно-восстановительных условий введены понятия окислительно-восстановительной ёмкости (максимальное количество окислителя (восстановителя), которое может быть связано почвой) и окислительно-восстановительной буферности (способность почв противостоять изменению ОВП). Более высокой окислительно-восстановительной ёмкостью и буферностью обладают чернозёмные почвы (по сравнению с дерново-подзолистыми).

Окислительно-восстановительный режим почв – это соотношение окислительно-восстановительных процессов в почвенном профиле в годичном цикле. И.С. Кауричев и Д.С. Орлов предложили выделять следующие типы окислительно-восстановительного режима:

- почвы с абсолютным господством окислительных процессов – автоморфные почвы семигумидных – экстрааридных областей (чернозёмы, каштановые и др.);
- почвы с преобладанием окислительных процессов – автоморфные почвы гумидных и экстрагумидных областей (подзолистые, краснозёмы и др.);
- почвы с контрастным окислительно-восстановительным режимом – полугидроморфные (глееватые и глеевые) почвы различных областей;
- почвы с устойчивым восстановительным режимом – болотные (гидроморфные).

Агроэкологическое значение окислительно-восстановительных условий определяется большой ролью их в процессах почвообразования и в плодородии почв. В условиях восстановительной обстановки в почвах протекает глеевый процесс, при этом увеличивается подвижность многих соединений, в том числе железа, марганца, фосфора; почвы приобретают сизую (восстановленное железо) окраску с ржавыми (охристыми) пятнами (окисленное железо) по трещинам и ходам корней. Почва теряет структуру, подвижные соединения железа и марганца достигают токсичных концентраций. В почвах, обогащённых органическим веществом, усиливаются процессы денитрификации и происходит образование сероводорода. В условиях промывного водного режима с восстановительной обстановкой проявляется элювиально-глеевый процесс.

Господство резкоокислительной обстановки с Eh порядка 700 мВ приводит к снижению подвижности и недоступности растениям железа, марганца и, частично, азота. Оптимальные значения Eh для большинства культур находятся в области 400–600 мВ.

Регулирование окислительно-восстановительных условий производится путём оптимизации водного и воздушного режимов мелиоративными и агротехническими мероприятиями.

Вопросы для самоконтроля

1. Почвенный раствор и его роль в жизни растений.

2. Состав, концентрация и реакция почвенного раствора. Оптимальный состав почвенного раствора для роста и развития сельскохозяйственных культур.

3. Приведите примеры взаимодействия почвенного раствора с твердой и газообразной фазами почв.

4. Приемы регулирования состава почвенного раствора в производственных условиях.

5. Что такое окислительно-восстановительный потенциал?

6. Значение окислительно-восстановительных процессов в почвообразовании и генезисе почв.

Глава 7. Структура, физические и физико-механические свойства почвы

7.1 Понятие о структуре почвы и ее агрономическое значение

Совокупность агрегатов различной величины, формы, порозности, механической прочности и водопрочности называют почвенной структурой.

Способность почвы распадаться при обработке на комочки, или агрегаты, различной величины и формы называется структурностью.

Форма, размер и качественный состав структурных агрегатов в разных почвах, а также в одной почве, но в разных ее генетических горизонтах неодинаковы. По форме различают три основных типа структуры: 1. кубовидная – структурные отдельности равномерно развиты по трем взаимно перпендикулярным осям; 2. призмовидная – отдельности развиты по вертикальной оси; 3. плитовидная – отдельности развиты по двум горизонтальным осям.

В свою очередь кубовидная структура делится на: 1. глыбистую – отдельности неправильной формы и имеют неровную поверхность; 2. комковатую – агрегаты неправильной округлой формы, грани не выражены; 3. ореховатую – агрегаты более или менее правильной формы, грани хорошо выражены, поверхность ровная, ребра острые; 4. зернистую – агрегаты более или менее правильной формы, иногда округлой, с выраженными гранями.

Призмовидная структура делится на: 1. столбовидную – отдельности слабо оформлены, с неровными гранями и округлыми ребрами; 2. столбчатую – агрегаты правильной формы с довольно хорошо выраженными гладкими боковыми и вертикальными гранями, с округ-

лым верхним основанием и плоским нижним; 3. призматическую – грани хорошо выражены, с ровной глянцевой поверхностью и острыми ребрами.

Плитовидная структура делится на: 1. плитчатую – агрегаты с более или менее развитыми горизонтальными плоскостями спайности; 2. чешуйчатую – отдельные по форме напоминают чешую рыбы; 3. листоватую; 4. пластинчатую.

В зависимости от размера структурные агрегаты подразделяют на следующие группы: 1) макроагрегаты – >10 мм; 2) мезоагрегаты – $10-0,25$ мм; 3) микроагрегаты – $<0,01$ мм.

В любом из почвенных горизонтов структурные отдельные не бывают одного размера и формы. Чаще всего структура в них смешанная: комковато-зернистая (А), комковато-пылеватая (А_п), комковато-пластинчато-пылеватая (А₁, А₂) и т.д.

Различные генетические горизонты имеют определенные формы структуры. Так, комковато-зернистая структура характерна горизонту А, пластинчато-листоватая – А₂, ореховатая – В.

Следует различать понятие о структуре почвы как характерном морфологическом ее признаке от понятия структуры почвы в агрономическом смысле. Как морфологический признак определенного типа почв, любая структура может быть признана характерной и хорошо выраженной, будь то структура зернисто-комковатая, характерная для гумусово-аккумулятивного горизонта чернозема, или листоватая, характерная для горизонта А₂, или столбчатая, характерная для иллювиальных горизонтов солонцов.

В агрономическом понимании положительной структурой является лишь мелкокомковатая и зернистая структура, примерно в пределах агрегатов с диаметром $0,25-10$ мм, по качеству пористая, механически прочная и водопроочная, что обуславливает длительное сохранение структуры при повторных обработках почвы и после увлажнения.

В агрономическом смысле почва считается структурной, если комковато-зернистые водопроочные агрегаты составляют 55 %.

Одним из наиболее важных свойств структуры является ее водопроочность. Под водопроочностью понимают способность почвенных агрегатов противостоять размывающему действию воды. Однако водопроочность не следует отождествлять с механической прочностью. Например, связные почвы не обладают водопроочностью.

Особо необходимо отметить значимость сочетания водопроочности агрегатов с оптимальной их порозностью, т.к. в порах агрегата и

на его поверхности разворачивается жизнь в почве. Наиболее агрономически ценными являются макроагрегаты, обладающие высокой пористостью ($> 45 \%$).

Устойчивость структуры к механическому воздействию и способность не разрушаться при увлажнении (водопрочность) определяют сохранение почвой благоприятного сложения при многократных обработках и увлажнении. При отсутствии этих качеств структурные агрегаты быстро разрушаются, и почва становится бесструктурной. Во влажном состоянии такие почвы заплывают, при подсыхании образуют корку.

Необходимо знать, что не всякая водопрочная структура является агрономически ценной. Важно, чтобы водопрочные агрегаты имели рыхлую упаковку, были пористые и обладали способностью легко воспринимать воду, чтобы в их поры легко проникали корневые волоски и микроорганизмы. При плотной упаковке агрегатов пористость их низкая (30–40 %), поры тонкие, в них с трудом проникают микроорганизмы и корневые волоски. Такая структура в агрономическом отношении не является ценной.

Агрономическое значение структуры заключается в том, что она оказывает положительное влияние на ряд агрохимических и агрофизических свойств почвы, а именно на физические свойства (пористость, плотность сложения), на водный, тепловой, воздушный, микробиологический и питательный режимы; на физико-механические свойства. Структура усиливает противозерозионную устойчивость почв.

При наличии агрономически ценной структуры в почве создается благоприятное сочетание капиллярной и некапиллярной пористости. В бесструктурной почве механические элементы лежат плотно, в ней образуются в основном капиллярные поры.

Структурные почвы благодаря наличию некапиллярных пор хорошо впитывают влагу. В такой почве потери воды от поверхностного стока невелики.

В структурной почве воздухопроницаемость больше, чем в бесструктурной. В почвах, где преобладают агрегаты менее 0,25 мм, при увлажнении до 38 % от КВ (капиллярная влагоемкость) подача воздуха практически прекращается.

Скорость и высота капиллярного поднятия влаги в бесструктурной почве больше и выше, чем в структурной почве; поэтому структурная почва меньше испаряет влаги, чем бесструктурная.

В структурных почвах лучше складываются условия питания растений, интенсивнее протекают микробиологические процессы, отсутствуют процессы денитрификации.

Бесструктурной почвой вода впитывается медленно, большая часть ее теряется в результате поверхностного стока. Сплошная капиллярная связь вызывает большие потери влаги из-за испарения. В такой почве часто наблюдаются два крайних состояния увлажнения: избыточное или недостаточное. Для таких почв характерен антагонизм между водой и воздухом.

Водопрочные макроагрегаты по сравнению с пылеватой фракцией больше содержат гумуса, азота и фосфора. В структурной почве по сравнению с бесструктурной интенсивнее протекают микробиологические процессы и больше образуется доступных для растений питательных веществ.

Агрономически ценная структура, придавая почве рыхлое сложение, облегчает прорастание семян и распространение корней растений, а также уменьшает энергетические затраты на механическую обработку почвы по сравнению с бесструктурными.

Наряду с макроструктурой большое значение для оценки свойств почвы имеет ее микроструктура. Она также должна быть водопрочной и пористой. При этом наилучшими являются микроагрегаты размером от 0,25 до 0,01 мм. Неблагоприятными свойствами обладают микроагрегаты размером от 0,01 до 0,005 мм. Они затрудняют водо- и воздухопроницаемость почвы.

Оптимальные размеры структурных агрегатов связаны с зональными особенностями почв и условиями земледелия. Во влажных зонах более крупные агрегаты обеспечивают лучшую водо- и воздухопроницаемость, в засушливых районах благоприятен более мелкий размер агрегатов.

Из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: во всех случаях на почвах одного типа и в сходных агротехнических условиях структурная почва всегда характеризуется более благоприятными показателями, нежели бесструктурная.

7.2 Генезис структуры почвы

Формирование макроструктуры почвы протекает под воздействием физико-механических, физико-химических, химических и биологических факторов почвообразования.

Физико-механические факторы обуславливают процесс крошения почвенной массы, главным образом, под влиянием изменяющегося давления или механического воздействия. В результате переменного высушивания и увлажнения почва изменяет свой объем и давление и разрушается на отдельные комки. Аналогично протекает процесс дробления почвы на комки при переменном замерзании и оттаивании почвы. К действию этих факторов также можно отнести давление корней растений и деятельность роющих и копающих животных и рыхлящее действие почвообрабатывающих орудий.

Вода в почве начинает замерзать в более крупных промежутках. При замерзании она расширяется и давит на стенки комков; при этом участки с незамерзшей водой уплотняются. В результате неравномерного уплотнения при оттаивании замерзшей воды почва будет крошиться по линии наименьшего сопротивления.

Промораживание способствует созданию агрегатов, но водопрочность при этом не создается. Процесс образования агрегатов при замерзании воды происходит только при оптимальной влажности (не более 90 % ПВ). В переувлажненной почве структурные отдельности при замерзании воды разрываются и такая почва при оттаивании обесструктурируется. Промерзание сухой почвы не оказывает положительного влияния на структурообразование.

Благоприятно сказывается на структурообразовании обработка почвы в состоянии ее физической спелости, и, наоборот, при обработке почвы в пересохшем состоянии она сильно распыляется, а при обработке в переувлажненном образуется глыбистая поверхность. Следует подчеркнуть, что одной механической обработкой нельзя создать водопрочную структуру.

Значительно большая роль в структурообразовании принадлежит физико-химическим факторам – коагуляции и цементирующему воздействию почвенных коллоидов. Из числа физико-химических факторов наибольшее значение в структурообразовании имеют процессы коагуляции глинисто-коллоидных веществ, находящихся в почве. Коагуляция может быть обратимой и необратимой. Последняя приводит к образованию водопрочных агрегатов. Необратимо коагулируют коллоиды под действием двух- и трехвалентных катионов Ca, Mg, Al, Fe. При наличии одновалентных катионов, таких как натрий, необратимой коагуляции не происходит и водопрочной структуры не образуется.

Физико-химические факторы структурообразования связаны с наличием в почве минеральных и органических коллоидов. Наиболь-

шее значение принадлежит органическим коллоидам. Структурность почв и водопрочность структурных агрегатов обычно тем выше, чем больше гумуса содержит почва.

Большое значение в образовании водопрочных агрегатов принадлежит и минеральным коллоидам. Однако почвенные агрегаты, образующиеся при участии только минеральных коллоидов без гумусовых веществ, не обладают водопрочностью. Наиболее водопрочная структура образуется при взаимодействии гуминовых кислот с глинистыми минералами группы монтмориллонита и гидрослюд. Большую роль в структурообразовании играют минералы гидроокисей железа и алюминия.

Определенное склеивающее и цементирующее воздействие на почву могут оказать и химические факторы. Появление в процессе выветривания и почвообразования новых химических соединений, переходящих в нерастворимую форму, может вызвать образование водопрочной почвенной структуры. Так, накопление в почвах углекислого кальция, силикатов магния и железа способствует цементации механических элементов, их склеиванию и образованию водоустойчивых агрегатов. При избыточном увлажнении в почве образуется много закисного железа, которое пропитывает почву. При подсыхании почвы закисные формы железа переходят в окисные. Окисные соединения железа нерастворимы в воде, поэтому они прочно цементируют механические элементы в агрегаты. Однако такие агрегаты при высокой водопрочности имеют малую пористость (< 40 %), т.к. часть пор заполняется гидратом окиси железа.

Основная роль в структурообразовании принадлежит биологическим факторам. Наиболее сильное оструктурирующее влияние на почву оказывает многолетняя травянистая растительность; там, где создаются благоприятные условия для развития травянистой растительности, образуется больше гумуса, под действием которого формируется водопрочная структура.

К числу биологических факторов структурообразования необходимо также отнести воздействие червей, личинок и насекомых. Поглощая органические вещества почвы, пропуская их через свой кишечный тракт, обогащая почву при этом продуктами своей жизнедеятельности, животные этой группы способствуют оструктурированию почв. Деятельность червей в оструктурировании почв давно известна. Частицы почвы, проходя через кишечный тракт дождевых червей, уплотняются и выбрасываются в виде небольших комочков – капро-

литов. Эти комочки обладают высокой водопрочностью. Структура, созданная дождевыми червями, по форме легкоотличима – поверхность агрегатов носит «оплавленный» характер.

Коллоидные продукты жизнедеятельности микроорганизмов являются цементирующими веществами в почве и способствуют структурообразованию. С воздействием биологических факторов связана и определенная сезонная возобновляемость структуры в почвах.

7.3 Утрата и восстановление структуры

Структура почвы динамична. Она разрушается и восстанавливается под влиянием различных факторов. Управление этими факторами позволяет поддерживать почву в необходимом структурном состоянии. Причинами утраты структуры являются: механическое разрушение, физико-химические явления и биологические процессы.

Механическое разрушение структуры происходит под влиянием обработки почвы не в фазу физической спелости, при передвижении по ее поверхности машин, под ударами капель дождя. Важнейшими путями уменьшения механического разрушения структуры является обработка почвы в состоянии физической спелости, а также минимальная обработка.

Физико-химические причины утраты структуры связаны с реакциями обмена двухвалентных катионов в ППК на одновалентные. При этом коллоиды пептизируют при увлажнении, и структурные отдельности разрушаются. Поэтому на таких почвах нужно проводить химическую мелиорацию. Кислые почвы известкуют, а щелочные гипсуют, это приводит к обогащению ППК кальцием и улучшению структуры.



Биологические причины разрушения структуры связаны с процессами минерализации почвенного гумуса.

Восстановление и сохранение структуры в условиях сельскохозяйственного использования почв осуществляется агротехническими приемами. К агротехническим методам оструктурирования почв относятся посев многолетних трав, обработка почвы в спелом состоянии, известкование кислых почв, гипсование солонцов и солонцовых почв, внесение органических и минеральных удобрений.

Посев многолетних трав, внесение органических и минеральных удобрений способствуют накоплению органического вещества в почвах. Наряду с культурой многолетних трав в севообороте увеличение запасов органического вещества в почвах может достигаться за счет сидератов.

По степени влияния на процессы структурообразования все культурные растения можно расположить в следующем порядке. Наиболее сильное влияние оказывают многолетние травы, на втором месте располагаются однолетние культуры, такие как пшеница другие злаки, на последнем месте – лен, картофель, свекла, капуста и ряд других культур, которые имеют слабую корневую систему.

При высоком урожае многолетние травы сильнее оструктурируют почву, чем однолетние. Это объясняется тем, что они имеют более мощную корневую систему (до 18 т/га). Масса корней однолетних культур не превышает 3 т/га. В опытах Н.И. Саввинова после многолетних трав на дерново-подзолистых почвах содержалось 54,2 % водпрочных агрегатов, а в почве под однолетними культурами – 32,7 %.

Минеральные удобрения также улучшают структуру почвы, т.к. при этом растения развивают более мощную корневую систему и оставляют в пахотном слое много корневых и пожнивных остатков.

Искусственное оструктурирование почв заключается в применении полимеров акриловой и метакриловой кислот. Их вносят в почву в виде сухих веществ и в жидком состоянии из расчета 0,001 % от веса почвы.

В Российской Федерации также используют в качестве структурообразователей битум, торфяной клей, вискозу. Их вносят от 0,5 до 1 % от веса почвы. Искусственные структурообразователи в Российской Федерации широкого распространения не получили.

7.4 Общие физические свойства почвы

К общим физическим свойствам относятся плотность твердой фазы почвы, плотность почвы и пористость.

Плотность твердой фазы почвы – это отношение массы ее твердой фазы к массе воды в том же объеме при +4° С. Она характеризует не всю почву, а только ее твердую фазу. Величина плотности твердой фазы почвы зависит от минералогического состава и содержания органического вещества. В среднем плотность твердой фазы большинства почв равна 2,50–2,80 г/см³.

Наименьшая величина плотности твердой фазы почвы (2,4–2,6 г/см³) наблюдается в самых верхних горизонтах почв, где содержится

наибольшее количество гумуса. В нижних горизонтах, где мало или совсем нет гумуса, плотность твердой фазы возрастает.

В красноземах и желтоземах, содержащих большое количество окислов железа, плотность твердой фазы в горизонте С достигает 2,80–2,85 г/см³. Плотность твердой фазы торфа в зависимости от степени его разложения и зольности колеблется в пределах 1,4–1,7 г/см³.

Величина плотности твердой фазы почвы указывает на соотношение минеральной и органической частей почв, дает некоторую ориентировку для суждения о минералогическом составе и используется для вычисления пористости почвы.

Плотность почвы – это масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении. Выражается в граммах на см³. При определении плотности узнают массу почвы в единице объема со всеми порами, поэтому плотность почвы всегда будет меньше плотности ее твердой фазы.

Величина плотности почвы зависит от гранулометрического и минералогического состава, содержания органического вещества, структурного состояния и сложения почвы. Тяжелые по гранулометрическому составу почвы имеют меньшую плотность, чем почвы легкого гранулометрического состава. Верхние горизонты почвы имеют меньшую плотность, чем нижние, в связи с большим содержанием гумуса, лучшей структурой и более рыхлым сложением.

Плотность минеральных почв колеблется от 0,8 до 1,8 г/см³. Почвы с небольшим содержанием гумуса имеют плотность около 1,3–1,6, нижние горизонты с плотным сложением – 1,6–1,8 г/см³.

Плотность пахотного слоя минеральных почв изменяется в широких пределах, в зависимости от времени и способа обработки, свойств почвы и сельскохозяйственной культуры. После механической обработки почва имеет наименьшую плотность. Затем она начинает постепенно уплотняться и через какой-то срок достигает более или менее постоянной величины. Эту величину принято называть равновесной плотностью почвы. Для различных типов почв она имеет свои пределы. Так, для некоторых дерново-подзолистых почв и орошаемых сероземов величина равновесной плотности достигает 1,5–1,6 г/см³, а в черноземах – лишь 1,0–1,3 г/см³.

Степень уплотнения почвы оказывает большое влияние на водный, воздушный и тепловой режимы почвы и на продуктивность растений. При уплотнении почвы уменьшается ее влагоемкость, снижается водопроницаемость. Рыхлые почвы по сравнению с плотными

запасают больше влаги; в них лучше проникают дождевые и талые воды и меньше стекает воды по поверхности.

Рыхлые почвы при высокой влажности меньше испаряют влаги, чем плотные. В плотных почвах происходит более интенсивный подток влаги по капиллярам к зоне иссушения. Поэтому такой агротехнический прием, как боронование почвы, предохраняет ее от непроизводительной потери влаги. При малом же содержании влаги, когда передвижение ее в почве происходит в парообразном состоянии плотная почва испаряет влаги меньше, чем рыхлая. В этом случае рыхлые почвы следует прикатывать.

Большое влияние оказывает плотность на рост, развитие и урожай растений. Оптимальное для растений значение плотности зависит как от биологических особенностей самих растений, так и от свойств почв. При возделывании зерновых культур на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах оптимальной плотностью пахотного горизонта является 1,20–1,35 г/см³. Для пахотного слоя каштановых тяжелосуглинистых почв нормальной является плотность 1,0–1,2 г/см³. При повышении плотности до 1,3 число корней пшеницы заметно уменьшается. Корни пшеницы не в состоянии проникать в слой почвы с плотностью выше 1,63 г/см³ и пористостью ниже 39 %.

Неблагоприятное влияние высокой плотности на развитие растений заключается как в механическом препятствии для прорастания семян и роста корней, так и в резком проявлении в этих условиях антагонизма между водой и воздухом.

Пористость. Как бы почва ни была уплотнена и из каких бы по размеру частиц она ни состояла, между ними обязательно будут промежутки, то есть поры, в которых размещаются вода и воздух, корни растений, микроорганизмы и почвенная фауна. Суммарный объем пор между частицами твердой фазы почвы в единице ее объема называется общей пористостью.

Пористость выражается в процентах от общего объема почвы. В разных горизонтах минеральных почв пористость изменяется в широких пределах (25–80 %), в гумусовых горизонтах она обычно составляет 50–60 %, для болотных торфяных почв – 80–90 %. В нижних горизонтах суглинистых и глинистых почв она уменьшается до 35–45 %. В оглееных горизонтах суглинистых и глинистых почв пористость уменьшается до 25–30 %.

При оценке пористости важно знать не только ее суммарную величину, но и качественный состав пор, а также степень заполнения их водой.

В зависимости от размера пор их разделяют на капиллярные и некапиллярные; в соответствии с этим и пористость различается капиллярная и некапиллярная.

Наиболее благоприятные условия водно-воздушного режима почвы наблюдаются при соотношении капиллярной и некапиллярной пористости примерно 1 : 1.

Важной характеристикой пористости почвы является величина ее аэрируемой части, то есть той части пористости, которая заполнена воздухом. Для пахотных почв оптимальной является пористость аэрации больше 20 %.

Общая пористость и пористость аэрации прежде всего определяются структурностью почвы, а также зависят от плотности, гранулометрического и минералогического состава.

С общей пористостью связаны водопроницаемость, воздухопроницаемость и воздухоемкость, газообмен между почвой и атмосферой. Оптимальная пористость колеблется в пределах 50–65 %.

По Качинскому, пористость подразделяется на общую, пористость агрегатов, межагрегатную, капиллярную, в свою очередь поры делятся на поры, заполненные прочносвязанной водой, поры, заполненные рыхлосвязанной водой, поры, занятые воздухом. Кроме того он делит поры на активные и неактивные. Неактивные поры заполнены рыхло- и прочносвязанной водой.

7.5 Физико-механические свойства почв

К физико-механическим свойствам относятся деформационные (сжимаемость), реологические (пластичность, липкость, усадка, набухание) и прочностные (связность, твердость, сопротивление при обработке).

Сжимаемость – уменьшение объема почв (уплотнение) под действием внешнего давления. Характеризуется коэффициентом уплотнения и измеряется в см²/кг. Сжимаемость почв определяется их гранулометрическим и минералогическим составом, характером порозности и трещиноватости, структурой и её прочностью, влажностью и гидрофильностью коллоидной фракции. Сжимаемость характеризует возможность переуплотнения почв при обработках тяжелой техникой.

Частным случаем проявления сжимаемости почв и грунтов является просадочность. Просадкой называется понижение поверхности почв в результате уменьшения их порозности. Просадочность может создавать пестроту микрорельефа, особенно на орошаемых землях.

Пластичность – способность почвы изменять свою форму (деформироваться) под влиянием внешних воздействий с сохранением при этом сплошности. Пластичность обусловлена содержанием ила и коллоидов, их составом и влажностью почвы. Различают: верхний предел пластичности (нижний предел текучести) – влажность, при которой стандартный конус погружается в почву на глубину 10 см под действием своей массы; нижний предел пластичности (предел раскатывания) – влажность, при которой образец почвы можно раскатать в сплошной шнур диаметром 3 мм.

Число пластичности – это разность между показателями верхнего и нижнего пределов пластичности. Глинистые почвы имеют число пластичности более 17; суглинистые – 7–17; супеси – менее 7; пески пластичностью не обладают.

Липкость – свойство влажной почвы прилипать к другим телам. Она определяется силой, требующейся для отрыва металлической пластинки площадью в 1 см^2 , и выражается в г/см^2 .

Липкость почв обусловлена гранулометрическим составом, содержанием гумуса и составом обменных катионов. Она наибольшая у глинистых и наименьшая у песчаных почв. Различают (по Н.А. Качинскому) предельно вязкие (более 15 г/см^2); сильновязкие (5–15); средневязкие (2–5) и слабвязкие (менее 2 г/см^2). Проявляется липкость при определённой степени влажности, достигает максимума и вновь уменьшается при переувлажнении почв.

Усадка – уменьшение объёма почвы при её высыхании. Она выражается в процентах к первоначальному объёму почвы. Усадка зависит от минералогического состава илистой фракции, гранулометрического состава, степени гидрофильности коллоидов.

Набухание – увеличение объёма почвы при увлажнении. Измеряется в процентах к исходному объёму почвы. Подобно усадке набухание зависит от минералогического и гранулометрического состава и состава поглощённых катионов. В наибольшей степени набухают глинистые почвы монтмориллонитового состава, насыщенные натрием, в наименьшей – каолиновые глины.

Связность – способность почв противостоять внешнему усилию, направленному к разъединению частиц путём раздавливания

или сдвига, выражается в г/см^3 . Связность зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, состава поглощённых катионов, влажности, структуры почвы.

Твёрдость почвы – сопротивление, которое она оказывает проникновению в неё какого-либо тела (шара, конуса, цилиндра и др.) под давлением. Измеряется в кг/см^2 . Зависит от влажности, гранулометрического состава, структуры, содержания гумуса и изменяется в очень широких пределах – от 5 до 45 кг/см^2 .

Удельное сопротивление почвы – усилие, затраченное на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность. Выражается в кг/см^2 поперечного сечения пласта почвы, поднимаемого плугом. Зависит от гранулометрического состава (лёгкие и тяжёлые почвы), физико-химических свойств, содержания гумуса, структуры почвы и влажности, состояния корневых систем растений

Удельное сопротивление в различных почвах колеблется от 0,2 до 1,2 кг/см^2 . Оно учитывается при конструировании плугов и других почвообрабатывающих орудий, составлении норм выработки.

С физическими свойствами, особенно с липкостью, связано очень важное агрономическое свойство почвы – физическая спелость – состояние влажности, при которой почва хорошо крошится на комки, не прилипая при этом к орудиям обработки. Обычно физическая спелость наступает при содержании влаги 35–45% от массы почвы.

Оптимизация физических и физико-химических свойств почвы достигается при проведении целого ряда почвоулучшающих мероприятий: известкования, гипсования, осушения, орошения, внесения мелиоративных доз торфа, рыхлящих почву материалов (соломы, компостов), пескования тяжелых почв, глинования легких почв, травосеяния и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие о структурности и структуре почвы. Типы структуры и ее основные показатели (форма, размеры, механическая прочность, водопрочность, пористость).
2. Агрономическое значение структуры.
3. Дайте характеристику факторам образования структуры.
4. Зависимость образования структуры от гранулометрического состава, содержания гумуса и состава обменных оснований.
5. Причины утраты структурного состояния, способы восстановления структурности почвы.

6. Охарактеризуйте основные физические свойства почвы (плотность твердой фазы, плотность почвы, пористость и ее виды) и их значение в плодородии почвы.

7. Влияние плотности почвы, пористости и пористости аэрации на плодородие почв и развитие сельскохозяйственных растений.

8. Охарактеризуйте физико-механические свойства почвы и факторы, от которых зависят эти свойства.

9. Физические и физико-механические свойства почвы как показатели почвенного плодородия.

10. Способы улучшения физических и физико-механических свойств почвы.

Глава 8. Почвенная влага, водные свойства и водный режим почв

8.1 Значение влаги в почвообразовании, жизни растений и микроорганизмов

Почвенная влага, наряду с твердой и газовой, является третьей фазой почвы. Без воды невозможны процессы выветривания и почвообразования.

От содержания влаги в почве зависит скорость выветривания горных пород, интенсивность физических, химических, физико-химических и биологических процессов.

Влажность почвы влияет на образование ее структуры, физико-механические свойства, предопределяет качество обработки и затраты энергии на нее.

Влага, передвигаясь в почве, переносит с собой многие растворимые и взвешенные вещества. Она необходима для жизнедеятельности микроорганизмов, являющихся важным фактором почвообразования.

Роль воды в почвообразовательном процессе настолько существенна, что Г.Н. Высоцкий сравнивал ее с кровью организма. В результате перемещения водой органических, органоминеральных и минеральных соединений формируется почвенный профиль.

Без воды невозможны биологические процессы в почве, а также жизнь высших растений вообще. Для нормального протекания процессов жизнедеятельности растениям требуется вполне определенное количество воды. Для создания 1 г сухого вещества растения расходуют от 200 до 1000 г воды.

Все жизненные процессы в растениях протекают нормально только при достаточном насыщении их клеток водой. Сухие семена не прорастают, при недостатке воды растения плохо растут и дают низкий урожай. Вода наряду с углекислым газом является для растений тем первичным строительным материалом, из которого в процессе фотосинтеза синтезируется органическое вещество. В воде растворяются питательные вещества, которые с почвенным раствором поступают в растения. Поскольку при испарении воды затрачивается огромное количество тепла, вода является терморегулятором почвы и растений, предохраняя последние от перегрева солнечной радиацией.

В составе растений содержится 80–90 % воды. В процессе своей жизнедеятельности они расходуют огромное количество воды. Вот почему в засушливых районах неустойчивые и низкие урожаи сельскохозяйственных культур в большинстве случаев связаны с недостаточным их водоснабжением.

Для жизнедеятельности микроорганизмов в почве также необходима вода. Новгрудский, изучая скорость нитрификации в каштановой почве в зависимости от содержания в ней воды, доказал полное прекращение процесса при воздушно-сухом состоянии и регистрировал ход процесса в случаях, когда влажность почвы достигала величины полуторной максимальной гигроскопической влажности. Наибольшей интенсивности процесс нитрификации достигал при влажности, приближающейся к полевой влагоемкости.

Для ряда микроорганизмов и почвенных грибов установлена точная зависимость активности процессов их жизнедеятельности также и от влажности воздуха. При предельно низкой влажности почвы относительная влажность воздуха в ней резко снижается и тогда резко снижается интенсивность микробиологических процессов.

Из всего сказанного можно заключить, что почвенная влага является решающим фактором для получения высоких урожаев культурных растений и для многочисленных биологических процессов, совершающихся внутри почвы и на ее поверхности, т.е. в приземном слое воздуха. В частности, необходимо учитывать, что влажность почвы является фактором регулирования влажности почвенного воздуха и нижних слоев атмосферы и служит весьма чувствительным агентом, воздействующим на многие чисто почвенные явления.

8.2 Категории, формы и виды почвенной влаги

В зависимости от количественного содержания воды в почве меняются все качественные ее стороны. В одних случаях она свободно движется вниз под влиянием сил гравитации, в других – она находится в неподвижном состоянии, в третьих – проявляет ясную тенденцию подтягиваться к верхним слоям почвы. Все эти процессы являются следствием действия соответствующих физических сил. Таковыми силами являются сорбционные, осмотические, менисковые и гравитационные.

Почвенная влага удерживается с различной силой, в связи с этим характеризуется неодинаковой подвижностью, обладает разными свойствами, поэтому почвенную воду принято делить на категории, формы и виды.

1. Вода, химически связанная или кристаллизационная, отличается исключительно высокой прочностью связей и неподвижностью. Входит она в состав химических соединений в виде гидроксильной группы, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$ ($400\text{--}800^\circ \text{C}$), или целыми молекулами $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (200°C). Химически связанная вода растениям недоступна.

2. Сорбированная (связанная) вода – эта вода удерживается на поверхности почвенных частиц силами сорбции. Различают две категории сорбционной воды: прочносвязанную влагу (гигроскопическую) и рыхлосвязанную (пленочную).

Прочносвязанная вода образуется в результате сорбции паров, находится в почвах в состоянии, близком к твердому телу, и удерживается у поверхности почвенных частиц очень высоким давлением – $10000\text{--}20000$ атм. Гигроскопическая вода, адсорбируясь на поверхности почвенных частичек, создает пленки толщиной в $2\text{--}3$ молекулы. Данная влага для растений недоступна, она не растворяет питательные вещества, передвигается в почве только при переходе в парообразное состояние при температуре $105\text{--}110^\circ \text{C}$. Она замерзает при температуре от -4 до -78°C .

Рыхлосвязанная влага удерживается на поверхности тонких пленок прочносвязанной влаги силой ориентированных молекул. Образует вокруг почвенных частиц пленку, толщина которой может достигать десятков молекул. Сила, с которой удерживается эта вода, измеряется значительно меньшим давлением – от 1 до 10 атм. Передвигается под влиянием сорбционных сил. Пленочная вода ограничено доступна для растений. Осмотическое давление клеточного сока растений позволяет корневым волоскам всасывать эту воду. Но из-

за крайне малой подвижности пленочной воды растение расходует запас влаги быстрее, чем он восстанавливается. Рыхлосвязанная вода замерзает при температуре от $-1,5$ до -4°C .

3. Свободная влага не связана силами притяжения с твердой фазой почвы, передвигается под влиянием капиллярных и гравитационных сил. Она делится на две формы: капиллярную и гравитационную.

Капиллярная влага находится в тонких порах почвы и передвигается в них под влиянием капиллярных сил, возникающих на поверхности раздела твердой, жидкой и газообразной фаз.

По характеру увлажнения она делится на капиллярно-подвешенную и капиллярно-подпертую влагу. Подвешенная форма влаги встречается в четырех видах: стыковая капиллярно-подвешенная, внутриагрегатная капиллярно-подвешенная, насыщающая капиллярно-подвешенная, сорбционнозамкнутая (пленочно-подвешенная).

Стыковая капиллярно-подвешенная влага находится в виде разобщенных скоплений вокруг точек соприкосновения твердых частиц, характеризуется отсутствием гидростатической сплошности, удерживается капиллярными силами.

Внутриагрегатная капиллярно-подвешенная влага находится в капиллярах, пронизывающих агрегаты; удерживается капиллярными силами.

Насыщающая капиллярно-подвешенная влага целиком заполняет тонкие поры почвы, удерживается капиллярными силами и силами смачиваемости первоначально сухой почвы.

Сорбционнозамкнутая влага находится в виде микроскоплений в некапиллярных порах, изолированных перемычками из связанной воды; удерживается сорбционными силами.

Подпертая влага делится на подперто-подвешенную капиллярную и подперто-капиллярную. Подперто-подвешенная капиллярная влага находится в мелко пористых слоях почвы, подстилаемых более легкими и более крупнопористыми слоями; удерживается капиллярными силами. Подперто-капиллярная влага находится в капиллярах, подпираемых грунтовыми водами или верховодкой, удерживается капиллярными силами.

Капиллярная влага замерзает при температуре несколько ниже 0° (около $-1,5^{\circ}$). Величина осмотического давления капиллярной влаги колеблется от $0,5$ атм. до $3-4$ атм., и поэтому она является основным источником водоснабжения растений.

Свободная форма воды подразделяется на просачивающуюся гравитационную и грунтовую. Свободная форма воды находится в почве в крупных порах, свободно просачивается вниз под действием силы тяжести. Осмотическое давление этой воды не превышает 0,5 атм., поэтому она доступна растениям, но вследствие быстрого передвижения в почве в водоснабжении растений играет малую роль. Капиллярная и гравитационная формы влаги относятся к категории свободной воды.

Грунтовая вода. Гравитационная влага, просачиваясь вниз до водоупора, заполняет все поры лежащего над ним слоя, в связи с чем этот слой становится водоносным, а содержащаяся в нем влага называется грунтовой водой. Глубина, на которой находятся грунтовые воды от поверхности, называется глубиной залегания грунтовых вод, а верхняя поверхность грунтовых вод называется их зеркалом. Выше зеркала формируется зона капиллярного насыщения, которая называется капиллярной каймой. Глубина залегания грунтовых вод и их химический состав оказывают большое влияние на свойства почвы и жизнь растений. Подача и использование грунтовой воды растениями возможны в том случае, когда зеркало грунтовой воды находится от нижней границы корнеобитаемого слоя в супесчаных почвах не более чем на 0,5–1 м, в легкосуглинистых – на 1–1,5 м, в тяжелосуглинистых – на 3–5 м. Этот уровень залегания грунтовых вод носит название критического.

Парообразная влага образуется при испарении всех других форм почвенной влаги. Парообразная влага может передвигаться в почве двояким путем: диффузно и вместе с током почвенного воздуха. Парообразная влага в почве передвигается из более влажных мест, где упругость паров высокая, к менее влажным. При влажности почвенного воздуха близкой к 100 % направление передвижения парообразной влаги будет зависеть от градиента температуры. Пар будет передвигаться от более теплых к более холодным слоям.

Хотя общее количество парообразной воды не превышает 0,001 % веса почвы, она играет большую роль в перераспределении влаги в почве и, кроме того, предохраняет корневые волоски от высыхания.

Твердая вода – лед. Неподвижная форма воды.

8.3 Основные почвенно-гидрологические константы

Границы значений влажности, характеризующие пределы проявления различных форм и категорий почвенной влаги, называются почвенно-гидрологическими константами. В агрономической практи-

ке величинами почвенно-гидрологических констант характеризуются пределы доступности влаги для растений. Роде рассматривает почвенно-гидрологические константы как точки на шкале влажности почвы, при которых количественные изменения в подвижности влаги переходят в ее качественные отличия. Выделяют восемь основных почвенно-гидрологических констант, которые выражаются в % от массы или объема почвы.

1. **Максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ)** – наибольшее количество прочносвязанной воды, удерживаемое силами адсорбции, влага недоступна для растений.
2. **Максимальная гигроскопичность (МГ)** – наибольшее количество влаги, которое может сорбировать почва из воздуха при относительной влажности воздуха близкой к 100 %; влага не доступна растениям.
3. **Почвенная влажность устойчивого завядания растений (ВЗ)** – влажность, при которой растения начинают обнаруживать признаки завядания, не исчезающие при перемещении растений в атмосферу, насыщенную водяными парами; нижний предел доступности растениям влаги.
4. **Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ)** – характеризует верхний предел содержания в почвах рыхлосвязанной воды. Зависит в основном от гранулометрического состава. В глинистых почвах она может достигать 25-30 %, в песчаных – не превышает 5-7 %.
5. **Влажность разрыва капиллярной связи (ВРК)** – влажность почвы, лежащая в интервале между наименьшей влагоемкостью и почвенной влажностью устойчивого завядания растений, при которой подвижность подвешенной влаги в процессе иссушения резко уменьшается. Характеризует нижний предел оптимальной влажности.
6. **Наименьшая, или предельная полевая влагоемкость (НВ или ППВ)** – максимальное количество капиллярно-подвешенной влаги.
7. **Капиллярная влагоемкость (КВ)** – максимальное количество капиллярно-подпертой влаги.
8. **Полная влагоемкость, или полная водовместимость (ПВ)** – наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве после заполнения всех пор.

Для развития растений наиболее благоприятна влажность почвы в интервале ВРК – НВ. В интервале НВ – ПВ ухудшается газообмен, и такое увлажнение является избыточным. При влажности почвы, соответствующей величинам в интервале ВРК – ВЗ, влага труднодоступна для растений, и их продуктивность при этом заметно снижается.

Почвенно-гидрологическим константам, характеризующим водные свойства почвы, соответствуют различные значения влажности в зависимости от типа почвы, ее гранулометрического состава.

8.4 Основные водные свойства почвы

Основными водными свойствами почвы являются водоудерживающая способность, водопроницаемость, водоподъемная способность и водоотдача.

Водоудерживающая способность – свойство почвы удерживать то или иное количество воды, обусловленное действием сорбционных и капиллярных сил.

Сорбция воды тем сильнее проявляется в почве, чем больше ее дисперсность. Сорбция зависит от гранулометрического состава, минералогического и химического состава почвы, а также от содержания гумуса. Различают хемосорбцию, сорбцию парообразной воды и адсорбцию жидкой влаги.

Хемосорбция протекает при образовании новых соединений, в состав которых входит вода. Энергия поглощения при хемосорбции исключительно велика, и сорбированная влага закрепляется весьма прочно.

Почва из всех газов и паров, соприкасающихся с ее частицами независимо от парциального давления, наиболее интенсивно поглощает пары воды, т.к. они лучше других смачивают почву и тем самым максимально уменьшают свободную энергию твердых тел.

Свойство почвы сорбировать парообразную влагу называется гигроскопичностью, а поглощенная влага гигроскопической. Чем больше воздух насыщен парами воды, тем больше ее поглощается почвой. Когда относительная влажность воздуха приближается к 100 %, почва поглощает максимальное количество влаги.

Это наибольшее количество гигроскопической воды, поглощенное почвой и выраженное в процентах от массы сухой почвы, называется максимальной гигроскопичностью. Она в среднем в 1,5–2 раза больше гигроскопической влаги. Величина гигроскопичности зависит от дисперсности, минералогического состава, гумусированности и

состава обменных оснований почвы. Чем тяжелее почва, чем больше в ней коллоидных частиц и гумуса, тем выше ее гигроскопичность. Минералы группы монтмориллонита поглощают влаги больше минералов группы каолинита.

По мере увеличения емкости поглощения увеличивается содержание гигроскопической влаги в почве.

Сорбция водяных паров при высокой относительной влажности воздуха сопровождается капиллярной конденсацией, которая проявляется на стыках между почвенными частицами, где скапливается сорбированная влага. В связи с этим максимальная гигроскопичность будет слагаться не только за счет прочносвязанной влаги, но и за счет влаги капиллярной конденсации.

Величина максимальной гигроскопичности в верхних горизонтах подзолистых почв равна 2,5 %, дерново-подзолистых – 5 %, черноземов – 10–11 %, каштановых – 10–11 %, красноземов – 14 %, сероземов – около 5 %. В песчаных и супесчаных по гранулометрическому составу почвах максимальная гигроскопичность равняется 0,5–1 %; в суглинистых почвах – 3–9 %; в глинистых почвах – 9–15 %. Наибольшая величина МГ характерна для торфяных почв (более 30 %).

По данным Г.Б. Гальдина максимальная гигроскопичность в черноземах выщелоченных Пензенской области колеблется в пределах 11–14 %.

Почва, насыщенная до состояния максимальной гигроскопичности, при соприкосновении с водой сохраняет способность притягивать новые порции воды. Такая сорбированная влага удерживается почвенными частицами с меньшей силой, чем гигроскопическая, и поэтому она получила название рыхлосвязанной воды. Рыхлосвязанная влага на песчаных почвах образует более толстую пленку воды по сравнению с глинистыми. Это объясняется тем, что песчаные почвы имеют малую удельную поверхность и больший размер пор по сравнению с глинистыми. В глинистых почвах, имеющих большую удельную поверхность, но малую величину пор, сорбированная влага растекается по большей поверхности, но образует тонкую пленку воды.

Важной гидрологической характеристикой (константой) является влажность устойчивого завядания растений (ВЗ). Она может быть определена прямым методом в опытах с растениями, но чаще ее определяют расчетным путем, умножая показатель МГ на коэффициент 1,5. Влажность устойчивого завядания зависит, главным образом,

от гранулометрического состава почвы, состава поглощенных катионов, засоленности, плотности почвы.

Влажность устойчивого завядания зависит не только от свойств почвы, но и от биологических особенностей растений и их возраста.

В песчаных почвах влажность устойчивого завядания составляет 1–3 %, в супесчаных – 4–6 %, в суглинистых – 10–12 % и глинистых – 20–30 %. Глины монтмориллонитового происхождения обладают более высокими показателями влажности завядания, чем глины каолинитовые. Для пахотных горизонтов почв и для обычных полевых культур влажность завядания колеблется, по данным С.И. Долгова, в пределах 10–20 %. Недоступность воды для растений при этих условиях влажности почв объясняется тем, что почва удерживает воду с силой 15–20 атм., что значительно превышает сосущую силу растений.

Чем больше в почве органических веществ и особенно неразложившегося торфяного материала, тем выше влажность завядания (у торфа до 60–80 %).

Таким образом, недостаток воды для растений при прочих равных условиях в первую очередь будет наблюдаться на глинистых бесструктурных почвах и на почвах, содержащих большое количество грубого органического вещества.

Присутствие солей в почвах также весьма сильно понижает доступность воды для растений. величина влажности завядания значительно возрастает по мере роста их засоленности (от 24 до 42 %). Поэтому на засоленных почвах недостаток влаги для растений в засушливый период или перед поливом проявляется раньше и более резко, чем на почвах незасоленных.

Водоудерживающая способность почв определяется их влагоемкостью, отсюда следует, что влагоемкость – это количество воды, характеризующее водоудерживающую способность почвы. В зависимости от сил, удерживающих влагу в почвах, различают полную, наименьшую, капиллярную и максимальную адсорбционную влагоемкости.

Полная влагоемкость – это количество воды, удерживаемое почвой в состоянии полного насыщения, когда все поры, как капиллярные, так и некапиллярные, заполнены водой. Величина полной влагоемкости колеблется в пределах 40–50 %, опускаясь иногда до 30 % и возрастая в отдельных случаях до 80 %.

Вода в насыщенной до полной влагоемкости почве находится в сорбционной, капиллярной и гравитационной формах.

Полная влагоемкость дает возможность подсчитать то максимально возможное количество воды всех категорий, которое почва в состоянии вместить в своей толще. Иначе говоря, полная влагоемкость характеризует водовместимость почвы. Обычно полную влагоемкость рассчитывают по общей пористости почвы: $ПВ = P$, если ПВ в процентах от объема почвы, или $ПВ = P/d_v$, если ее выражают в процентах от массы абсолютно сухой почвы. Однако, вследствие набухания почвы при ее увлажнении, а также наличия защемленного воздуха полная влагоемкость на 5–10 % меньше расчетной.

Наименьшая влагоемкость, или ППВ, – это максимальное количество влаги, которое способна длительное время удерживать почва после обильного увлажнения и свободного стекания воды при условии исключения испарения и капиллярного увлажнения за счет грунтовых вод. Наименьшая влагоемкость является важнейшей характеристикой водных свойств почвы. При наименьшей влагоемкости в почве содержится максимальное количество доступной для растений влаги, т.к. 55–75 % пор почвы заполнено влагой.

Наименьшая влагоемкость зависит главным образом от гранулометрического состава, содержания гумуса и сложения почвы. Чем тяжелее почва по гранулометрическому составу, чем больше в ней гумуса, тем выше ее полевая влагоемкость; очень рыхлая и сильно плотная почвы имеют меньшую влагоемкость, чем почва средней плотности.

Знание наименьшей влагоемкости приобретает важное значение при орошении, т.к. позволяет правильно рассчитать поливную норму:

$$ОПН = 0,3 \cdot НВ \cdot 10 = \text{м}^3/\text{га}$$

$$НВ = 0,1 Нв \cdot d_v \cdot h = \text{мм}$$

В среднем наименьшая влагоемкость составляет для песчаных почв 4–9 %, для супесчаных – 10–17 %, для легко и среднесуглинистых почв – 18–30 %, для тяжелосуглинистых и глинистых почв – 23–40 %. Для черноземов Пензенской области НВ составляет 25–36 %. Исключительно высока она у торфяных почв (до 400 %). Запасы продуктивной влаги при увлажнении почвы до наименьшей влагоемкости в метровом слое на площади 1 га составляют: у песчаных почв – 700–1100 м³, у супесчаных, легко- и среднесуглинистых – 1200–1700 м³ и у тяжелосуглинистых и глинистых – 1500–2100 м³.

Капиллярная влагоемкость – это количество воды, удерживаемое почвой в капиллярно-подпертом состоянии. Капиллярная влагоемкость почвы – величина непостоянная, она зависит от того, на какой высоте над зеркалом грунтовых вод находится тот или иной слой

почвы. Чем ближе он к зеркалу грунтовых вод, тем выше и величина капиллярной влагоемкости. Величина ее зависит от общей и капиллярной пористости, а также от плотности почвы.

Максимально-адсорбционная влагоемкость – наибольшее количество прочносвязанной влаги, которое способна удержать почва. Она немного меньше величины максимальной гигроскопичности и составляет около 60–70 % от МГ.

Водопроницаемость – способность почвы воспринимать и пропускать через себя воду. В процессе водопроницаемости различают впитывание влаги и ее фильтрацию. Впитывание – это поступление воды в почву ненасыщенную влагой; фильтрация же начинается с момента, когда большая часть пор почвы данного слоя заполнена водой.

Водопроницаемость измеряется количеством влаги, поступившей в почву с ее поверхности. Водопроницаемость может играть как положительную, так и отрицательную роль. При плохой водопроницаемости влага застаивается на поверхности почвы или стекает по уклону. При очень высокой водопроницаемости влага выпадающих осадков быстро опускается за пределы корневой системы растений.

Водопроницаемость зависит от гранулометрического состава, структуры, сложения, минералогического и катионного состава почв. Лучше всего она выражена на почвах легкого гранулометрического состава, хуже – на бесструктурных суглинистых и глинистых почвах. Сильно снижают водопроницаемость плужная подошва и солонцовый горизонт. При содержании в почве значительного количества поглощенного натрия почвы быстро набухают и становятся практически непроницаемыми для воды.

В почвенной толще водопроницаемость характеризуется различной скоростью:

$$V = (Q \cdot 10)/(S \cdot t),$$

где Q – расход воды, см³,

S – площадь поперечного сечения, см²,

V – скорость впитывания и фильтрации, мм/мин,

t – время, мин.

Качинский предложил градации почв по водопроницаемости. Если почва пропускает за час более 1000 мм воды, водопроницаемость считается провальной, от 1000 до 500 мм – излишне высокой, от 500 до 100 мм – наилучшей, от 100 до 70 мм – хорошей, от 70 до 30 мм – удовлетворительной, менее 30 мм – неудовлетворительной.

Скорость фильтрации со временем снижается. Уменьшение ее зависит от гранулометрического состава, водопрочности агрегатов, плотности сложения и солонцеватости.

Водоподъемная способность – свойство почвы вызывать капиллярный подъем влаги. Водоподъемная способность определяется агрегатностью, гранулометрическим составом и сложением почвы. Благодаря капиллярным явлениям и водоподъемной способности почв грунтовые воды оказывают большое влияние на почвообразование и развитие агрономических свойств почвы.

Водоотдача – способность почвы отдавать гравитационную влагу путем стекания. Максимальная величина водоотдачи (МВО) равна разности между величинами ПВ и НВ. В различных почвах и грунтах величина МВО варьирует от 25–30 % в песчаных до 3–6 % в лессовидных и долей процента в тяжелых глинистых породах.

8.5 Водный баланс почв

Водный баланс почв характеризует приход влаги в почву и ее расход из почвы. Водный баланс – это количественное выражение водного режима почвы.

Поступление воды в почву осуществляется за счет: 1) атмосферных осадков в виде дождя и снега (в Пензенской области в основном за счет снега) (O_C); 2) конденсации парообразной влаги, содержащейся в приземном слое воздуха (B_K); 3) внутрипочвенного притока влаги за счет грунтовых вод (B_Γ) и (B_6); 4) пополнения почвы водой за счет поверхностного притока влаги ($B_{ПР}$).

Поступившая на поверхность почвы и впитавшаяся в почву влага расходуется в результате: 1) поверхностного стока и сноса снега (B_Π); 2) внутрипочвенного и грунтового стока ($B_{И}$) и (B_C); 3) испарения почвой ($E_{ИСП}$); 4) испарения растениями (E_T).

Зная приходные и расходные статьи баланса, можно легко составить уравнение баланса:

$$B_0 + O_C + B_K + B_\Gamma + B_6 + B_{ПР} = E_{ИСП} + E_T + B_{И} + B_C + B_\Pi + B_1$$

B_0 – начальный запас влаги в мм, B_1 – конечный запас влаги в мм.

Если в климате не наблюдалось существенных изменений, то запасы воды в начальный и конечный период цикла можно принять за равные величины ($B_0 = B_1$). В таких случаях водный баланс бывает равным нулю.

Для склоновых элементов рельефа $B_6 = B_C$. Содержание конденсирующейся влаги по сравнению с другими статьями настолько мало, что ее можно не учитывать. С учетом этих допущений уравнение примет следующий вид:

$$O_C + B_{\Gamma} + B_{\text{ПР}} = E_{\text{ИСП}} + E_{\text{T}} + B_{\text{И}} + B_{\text{П}}$$

Водный баланс характеризуется годовыми циклами, когда через годичный период процессы поступления и расхода влаги повторяются. Водный баланс может быть составлен применительно к разным почвенным слоям.

При составлении водного баланса и вычислении запасов воды необходимо правильно определить суммарную мощность почвенной толщи. Расчетная мощность почвогрунтов прежде всего определяется глубиной проникновения корневой системы. Корни лесных и плодовых насаждений распространяются на глубину 6–10 м, корни травянистых многолетних растений – на глубину 4–6 м, корни злаков – до 1,5–2 м.

При составлении годового водного баланса учитывают также глубину залегания грунтовых вод.

Запасы воды в отдельных генетических горизонтах, необходимые для расчета баланса, определяют по формуле:

$$B = a \cdot d_v \cdot H = \text{м}^3/\text{га}$$

Запасы воды в почве, учитываемые в течение вегетационного периода, позволяют судить об обеспеченности сельскохозяйственных растений влагой. В агрономической практике важно учитывать общий и полезный запасы воды в почве.

Общий запас воды (ОЗВ) – суммарное ее количество на заданную мощность почвы, выраженное в $\text{м}^3/\text{га}$:

$$\text{ОЗВ, м}^3/\text{га} = (a^1 \cdot d_v^1 \cdot H^1) + \dots + (a^n + d_v^n + H^n)$$

Полезный запас воды в почве – суммарное количество продуктивной, или доступной растениям, влаги в толще почвогрунта. Чтобы рассчитать ПЗВ, нужно определить ОЗВ и ЗТВ (запас труднодоступной влаги).

$$\text{ЗТВ} = (B_3^1 \cdot d_v^1 \cdot H^1) + (B_3^n + d_v^n + H^n)$$

Разность между ОЗВ и ЗТВ дает количество полезной воды в почве.

$$\text{ПЗВ} = \text{ОЗВ} - \text{ЗТВ}$$

По А.М. Шульгину оптимальный запас продуктивной влаги в метровом слое почвы в период вегетации находится в пределах от 100 до 200 мм, а в пахотном слое – от 20 до 50 мм.

8.6 Водный режим почв и пути его регулирования

Водный баланс складывается неодинаково для различных почвенно-климатических зон и отдельных участков местности. В зависимости от соотношения основных статей годового водного баланса может наблюдаться несколько типов водного режима.

Основа учения о водном режиме почв и его типах были разработаны Г.Н. Высоцким. Он установил следующие типы водного режима: 1) испарение меньше инфильтрации воды в почву – промывной тип водного режима; 2) испарение равно инфильтрации воды в почву – непромывной тип водного режима; 3) испарение больше инфильтрации воды в почву – выпотной тип водного режима; 4) периодически промывной водный режим.

А.А. Роде, развивая учение Г.Н. Высоцкого, выделил три новых типа – мерзлотный, ирригационный и десуктивно-выпотной и подразделил все типы на 16 подтипов.

Промывной тип водного режима (пермацидный) характерен для зон, где сумма годовых осадков (O_C) больше величины испаряемости. В таких условиях избыток воды будет проникать в грунтовые воды. Тогда, следовательно, поступление грунтовых вод (V_G) к поверхности будет меньше количества воды, инфильтрующейся в почвенно-грунтовую толщу.

При зависимости $V_{и} > V_G$ уравнение годового водного баланса примет следующий вид:

$$O_C + V_{ПР} > E_{исп} + E_T + V_{П}$$

Для выровненных местностей $V_{ПР}$ и $V_{П} = 0$, тогда:

$$O_C > E_{исп} + E_T; \text{ или } O_C / (E_{исп} + E_T) > 1$$

Отношение количества осадков к испаряемости называется годовым коэффициентом увлажнения ($KУ$). Для промывного водного режима $KУ > 1$. При таком водном режиме почва ежегодно промачивается до грунтовых вод. Этот тип водного режима характерен для почв таежно-лесной зоны и почв влажных субтропиков.

Непромывной, или замкнутый (импермацидный), водный режим. Почвенно-грунтовая толща никогда не промачивается до грунтовой воды. Между нижней границей промачиваемого слоя и верхней границей капиллярной каймы грунтовых вод залегает сухой слой с влажностью, близкой к влажности завядания. Этот слой Высоцкий назвал «мертвым» горизонтом.

При отсутствии поступления влаги из грунтовых вод в почву и инфильтрации вод до грунтовых $V_{и} = V_{г}$.

В таком случае уравнение годового водного баланса примет вид:

$$O_{с} + V_{пр} = E_{исп} + E_{т} + V_{п}$$

А для выровненных пространств, где $V_{пр} = V_{п}$:

$$O_{с} = E_{исп} + E_{т}$$

$$КУ = O_{с} / (E_{исп} + E_{т}) = 1$$

Из данного уравнения видно, что вся влага осадков, накопленная в почве при непромывном типе водного режима, расходуется снова в атмосферу в результате испарения и транспирации. Этот тип водного режима характерен для большинства степных почв (черноземы, каштановые, бурые, сероземы).

Периодически-промывной тип водного режима. Промывание почвы до грунтовых вод происходит периодически лишь в годы, когда сумма выпавших осадков превышает испаряемость. Грунтовые воды и капиллярная кайма обычно лежат ниже корнеобитаемого слоя. Характерен для серых лесных почв лесостепной зоны.

Выпотной тип водного режима (экссудатный). При этом водном режиме почва и растительный покров испаряют воды значительно больше, чем ее выпадает с атмосферными осадками. Разница пополняется за счет грунтовых вод, зеркало которых обычно находится в пределах почвенного профиля. Так как инфильтрующейся влаги меньше, чем воды, поступающей из грунтовых вод, $V_{г} > V_{и}$. Уравнение годового баланса в таких условиях приобретает следующий вид:

$$O_{с} + V_{пр} < E_{исп} + E_{т} + V_{п}$$

Для выровненных участков, где $V_{пр}$ и $V_{п} = 0$, уравнение может быть представлено так:

$$O_{с} / (E_{исп} + E_{т}) < 1; КУ < 1$$

Выпотной тип водного режима характерен для гидроморфных солончаков, пойменных, плавневых и некоторых других почв.

Мерзлотный тип водного режима встречается в районах распространения многолетней мерзлоты. В теплое время года под оттаившим слоем почвогрунта лежит слой многолетней мерзлоты, играющий роль водоупора. Над ним создается почвенная надмерзлотная верховодка. Почва насыщена влагой большую часть вегетационного периода.

Ирригационный тип водного режима создается в результате дополнительного увлажнения оросительными водами. Наиболее существенной особенностью этого водного режима является много-

кратное увлажнение почвы за вегетационный период, сопровождаемое сквозным или несквозным ее промачиванием.

Десуктивно-выпотной водный режим – близок к выпотному, но при этом режиме влага капиллярной каймы грунтовых вод перехватывается корнями растений и расходуется преимущественно на десукцию.

Кроме деления водных режимов на типы Роде предложил делить основные типы на ряд подтипов. Промывной делят на 7 подтипов: таежный, полуболотный, болотный, грунтово-таежный, грунтово-полуболотный, грунтово-болотный, таежный глубокопромывной; периодически-промывной – на 2 подтипа: лесостепной и степной потускулярный; непромывной – на 2 подтипа: степной с мощным гумусовым горизонтом и степной; выпотной – на 3 подтипа: лугово-степной, луговой и солончаковый.

Регулирование водного режима почв. Запасы продуктивной влаги в почве существенно изменяются в течение года и вегетационного периода, что оказывает существенное влияние на почвообразовательный процесс и урожай растений. Для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур необходимо обеспечить их всеми факторами жизни, в том числе и водой, в оптимальных количествах, для чего необходимо регулировать количество воды в почве.

Регулирование водного режима почвы осуществляется комплексом приемов, направленных на устранение неблагоприятных условий водоснабжения растений.

В районах, где наблюдается избыточное увлажнение почв, наряду с осушением используют различные агротехнические приемы. К ним относится узкозагонная вспашка вдоль склонов, грядкование, гребневание, планировка для устранения понижений. Создание мощного, хорошо окультуренного пахотного слоя и рыхление подпахотного горизонта почв тяжелого гранулометрического состава также улучшают водный режим.

В районах лесостепи, степи и полупустыни с недостаточным увлажнением почв основная задача в регулировании водного режима сводится к накоплению, сохранению и продуктивному использованию почвенной влаги. Важная роль в сохранении и правильном использовании влаги в этих зонах принадлежит системе обработки почвы и, в частности, зяблевой вспашке, чистым парам, борьбе с сорняками, лесным полосам, снегозадержанию. Зяблевая обработка обеспечивает рыхлое строение пахотного горизонта, способствует луч-

шему поглощению дождевых и талых вод, уменьшает поверхностный сток и снижает потери влаги на физическое испарение.

Запасы влаги в почве увеличивают чистые пары. В лесостепной зоне на чистых парах сохраняется продуктивной влаги на 50–100 мм больше, чем под яровыми культурами.

Такие приемы агротехники, как обработка почвы и посев поперек склона, прерывистое бороздование, лункование, устройство валиков, уменьшают поверхностный сток, увеличивают запасы продуктивной влаги в почве. Уменьшает непроизводительные потери влаги весеннее боронование полей, а также рыхление поверхностных горизонтов почвы после дождей в случае образования корки.

Одним из эффективных способов регулирования водного режима является снегозадержание.

Наиболее эффективным способом улучшения водоснабжения растений является орошение. Особо эффективен этот прием в пустынно-степной и пустынной зонах.

Вопросы для самоконтроля

1. Значение влаги в почвообразовании, жизни растений и микроорганизмов.
2. Охарактеризуйте категории, формы и виды воды в почве.
3. Укажите, с чем связана доступность растениям влаги.
4. Охарактеризуйте основные почвенно-гидрологические константы.
5. Охарактеризуйте основные водные свойства почвы.
6. Источники воды в почве и ее баланс.
7. Охарактеризуйте виды влагоемкости почвы.
8. Понятие о влажности почвы. Общий и полезный запас воды в почве.
9. Понятие о водном режиме. Типы водного режима в почвах Российской Федерации и их характеристика.
10. Основные мероприятия по регулированию водного режима почв в различных почвенно-климатических зонах.

Глава 9. Воздушные и тепловые свойства почвы

9.1 Тепловые свойства и тепловой режим почв

Под тепловым режимом почвы следует понимать совокупность явлений поступления, переноса, аккумуляции и отдачи тепла. Основным показателем теплового режима почвы является ее температура.

Тепловой режим почвы оказывает существенное влияние на почвообразовательный процесс, плодородие почвы и продуктивность растений.

Главным источником тепла в почве является лучистая энергия солнца – солнечная радиация. Небольшое количество тепла переходит в почву из глубинных слоев земли и в результате химических, биологических и радиоактивных процессов, протекающих в верхних слоях литосферы.

Лучистая энергия солнца является основным источником энергии для всех процессов, совершающихся на земной поверхности. Достигая поверхности почвы, солнечная радиация поглощается ею и превращается в тепловую энергию, а некоторая часть отражается обратно в атмосферу.

Лучистая энергия солнца, поглощаясь поверхностью почвы и превращаясь в тепловую энергию, может аккумулироваться, передвигаться от слоя к слою или излучаться с поверхности благодаря проявлению тепловых свойств почвы.

Основными тепловыми свойствами почвы являются теплопоглощительная способность, теплоемкость и теплопроводность.

Теплопоглощительная способность проявляется в поглощении почвой лучистой энергии солнца. Она обычно характеризуется величиной альбедо.

Альбедо представляет собой количество коротковолновой солнечной радиации, отраженное поверхностью почвы и выраженное в процентах от общей величины солнечной радиации, достигающей поверхности почвы.

Альбедо является важнейшей тепловой характеристикой, зависящей от цвета почвы, ее структурного состояния, влажности и выравниваемости поверхности.

Существенное влияние на теплопоглощительную способность почв оказывают количество и качество гумуса, определяющие цвет почвы, а также гранулометрический состав. Высокогумусированные почвы поглощают лучистой энергии на 10-15 % больше, чем малогумусированные, также как и глинистые по сравнению с песчаными.

На величину альбедо оказывает влияние степень увлажнения почвы. Альбедо орошаемых участков на 10-15 % ниже, чем сухих.

Теплоемкость – свойство почвы поглощать тепло. Различают удельную и объемную теплоемкость почвы.

Удельная теплоемкость – количество тепла в джоулях, затрачиваемое для нагревания одного грамма сухой почвы на 1° . Объемная теплоемкость – количество тепла в джоулях, затрачиваемое для нагревания 1 см^3 сухой почвы на 1° .

Теплоемкость зависит от минералогического и гранулометрического состава, влажности почвы и от содержания в ней гумуса.

Удельная теплоемкость для большинства почв в сухом состоянии колеблется в узких пределах от 0,7 до 0,8. С повышением влажности теплоемкость песчаных почв возрастает до 2,9, глинистых – до 3,4.

Глинистые почвы более влагоемкие и весной медленнее нагреваются. Легкие почвы прогреваются быстрее.

Теплоемкость почвы тесно связана с гидрофильностью коллоидов. При одинаковом характере увлажнения более теплоемки те почвы, в которых больше гидрофильных коллоидов.

Чем гумусированнее почва, тем она более теплоемка. Теплоемкость рыхлых почв значительно выше, чем плотных.

Теплопроводность – способность почвы проводить тепло. Она равна количеству тепла, которое проходит в 1 секунду через 1 см^2 почвы слоем 1 см при разности температур с обеих сторон слоя на 1° .

Теплопроводность почвы – способность почвы проводить тепло путем теплового взаимодействия соприкасающихся между собой твердых, жидких и газообразных частиц, а также путем испарения, перегонки и конденсации влаги внутри почвы. Количественно характеризуется коэффициентом теплопроводности.

Коэффициент теплопроводности — количество тепла, проходящего в единицу времени через две противоположные грани единицы объема, перпендикулярные к направлению теплового потока.

На величину теплопроводности влияют химический и гранулометрический состав, влажность, содержание воздуха, плотность и температура почвы.

В сухом состоянии почвы, богатые гумусом и обладающие высокой пористостью аэрации, очень плохо проводят тепло. Теплопроводность легких по гранулометрическому составу почв значительно выше, чем тяжелых. Рыхлые почвы имеют более низкий коэффициент теплопроводности, чем плотные. С уплотнением почвы ее теплопроводность значительно возрастает. Влажная почва характеризуется большей теплопроводностью, чем сухая.

Теплопроводность почвы зависит от ее температуры. С повышением температуры увеличивается теплопроводность почвенного воздуха, а, следовательно, и почвы в целом.

Тепловое лучеиспускание – это величина, измеряемая количеством тепловой энергии, которое излучает 1 см² поверхности почвы за 1 секунду. Тепловое лучеиспускание почвы зависит от ее влажности, состояния поверхности, содержания гумуса. При увеличении влажности и уменьшении в почве количества гумуса происходит усиление лучеиспускательной способности почвы, т.к. при этом возрастает ее теплопроводность. Почвы с шероховатой поверхностью излучают тепла больше, чем почвы с относительно гладкой поверхностью.

Под **тепловым режимом** почвы понимают совокупность всех явлений поступления, передвижения и отдачи тепла почвой.

Лучистая энергия поступает к поверхности почвы в течение года и суток с неодинаковой интенсивностью, поэтому различают годовой и суточный ход температуры почвы.

В умеренных широтах годовой ход температуры почвы характеризуется минимумом в январе или в феврале и максимумом в июне или июле.

Суточный ход температуры характеризуется одним максимумом (около 13 ч. местного времени) и одним минимумом (перед восходом солнца). Наибольшая амплитуда колебаний температуры в течение суток свойственна поверхностным слоям почвы, с глубиной она уменьшается.

На тепловой режим влияют климат, растительность, рельеф, снежный покров, а также гранулометрический состав, влажность и цвет почвы.

Растительный покров оказывает существенное влияние на динамику температуры в почве. Растения уменьшают суточные и сезонные колебания температуры в верхнем слое почвы.

Тепловой режим почвы зависит от рельефа местности. Экспозиция склона и его крутизна определяют разницу в количестве тепла, получаемого от солнечной радиации.

Снежный покров препятствует промерзанию почвы, уменьшает потерю тепла из нее вследствие излучения. Почвы, покрытые растительностью, промерзают меньше, чем вспаханные.

В зависимости от среднегодовой температуры и характера промерзания почвы выделяют четыре типа температурного режима почв:

мерзлотный, длительно сезоннопромерзающий, сезоннопромерзающий и непромерзающий.

1. Мерзлотный тип температурного режима характерен для местностей, где среднегодовая температура профиля почвы отрицательная.

2. Длительно сезоннопромерзающий тип температурного режима проявляется на территории, где преобладает положительная среднегодовая температура почвенного профиля. Глубина проникновения отрицательных температур не менее 1 м. Длительность промерзания не менее 5 месяцев.

3. Сезоннопромерзающий тип температурного режима отличается положительной среднегодовой температурой почвенного профиля. Промерзание не более 5 месяцев. Подстилающие породы не промерзают.

4. Непромерзающий тип температурного режима наблюдается в местностях, где промерзание профиля почв и морозность не проявляются.

Для оптимального развития растений требуется неодинаковое количество тепла как в отдельные фазы развития, так и в целом за вегетационный период. Для растений непригодны как слишком низкие, так и слишком высокие температуры.

Температура почвы оказывает большое влияние на развитие микроорганизмов и вызываемые ими биохимические процессы. Она играет важную роль в перезимовке культурных растений.

Все приемы активного влияния на тепловой режим почв делятся на агротехнические, агрометеорологические и агрометеорологические.

1. Агротехнические приемы наиболее доступны для активного воздействия на тепловой баланс почвы. К ним относятся прикатывание, гребневание, мульчирование, оставление стерни.

2. Агрометеорологические приемы оказывают на тепловой режим наиболее устойчивое влияние. К ним относятся орошение, осушение, посадка лесных полос, мероприятия по борьбе с засухой.

3. К агрометеорологическим приемам относятся мероприятия по снижению излучения тепла из почвы, борьба с заморозками.

9.2 Воздушные свойства и воздушный режим почв

Почвенный воздух – важнейшая составная часть почвы, один из факторов жизни растений. Он является источником кислорода для дыхания корней растений, аэробных микроорганизмов и почвенной фауны.

Кислород почвенного воздуха активно участвует в химических реакциях окисления минеральных и органических веществ.

Участие кислорода в окислении органического вещества почвы обуславливает круговорот углерода, азота, фосфора, серы и других биологически важных химических элементов.

Различная обеспеченность почв кислородом существенно отражается на направлении почвообразовательного процесса, а в сочетании с другими факторами обуславливает различие формирующихся почв по ряду признаков и свойств, а также уровню плодородия.

Почвенный воздух является источником углекислого газа, используемого растениями в процессе фотосинтеза. По подсчетам Макарова, от 38 до 72 % всего количества углекислого газа, пошедшего на создание урожая, доставляется растениям из почвы.

Первые сведения о составе почвенного воздуха были получены еще в 1824 г. известным французским ученым Ж. Буссенго. Важные работы по изучению почвенного воздуха были выполнены в первой четверти XX столетия А.Г. Дояренко, Б. Кином, Э. Расселом и др.

Почвенный воздух отличается от атмосферного повышенным содержанием углекислого газа и несколько меньшим содержанием кислорода. Почвенный воздух болотных и заболоченных почв содержит также заметное количество аммиака, метана, водорода, сероводорода.

Исследования показывают, что в составе почвенного воздуха постоянно присутствуют в очень большом количестве летучие органические соединения, образующиеся в процессе жизнедеятельности почвенных микроорганизмов. Эти вещества могут поглощаться корнями, способствуя росту растений и повышению их жизнедеятельности.

В почвенном воздухе может изменяться содержание азота. Количество азота может уменьшаться в результате связывания его свободноживущими азотфиксирующими микроорганизмами и клубеньковыми бактериями, а увеличиваться – вследствие распада белков и денитрификации азотсодержащих веществ под действием микроорганизмов.

Из всех газов почвенного воздуха наиболее динамичны кислород и углекислый газ. Им принадлежит очень важная роль в жизни почвы и населяющих ее организмов.

Содержание кислорода и углекислого газа в почвенном воздухе может колебаться в очень широких пределах. В верхних хорошо аэрируемых горизонтах почв содержание кислорода приближается к его содержанию в атмосферном воздухе, а в почвах с затрудненным газообменом может снижаться до десятых и сотых долей процента. Концентрация углекислого газа в почвах с плохим газообменом мо-

жет увеличиваться в сотни раз по сравнению с его содержанием в атмосфере и может достигать 19–20 % и больше.

Различная концентрация кислорода и углекислого газа в почвенном воздухе определяется двумя группами противоположно направленных процессов. С одной стороны – интенсивностью потребления кислорода и продуцирования углекислого газа, а с другой стороны – скоростью газообмена между почвенным и атмосферным воздухом.

Почвы, особенно их верхние горизонты, населены огромным количеством организмов, которые в процессе дыхания непрерывно потребляют кислород и выделяют углекислый газ. Энергия, образующаяся при этом, используется для биологических синтезов и других проявлений жизни.

Живым организмам кислород также необходим, как вода и питательные вещества. Поэтому жизнедеятельность почвенных организмов сопровождается расходом огромного количества кислорода и продуцированием столь же большого количества углекислого газа.

Основными потребителями кислорода в почве являются корни растений, микроорганизмы и животные, и лишь незначительная часть его расходуется на чисто химические процессы окисления.

Количество кислорода, потребляемого растениями, зависит от биологических особенностей организма, возраста, условий среды и других причин. При этом отдельные группы организмов по количеству потребляемого ими в процессе дыхания кислорода могут сильно отличаться друг от друга.

Пахотные горизонты основных типов почв в зависимости от содержания гумуса, условий аэрации и увлажнения поглощают при температуре 20°C от 0,5 до 3 мл кислорода на 1 кг абсолютно сухой почвы за час.

Основная масса кислорода в почве расходуется в процессе дыхания. В оптимальных условиях аэрации дыхательный коэффициент (ДК), т.е. отношение выделившегося углекислого газа к поглощенному кислороду, близок к единице или равен ей, поскольку количество выделившегося углекислого газа эквивалентно количеству поглощенного за это время кислорода. Следовательно, по количеству выделившегося углекислого газа можно судить о количестве поглощенного кислорода.

Огромное влияние на дыхательный коэффициент оказывает содержание в почве кислорода, при недостатке которого данный коэффициент всегда больше единицы.

Сильное влияние на поглощение кислорода и выделение углекислого газа почвой оказывает тепловой режим. При увеличении температуры с 5 до 30°C интенсивность поглощения кислорода и выделения углекислого газа возрастает в 10 раз.

Процессы потребления кислорода и продуцирования углекислого газа сильно подвержены сезонным колебаниям. Летом почва поглощает кислорода и выделяет углекислого газа в несколько раз больше, чем ранней весной и поздней осенью. Самый высокий дыхательный коэффициент наблюдается в те месяцы, когда почва имеет самую низкую температуру.

К воздушным свойствам почвы относятся воздухоемкость и воздухопроницаемость.

Воздухоемкость. Та часть объема почвы, которая занята воздухом при данной влажности, называется воздухоемкостью.

Почвенный воздух заполняет все поры почвы, не занятые водой, и, следовательно, количество его зависит от пористости и влажности почвы. Чем выше пористость и меньше влажность, тем больше в почве воздуха.

Суммарная величина пористости в минеральных почвах варьирует от 25 до 80 %. Поэтому воздухоемкость сухих почв колеблется в пределах 25–80 %. Однако в почве всегда находится влага и, следовательно, воздухоемкость ее будет значительно ниже. Воздухоемкость обеспечивает нормальную аэрацию почв, если ее величина превышает 15 % от объема почвы.

Воздухопроницаемость. Очень важным свойством почвы является ее воздухопроницаемость, т.е. способность почвы пропускать через себя воздух. Воздухопроницаемость является непременным условием газообмена между почвой и атмосферным воздухом. Чем она полнее выражена, тем лучше происходит газообмен, тем больше в почвенном воздухе содержится кислорода и меньше углекислого газа. Воздух в почве передвигается по порам незаполненным водой. Чем крупнее поры аэрации, тем лучше выражена воздухопроницаемость. На структурных почвах создаются наиболее благоприятные условия для воздухопроницаемости.

Процессы обмена почвенного воздуха с атмосферным называют аэрацией или газообменом. Газообмен осуществляется через систему воздухоносных пор почвы, сообщающихся между собой и с атмосферой. К факторам, вызывающим газообмен, относятся: 1. диффузия, 2. изменение температуры почвы, 3. изменение баромет-

рического давления, 4. изменение количества влаги в почве под действием осадков, орошения и испарения, 5. влияние ветра, 6. изменение уровня грунтовых вод или верховодки.

Диффузия – процесс перемещения газов в соответствии с их парциальным давлением. Поскольку в почвенном воздухе концентрация кислорода всегда меньше, а углекислого газа всегда больше, чем в атмосфере, то под влиянием диффузии создаются условия для непрерывного поступления кислорода в почву и выделения углекислого газа в атмосферу.

Изменение температуры и барометрического давления также обуславливает газообмен, т.к. при этом происходит сжатие или расширение почвенного воздуха. По расчетам Поясова во время дневного нагревания почвы из нее выталкивается 1,4 % почвенного воздуха, что говорит о малой эффективности газообмена.

Поступление влаги в почву с осадками или при орошении вызывает сжатие почвенного воздуха, его выталкивание наружу и засасывание атмосферного воздуха. Выпадающие дожди по подсчетам Роммеля, могут обеспечить лишь 6–8 % всего газообмена. Газообмен происходит и при испарении воды из почвы.

Влияние ветра на газообмен обычно невелико и зависит от скорости ветра, от макро- и микрорельефа, от структуры почвы и характера ее обработки. Наибольший газообмен под влиянием ветра проявляется на пористых почвах без растительности.

Из всех рассмотренных факторов главным и непрерывно действующим фактором поступления кислорода в почву и удаления углекислого газа из нее следует признать диффузию.

Содержание кислорода и углекислого газа в почвенном воздухе непостоянно и зависит от типа почвы, ее свойств, от времени года и погодных условий и от вида угодий. На пашне состав воздуха зависит от возделываемой культуры и применяемой агротехники.

В почвах нормального увлажнения содержание кислорода, как правило, уменьшается от верхних горизонтов к нижним, количество углекислого газа, наоборот, в этом направлении увеличивается.

Содержание кислорода и углекислого газа в почвенном воздухе тесно связано с наличием растительности и ее составом. На паровом поле содержится меньше углекислого газа и больше кислорода, чем на засеянном.

На состав почвенного воздуха большое влияние оказывают влага и температура воздуха. При оптимальной влажности с повыше-

ем температуры содержание углекислого газа в почвенном воздухе увеличивается, а кислорода – уменьшается. В летний период при высокой температуре и низкой влажности наблюдаются самые низкие концентрации углекислого газа и самые высокие – кислорода.

Кислород и углекислый газ почвенного воздуха оказывают разностороннее воздействие на свойства почвы и прямо или косвенно влияют на продуктивность растений.

Прямое влияние кислорода на жизнь растений проявляется в актах дыхания. При отсутствии свободного кислорода в почве прекращается развитие растений. При наличии 0,5–1 % кислорода многие растения могут развиваться, но оптимальные условия создаются при содержании кислорода в почвенном воздухе около 20 %.

При недостатке кислорода в почве создается низкий окислительно-восстановительный потенциал, в анаэробных условиях происходит образование токсичных для растений соединений, уменьшается содержание элементов питания, ухудшается физика почвы. В условиях хорошей обеспеченности почвы кислородом развиваются аэробные процессы, создаются оптимальные условия для развития растений.

Аэробные процессы в гумусовом горизонте почвы при оптимальной температуре и влажности начинают развиваться при наличии в газовой фазе кислорода более 2,5–5 %, в противном случае протекают анаэробные процессы.

Высокая концентрация углекислого газа в почвенном воздухе может оказать отрицательное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. При оптимальном содержании кислорода вредное действие углекислого газа проявляется только при высокой его концентрации.

Углекислый газ потребляется растениями в процессе фотосинтеза. Углекислый газ играет большую роль в химическом выветривании минералов. Благодаря наличию углекислого газа в почве повышается растворимость труднорастворимых удобрений.

Регулировать воздушный режим почв можно с помощью агротехнических и мелиоративных приемов. Большое значение имеют такие мероприятия по обеспечению нормального газообмена, как разрушение почвенной корки и поддержание поверхности почвы в рыхлом состоянии, а также приемы обработки почвы, направленные на увеличение некапиллярной пористости, повышающей воздухопроницаемость почвы, и др.

Улучшение воздушного режима особенно необходимо там, где распространены почвы с избыточным увлажнением. Воздушный режим этих почв регулируют с помощью осушения.

Вопросы для самоконтроля

1. Источники поступления тепла в почву.
2. Охарактеризуйте основные тепловые свойства почвы и факторы их определяющие.
3. Какие почвы называют теплыми, а какие холодными?
4. Тепловой режим почв и мероприятия по его регулированию.
5. Значение почвенного воздуха для жизни растений, почвенной фауны и микроорганизмов.
6. Чем отличается состав почвенного воздуха от атмосферного?
7. Основные воздушные свойства почвы.
8. Что такое аэрация почвы? От каких факторов она зависит?
9. Понятие о воздушном режиме почв и способы его регулирования.
10. Аэробные и анаэробные процессы в почве. Их роль в плодородии почв и жизни растений.

Глава 10. Плодородие почв

Плодородие – это способность почв обеспечивать рост и развитие растений. Оно является главным функциональным свойством почвы, которое обуславливается составом, свойствами и режимами почв, рассмотренными в предыдущих главах. Измеряется плодородие почв продуктивностью фитоценозов и урожайностью сельскохозяйственных культур. Однако продуктивность и урожайность зависят не только от почвенного плодородия, но и от других факторов жизни растений, которые можно разделить на космические (свет и тепло), атмосферные (количество и режим атмосферных осадков, перераспределение тепла, влажность воздуха, состав почвенного воздуха), литосферные (рельеф, грунтовые воды, почвообразующие породы), биосферные (фитоценоз, взаимоотношения в биоценозах) и антропогенные. Все перечисленные факторы влияют на растение непосредственно (интенсивность фотосинтеза, участие в питании, обеспечении влагой и др.) и через свойства почв и их плодородие, которое формируется под воздействием этих факторов. Продуктивность фи-

тоценозов и урожайность культур могут быть низкими и высокими, соответственно и плодородие может быть низким и высоким, но прямой зависимости между ними нет в связи с действием других факторов на растение. Например, на очень плодородных почвах – черноземах – в засушливые годы может быть очень низкий урожай. В этом случае проявляется действие погодного фактора. При анализе урожайности и продуктивности необходим комплексный подход с учетом всех факторов жизни растения.

10.1 Виды плодородия

Различают следующие виды плодородия: естественное (природное), искусственное, потенциальное, эффективное и экономическое.

Естественное (природное) плодородие – это плодородие, которым обладает почва (ландшафт) в естественном состоянии. Оно характеризуется продуктивностью естественных фитоценозов.

Искусственное плодородие (естественно-антропогенное, по В.Д. Мухе) – плодородие, которым обладает почва (агроландшафт) в результате хозяйственной деятельности человека. По многим показателям оно наследует естественное. В чистом виде – характерно для тепличных грунтов, рекультивированных (насыпных) почв.

Потенциальное плодородие – способность почв (ландшафтов и агроландшафтов) обеспечивать определенный урожай или продуктивность естественных ценозов. Эта способность не всегда реализуется, что может быть связано с погодными условиями, хозяйственной деятельностью. Характеризуется потенциальное плодородие составом, свойствами и режимами почв. Например, высоким потенциальным плодородием обладают черноземные почвы, низким – подзолистые, однако в засушливые годы урожайность культур на черноземах может быть ниже, чем на подзолистых почвах.

Эффективное плодородие – часть потенциального, реализуемая в урожае сельскохозяйственных культур при определенных климатических (погодных) и агротехнологических условиях. Эффективное плодородие измеряется урожаем и зависит как от свойств почв, ландшафта, так и от хозяйственной деятельности человека, вида и сорта выращиваемых культур.

Экономическое плодородие – это эффективное плодородие, измеряемое в экономических показателях, учитывающих стоимость

урожая и затраты на его получение.

10.2 Относительный характер плодородия

Относительное плодородие – это плодородие почвы (ландшафта) по отношению к определенному виду растений, растительной ассоциации или группе культур. Требования отдельных видов или групп культур к почвенным условиям могут существенно различаться. Свойства почв, благоприятные для одних растений, могут лимитировать урожайность других. Например, мох сфагнум прекрасно себя чувствует на верховых болотных почвах с сильнокислой реакцией среды и высокой влажностью, но его нельзя вырастить на почвах с нейтральной или щелочной реакцией среды и с нормальными для большинства культур условиями увлажнения.

В настоящее время все сельскохозяйственные культуры по отношению к условиям питания разделены на три группы:

- 1) культуры невысокого выноса питательных веществ: зерновые, плодовые;
- 2) культуры повышенного выноса: зернобобовые, корнеплоды, картофель, саженцы плодовых;
- 3) культуры большого выноса: овощные, некоторые технические культуры, чай, цитрусовые, виноград.

Соответственно их требованиям к условиям питания дифференцированы группировки почв по содержанию элементов питания. Известно отношение многих групп культурных растений к реакции среды, окислительно-восстановительным условиям, содержанию водорастворимых солей, повышенной плотности и др. Внутри каждой группы сельскохозяйственных культур (зерновые, овощные, плодовые) также существуют различия отдельных культур в требованиях к почвенным условиям. Например, из зерновых культур озимая пшеница характеризуется высокой требовательностью к почвенным условиям, а овес – низкой; из овощных, соответственно – огурцы, томаты и редька, редис. Для большинства пропашных культур оптимальной является нейтральная и близкая к нейтральной реакция среды, а для картофеля – слабокислая. Это создает определенные сложности в регулировании почвенного плодородия, поскольку, как правило, культуры выращиваются в условиях севооборотов, и почвы каждого поля севооборота должны отвечать потребностям всех культур севооборота. Оптимальное сочетание требований культур и осо-

бенностей почвенных условий лучше всего может реализоваться в адаптивно-ландшафтных системах земледелия, в которых на первое место ставится задача не изменения свойств почв в соответствии с требованиями культур, а подбор культур для определенных почвенных условий. В качестве примера можно привести многовековой положительный опыт выбора участков под плодовые насаждения, чайные плантации, виноградники, сенокосы и пастбища и др.

10.3 Оптимальные параметры состава, свойств и режимов почв

Оптимальные параметры – это сочетание количественных и качественных показателей состава, свойств и режимов почвы, при котором могут быть максимально использованы все факторы жизни растений и наиболее полно реализованы возможности выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Теоретической основой оптимизации свойств и режимов почв являются законы и экологические принципы земледелия, сформулированные в трудах Ю. Либиха, Г. Гельригеля, Э. Вольни, К.А. Тимирязева, В.Р. Вильямса, Э.А. Митчерлиха и др.

Закон незаменимости факторов жизни растений. Отсутствие одного из факторов (свет, вода, тепло, питание и др.) приостанавливает рост и развитие организма. Ни один из факторов жизни растений не может быть заменен другим.

Закон минимума, оптимума и максимума. Зона оптимума фактора жизни растений занимает определенный интервал, в границах которого рост и развитие растений, при обеспеченности их другими факторами, будут наиболее активными.

Закон совокупного действия и оптимального сочетания факторов. Изменение одного из факторов жизни растений влечет за собой изменение действия других. Наибольшая эффективность действия – при оптимальном сочетании факторов.

Закон лимитирующего фактора. Недостаток одного фактора снижает положительное влияние всех других. Выявление и устранение лимитирующего фактора дает необходимый и наибольший эффект.

Закон соответствия (адекватности) культуры среде произрастания. Условия местообитания растений должны соответствовать биологическим требованиям растений.

Закон возврата. Вынос элементов питания с урожаем, а также другие потери веществ, связанные с деятельностью человека (эрозион-

ные, усиление растворимости и вымывания и др.), приводят к снижению уровня плодородия и должны устраняться внесением соответствующих удобрений и другими агротехническими и мелиоративными приемами.

Кроме перечисленных законов существует ряд экологических принципов, которыми руководствуется научное земледелие: плодосмен, уничтожение и подавление конкурентов (сорных растений) возделываемых культур, защита сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней, сохранение и восстановление структуры почвы и др., направленные на оптимизацию свойств почв и условий роста и развития растений, реализующихся в урожае.

Как уже отмечалось, многие оптимальные параметры могут различаться в зависимости от требований культуры или группы культур. Очевидна возможность различий оптимальных параметров для почв отдельных природных зон и даже элементов ландшафта в связи с разными климатическими, погодными и другими условиями. Например, известно, что в условиях южной тайги оптимальными для большинства культур являются легко- и среднесуглинистые почвы, а в лесостепи – глинистые. Очевидна необходимость дифференциации оптимальных параметров для почв разного гранулометрического состава и с разным содержанием гумуса.

Тем не менее, большинство культур, возделываемых человеком, обладает многими общими требованиями к почвенным условиям, что дает возможность определять диапазон оптимальных параметров свойств почв для преобладающего числа культур. Это можно объяснить тем, что основная часть урожая предназначена для питания человека и животных, и многовековой отбор культурных растений привел к общности их требований к почвенным условиям. Нахождение оптимальных параметров состава, свойств и режимов почв для отдельных групп и видов культур является одной из главных задач современного агрономического почвоведения.

10.4 Факторы, лимитирующие плодородие почв

К факторам, лимитирующим плодородие почв, относятся показатели состава, свойств и режимов почв, снижающие урожай культурных растений и биопродуктивность естественных фитоценозов. В первом приближении их можно обозначить как отклонения от оптимальных показателей. Степень отклонения характеризует уровень лимитирующего фактора и степень снижения урожая. Теоретической

основой исследований факторов, лимитирующих почвенное плодородие, являются законы лимитирующего фактора и совокупного действия и оптимального сочетания факторов жизни растений.

Следует различать общепланетарные лимитирующие факторы, характерные для почв всех природных зон, внутризональные (региональные), характерные для определенных зон и регионов, и местные, характерные для небольших территорий.

К общепланетарным можно отнести: недостаточную обеспеченность элементами питания, повышенную плотность, неудовлетворительную структуру, пониженное содержание легкоразлагаемого органического вещества.

К внутризональным (региональным) – повышенную кислотность, повышенную щелочность, недостаток и избыток влаги, эродированность и дефлированность почв, каменистость, засоленность, солонцеватость и др.

К местным факторам, лимитирующим почвенное плодородие, можно отнести локальное загрязнение почв радионуклидами и тяжелыми металлами, нефтепродуктами, нарушение почвенного покрова горными выработками и др.

Для ряда свойств почв и режимов определены критические уровни показателей, при которых резко ухудшаются другие агрономически важные свойства и режимы почв и резко снижается урожай растений или его качество.

В почвах с низким естественным плодородием выделяют освоенные, окультуренные и культурные разности. Освоенные почвы формируются в условиях низкой агротехники, при нерегулярном внесении невысоких доз органических и минеральных удобрений. Окультуренные и культурные – формируются при высокой агротехнике, регулярном внесении органических и минеральных удобрений и проведении необходимых мелиоративных мероприятий (осушение, орошение, известкование, внесение высоких доз торфа, пескование глинистых почв, глинование – песчаных и др.). В результате мероприятий, направленных на устранение лимитирующих факторов, плодородие окультуренных почв существенно выше по сравнению с освоенными аналогами.

Процесс противоположный окультуриванию предложено называть выпашиванием. Выпашивание – снижение уровня плодородия пахотных почв, ухудшение агрономических свойств (снижение содержания гумуса, обесструктуривание, переуплотнение, почвоутомление)

в результате использования их при низком уровне поступления источников гумуса (органических удобрений и послеуборочных остатков) в течение ряда лет. В настоящее время ведутся научные исследования по количественной оценке степени выпаханности. Выпаханными могут быть как освоенные, так и в разной степени окультуренные почвы. В выпаханных почвах наиболее часто проявляется почвоутомление и фитотоксичность почв, резко снижающие урожай растений.

Почвоутомление – многофакторное явление, проявляющееся в агроценозах, особенно в условиях монокультуры. А.М. Гродзинский (1965), В.Т. Лобков (1964) выделяют следующие, наиболее существенные причины почвоутомления:

- односторонний вынос питательных элементов, нарушение сбалансированного питания растений;
- изменение физико-химических свойств почв, сдвиг pH;
- ухудшение структуры и водно-физических свойств почв;
- нарушение биологического режима, развитие патогенной микрофлоры (грибов *Fusarium*, *Penicillium* и др., бактерий *Pseudomonas*, некоторых актиномицетов);
- накопление фитотоксичных веществ (колинов) – производных фенолов, хинонов и нафтизина, обуславливающих токсичность почв;
- размножение вредителей и злостных сорняков.

Почвоутомление рассматривается как результат нарушения экологического равновесия в системе почва-растение вследствие одностороннего воздействия на почву культурных растений.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое плодородие почв?
2. Охарактеризуйте виды плодородия почв.
3. Перечислите законы и экологические принципы земледелия.
4. Что такое почвоутомление?
5. Интенсификация сельского хозяйства и ее значение в повышении плодородия почвы.
6. Основные показатели плодородия почв. Понятие об окультуренности почв. Приемы окультуривания и показатели степени окультуренности почв.

Перечень вопросов для выполнения контрольной работы

1. Почвоведение – как наука о почвах. Задачи почвоведения в развитии современного сельскохозяйственного производства Российской Федерации.
2. Понятие о почве и плодородии. Виды плодородия.
3. Основатели науки о почве, их труды и значение в развитии почвоведения.
4. Понятие о почве и плодородии, создание культурных почв. Роль почвоведения в развитии естественноисторических наук.
5. Понятие о почве и ее плодородии. Значение производственной деятельности человека в повышении плодородия почв.
6. Образование почвы. Сущность процесса почвообразования.
7. Роль русских и советских ученых в создании и развитии учения о почве.
8. Создание генетического почвоведения в России (В.В. Докучаев, Н.М. Сибирцев, К.Д. Глинка, В.Р. Вильямс) и его развитие в советский период.
9. Развитие агрономического почвоведения (П.А. Костычев, В.Р. Вильямс, К.К. Гедройц, Д.Н. Прянишников, А.Н. Соколовский). Роль производственной деятельности человека в повышении плодородия почв.
10. Почва как природное тело, основное средство сельскохозяйственного производства и продукт труда. История почвоведения как науки.
11. Роль русских, советских и российских ученых в создании и развитии почвоведения. Роль производственной деятельности человека в создании окультуренных почв.
12. Развитие почвоведения в России. Ведущее значение русского, советского и российского почвоведения в развитии мировой науки о почве.
13. Современные ученые-почвоведы. Их труды, значение в развитии науки о сельскохозяйственном производстве.
14. Понятие о почве и ее плодородии. Роль производственной деятельности человека в повышении плодородия почв.
15. Что такое выветривание горных пород и минералов? Охарактеризуйте физическое, химическое и биологическое выветривание горных пород и минералов.
16. В чем состоит сущность процесса почвообразования?

17. Охарактеризуйте большой геологический и малый биологический круговороты веществ в природе, их взаимосвязь.

18. Охарактеризуйте роль геологического и биологического круговоротов веществ в почвообразовании.

19. Как вы представляете схему почвообразовательного процесса?

20. Образование и эволюция почв.

21. Влияние гранулометрического, минералогического и химического составов почвообразующих пород на свойства почвы.

22. Основные типы почвообразующих пород на территории РФ. Влияние почвообразующих пород на свойства почвы.

23. Первичные и вторичные минералы, их роль в генезисе и плодородии почв.

24. Какую роль играют первичные и вторичные минералы в почвах и рыхлых породах? Строение, состав и свойства глинистых минералов.

25. Гранулометрический состав почв и пород, его влияние на агрономические свойства почвы.

26. Классификация почв по гранулометрическому составу (Н.А. Качинский). Минералогический, химический состав и физические свойства механических элементов.

27. Гранулометрический состав, его влияние на водно-воздушные и тепловые свойства почвы.

28. Формы соединений главнейших элементов почвы. Содержание химических элементов в почвах и породах.

29. Большой геологический и малый биологически круговорот веществ в природе. Аккумуляция биогенных элементов, в почве.

30. Назовите основные группы почвенных, микроорганизмов и охарактеризуйте их значение в почвообразовании.

31. Основные группы почвенной фауны, и их роль в почвообразовании.

32. Роль зеленых растений и микроорганизмов в процессе почвообразования. Сущность процесса почвообразования.

33. Источники органического вещества в почве. Состав и количество, органических остатков. Влияние состава остатков на образование гумуса.

34. Превращение растительных остатков в почве.

35. Влияние условий почвообразования на характер и скорость гумусообразования.

36. Краткий обзор развития учения о гумусе (П. А. Костычев, В.Р. Вильямс, С.П. Кравков, И.В. Тюрин, С. Ваксман и др.).

37. Современное представление о процессе образования гумусовых веществ в почве. Пути регулирования количества и состава гумуса в почвах.

38. Состав гумуса почвы. Роль гумуса в генезисе и плодородии почв.

39. Состав гумуса и особенности гумусообразования в различных почвах.

40. Состав и свойства гумусовых веществ и их взаимодействие с минеральной частью почвы.

41. Состав гумуса и его содержание в дерново-подзолистых, серых лесных, черноземных и каштановых почвах.

42. Гуминовые кислоты и фульвокислоты (элементарный состав, строение и свойства). Их роль в процессах почвообразования.

43. Формирование почвенного профиля, его строение и морфологические признаки почв.

44. Охарактеризуйте морфологические признаки почв, опишите профиль почвы своего хозяйства или района.

45. Понятие о поглотительной способности почвы. Основные этапы развития учения о поглотительной способности почв (К.К. Гедройц, А.П. Соколовский, Г. Вигнер и др.).

46. Охарактеризуйте и приведите примеры видов поглотительной способности почвы.

47. Биологическая поглотительная способность почвы и ее значение в плодородии и применении удобрений.

48. Механическая поглотительная способность. Ее значение в плодородии и применении удобрений.

49. Химическая поглотительная способность. Ее значение в плодородии и применении удобрений.

50. Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность почвы, ее закономерности.

51. Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность и ее значение в применении удобрений и мелиорации почв.

52. Физическая поглотительная способность почвы. Ее значение в плодородии почв и применении удобрений.

53. Назовите виды поглотительной способности почвы по К.К. Гедройцу и охарактеризуйте роль биологического поглощения в концентрации зольной пищи растений и азота.

54. Значение различных видов поглотительной способности в плодородии почв.

55. Обменные катионы и влияние их на агрономические свойства почв. Приведите примеры.

56. Состав обменных катионов в дерново-подзолистых почвах, черноземах и солонцах и их влияние на свойства почв.

57. Понятие о емкости катионного обмена и насыщенности почв основаниями. Почвы насыщенные и ненасыщенные основаниями. Приведите примеры.

58. Реакция почвы и мероприятия по ее регулированию.

59. Кислая реакция почвы, ее происхождение. Виды кислотности. Мероприятия по регулированию кислой реакции почв.

60. Мероприятия по регулированию состава обменных катионов и реакции почвы.

61. Понятие о почвенном поглощающем комплексе. Состав обменных катионов основных типов почв.

62. Кислая реакция почвы, ее происхождение. Виды кислотности почвы. Мероприятия по регулированию кислой реакции почв.

50. Окислительно-восстановительные свойства почвы.

51. Щелочность почвы, ее происхождение и виды. Мероприятия по регулированию щелочной реакции почвы.

63. Буферность почвы.

64. Понятие о структурности и структуре почвы. Виды структуры и ее основные показатели (форма, размеры, водопрочность, пористость).

65. Агрономическое значение структуры. Зависимость образования структуры от гранулометрического состава, содержания гумуса и состава обменных оснований.

66. Структура почвы и ее значение. Причины утраты структурного состояния, способы восстановления структурности почвы.

67. Охарактеризуйте основные физические свойства почвы (плотность твердой фазы, плотность сложения почвы, пористость и ее виды) и их значение в плодородии почвы.

68. Влияние плотности сложения почвы, пористости и пористости аэрации на развитие сельскохозяйственных растений и плодородие почв.

69. Физико-механические свойства почвы. Мероприятия по улучшению физических и физико-механических свойств почвы.

70. Формы воды в почве. Законы ее передвижения и доступность различных форм почвенной влаги сельскохозяйственным растениям;

71. Охарактеризуйте основные водные свойства почвы.

72. Источники воды в почве и ее баланс. Основные мероприятия по регулированию водного режима почв.

73. Понятие о водном режиме. Типы водного режима в почвах РФ и их характеристика.

74. Грунтовые воды и их влияние на почвообразование и агрономические свойства почв.

75. Типы водного режима в почвах и основные мероприятия по регулированию водного режима.

76. Охарактеризуйте виды влагоемкости почвы.

77. Почвенный воздух, его состав и динамика. Значение почвенного воздуха и аэрации для почвенных процессов, жизни растений и микроорганизмов.

78. Охарактеризуйте воздушные свойства почвы. Воздухообмен, газообмен и факторы, их определяющие.

79. Понятие о воздушном режиме почв и способы его регулирования.

80. Тепловые свойства и тепловой режим почв. Роль тепла для биологических и физико-химических процессов в почве.

81. Охарактеризуйте тепловые свойства почвы, источники тепла и факторы, влияющие на тепловой режим почв.

82. Почвенный раствор (состав, концентрация, реакция). Значение почвенного раствора в плодородии почвы и питании растений.

83. Значение почвенного раствора в почвообразовании, плодородии почвы и питании растений.

84. Состав, концентрация и реакция почвенного раствора в дерново-подзолистых почвах, черноземах и солончаках.

85. Плодородие почвы. Охарактеризуйте основные элементы и условия плодородия. Виды плодородия.

86. Преобразование естественного плодородия в процессе производственной деятельности человека.

87. Виды плодородия. Влияние производственной деятельности человека на процессы почвообразования и окультуривания почв.

88. Основные показатели плодородия почв. Понятие об окультуривании почв. Приемы окультуривания и показатели степени окультуренности почв.

89. Перечислите законы и экологические принципы земледелия. Что такое почвоутомление?

90. Интенсификация сельского хозяйства и ее значение в повышении плодородия почвы.

Словарь терминов (глоссарий)

Абсолютный возраст почв – время, прошедшее с начала формирования почвы до настоящего момента.

Автотрофы – микроорганизмы, источником углерода для которых является углекислота.

Автоморфные почвы – формируются на ровных поверхностях и склонах в условиях свободного стока атмосферных осадков и хорошей водопроницаемости почвенного профиля и почвообразующих пород, при глубоком (более 6 м) уровне залегания грунтовых вод.

Агрегат водопропрочный – полностью или частично сохраняющийся в неподвижной или проточной воде.

Агрегация – процесс образования агрегатов под влиянием различных естественных почвенных процессов.

Адгезия – образование на поверхности твердого или жидкого тела тонкого слоя соприкасающихся с ней газа или жидкости.

Адгезия вызывается силами молекулярного притяжения.

Амфолитоиды почв – почвенные коллоиды, способные менять заряд и проявлять либо ацитоидные, либо базоидные свойства, в зависимости от реакции среды.

Ацидоиды почвы – отрицательно заряженные коллоиды (многие глинистые минералы, кремнекислота, гуминовые кислоты).

Аэрация почвы – поступление воздуха, особенно кислорода, из атмосферы в почву. Термин часто употребляется неправильно, для обозначения доли объема почвы, занятой воздухом (т.е. воздухоудержания).

Аэробы – организмы, для развития которых необходимо присутствие свободного кислорода.

Базоиды почвы – положительно заряженные коллоиды почвы (например, гидраты окислов железа, алюминия). Способны менять заряд с изменением кислотности среды и при поглощении анионов.

Биогенные отложения – образовались из скоплений остатков растений и животных.

Буферность почвы – способность жидкой и твердой фаз почвы противостоять изменению реакции среды.

Вещества гумусовые специфические – органические вещества, входящие в состав гумуса: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин.

Вещества зольные – элементы питания растений, которые остаются в золе после сжигания органической части растения.

Вещество органическое почв – совокупность всех органических веществ, входящих в состав твердой, жидкой и газовой фаз почвы.

Влага продуктивная – часть почвенной влаги, при поглощении которой растения не только поддерживают свою жизнедеятельность, но и синтезируют органическое вещество.

Влагоемкость почвы наименьшая – влагоемкость, соответствующая влаге капиллярной подвешенной.

Влагоемкость почвы капиллярная – наибольшее количество капиллярно-подпертой воды, которое может удерживаться в слое почвы, находящемся в пределах капиллярной каймы.

Влагоемкость почвы полная – содержание влаги в почве при условии заполнения всех пор водой.

Влажность разрыва капилляров – характеризует запасы воды в почве, соответствующие разрыву сплошности капилляров, связанному с испарением и потреблением растениями.

Влажность устойчивого завядания – влажность, при которой растения теряют тургор и погибают. Это нижний предел продуктивной влаги.

Влажность почвы – безразмерная величина, характеризующая содержание в почве влаги. Выражается в проц. от веса сухой почвы.

Возраст почвы – длительность существования почвы во времени.

Выветривание – совокупность изменений, которые претерпевают горные породы и образующие их минералы в термодинамических условиях земной поверхности.

Газовая фаза почвы – это почвенный воздух, заполняющий паровое пространство свободное от воды.

Генезис почв – происхождение, образование и развитие почвы и всех присущих им особенностей (строение, состав, свойства и современные режимы).

Гигроскопичность почвы – способность почвы, в силу присущей ей поверхностной энергии, сорбировать на поверхности своих частиц пары воды, содержащиеся в воздухе.

Гидроморфные почвы – сформированы в условиях длительного поверхностного застоя вод или при залегании грунтовых вод на глубине менее 3 м (капиллярная кайма может достигать поверхности почвы).

Гипсование – химическая мелиорация солонцов путем внесения в них гипса с целью замены поглощенного натрия на кальций.

Грунтовые воды – формируются в рыхлых отложениях на слое водонепроницаемых пород выше базиса эрозии.

Гуминовые кислоты – группа темноокрашенных гумусовых кислот, которые хорошо растворяются в щелочных растворах, но не растворяются в минеральных кислотах и в воде.

Гумификация – процесс превращения растительных и животных остатков в специфические гумусовые вещества: гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумины.

Гумус – совокупность специфических неспецифических органических веществ почвы.

Деградация – процессы, ухудшающие плодородие почвы.

Емкость обмена катионов – общее количество катионов, удерживаемых почвой и способных к замещению на катионы другого рода; вычисляется в *мг-экв.* на 100 г почвы как *сумма обменных катионов*.

Живая фаза почвы (почвенная биота) – это населяющие почву организмы.

Жидкая фаза почвы – это вода, занимающая часть порового пространства, поступающая в виде атмосферных осадков и из грунтовых вод, содержащая растворенные органические и минеральные вещества и потому названная почвенным раствором.

Запас влаги в почве – абсолютное количество влаги, содержащееся в определенном слое почвы. Выражается в *мм* водного слоя или в *м³/га*.

Золь – коллоидный раствор, двухфазная гетерогенная система с предельно высокой дисперсностью.

Зольность – содержание золы в сухом органическом материале. Обычно выражается в проц.

Известкование – способ химической мелиорации кислых почв.

Истощение почвы – обеднение почвы питательными веществами в результате длительного выращивания сельскохозяйственных культур без внесения удобрений или при недостаточном их внесении.

Кайма капиллярная – слой почвы или грунта, расположенный непосредственно над водоносным горизонтом, содержащий *влагу капиллярную подпертую*.

Капилляры почвенные – система связанных почвенных пор.

Капиллярная вода – является свободной, не зависит от сорбционных сил, а удерживается и передвигается в почве капиллярными (менисковыми) силами.

Капиллярно-подвешенная вода – заполняет капиллярные поры при увлажнении почв сверху (атмосферные осадки, оросительные воды), она висит над сухим слоем почвы и не имеет связи с грунтовыми водами.

Капиллярно-подпертая вода – заполняет капиллярные поры при увлажнении снизу, от горизонта грунтовых вод.

Кора выветривания – верхние слои литосферы, преобразованные под воздействием физического, химического и биологического выветривания. По времени образования различают современную кору выветривания и древнюю.

Корка солевая – скопление большого скопления солей на поверхности почвы, почти без примеси земляных частиц.

Коэффициент структурности – отношение количества агрегатов агрономически ценных (1–10 мм) к количеству пылеватых частиц и глыбистых агрегатов.

Коэффициент теплопроводности – количество тепла, проходящего в единицу времени через две противоположные грани единицы объема, перпендикулярные к направлению теплового потока.

Лед почвенный – Лед образующийся при замерзании влаги в порах, трещинах и других пустотах почвы.

Лёсс – рыхлая, пылеватая суглинистая карбонатная порода палевого или серо-желтого цвета.

Лёссовидные суглинки – породы, близкие к лёссам; отличаются от них меньшим содержанием крупнопылеватой фракции и большими колебаниями содержания других фракций.

Ложе водоупорное – слой малопроницаемой породы, подстилающей водоносный горизонт.

Макроагрегаты почвы – агрегаты крупные 0,25 мм.

Макрорельеф – крупные формы земной поверхности, занимающие большую площадь, с колебаниями высот, измеряемыми сотнями метров и километрами (горные хребты, плоскогорья, равнины).

Максимальная водоотдача – разность между полной и наименьшей влагоемкостью.

Мегарельеф – это наиболее крупные неровности земной поверхности – материковые массивы и океанские впадины.

Мезорельеф – формы рельефа средних размеров с колебаниями высот, измеряемыми метрами и десятками метров (склоны, ложбины, балки, террасы и др.).

Мелиорация почв – коренное улучшение свойства почвы и условий почвообразования с целью повышения плодородия почвы.

Мерзлота многолетняя – наличие в грунте сохраняющегося в течение многих лет мерзлого слоя с температурой ниже 0°, обычно содержащего лед.

Микроагрегаты – почвенные агрегаты диаметром меньше 0,25мм.

Микрорельеф – мелкие формы рельефа, занимающие незначительные площади, с колебаниями высот в пределах одного метра (западины, блюдца, бугорки и др.).

Минералы вторичные – Минералы, образовавшиеся в процессе почвообразования и выветривания в результате изменения минералов почвообразующих пород и синтеза из продуктов распада веществ, поступивших в почву со стороны.

Минералы глинистые – Минералы, имеющие слоистую или слоисто – цепочечную структуру, класса водных силикатов и алюмосиликатов.

Нанорельеф – самые мелкие формы рельефа с колебаниями высот в пределах 30 см: кочки, неровности, связанные с обработкой почвы (борозды, гребни и др.).

Оболочка гидратная – оболочка влаги связанной, образующаяся вокруг коллоидных частиц или ионов под влиянием сил притяжения между ними и дипольными молекулами воды.

Окультуривание почв – направленное воздействие человека на почвы при вовлечении их в сельскохозяйственное производство. Конечной целью этого воздействия является создание в почве свойств, обеспечивающих высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур.

Органические остатки – ткани растений и животных, частично сохранившие исходную форму и строение.

Относительный возраст почв характеризует зрелость – степень развития конкретной почвы, соответствие ее профиля факторам почвообразования.

Плодородие почвы – совокупность свойств почвы, обеспечивающая урожай сельскохозяйственных культур.

Пойма – часть речной долины, периодически заливаемая водой.

Полугидроморфные почвы – образуются при кратковременном застое поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине 3-6 м (капиллярная кайма достигает почвенного профиля и корней растений).

Породы почвообразующие – горные породы, из которых образуются почвы.

Почвообразовательный процесс – это совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии, протекающих в почвенной толще.

Раствор почвенный – вода, находящаяся в почве и содержащая в растворенном состоянии органические и минеральные вещества и газы.

Режим влажности почвы – совокупность всех количественных и качественных изменений влажности почвы во времени.

Режим водный почвы – совокупность всех явлений поступления влаги в почву, ее передвижения в почве, изменения ее физического состояния в почве и ее расхода из почвы.

Режим воздушный почвы – совокупность всех явлений поступления воздуха в почву, его передвижения в почве, расхода из почвы, обмена газами между почвой, воздухом, твердой и жидкой фазами почвы, потребления и выделения отдельных газов живым населением почвы.

Режим окислительно-восстановительный почвы – совокупность окислительно-восстановительных процессов, вызывающих изменение во времени окислительно-восстановительного потенциала в профиле почвы.

Режим тепловой почвы – совокупность явлений теплообмена в системе: приземный слой воздуха – растение – почва – горная порода, а также процессов теплопереноса и теплоаккумуляции в самой почве.

Способность почвы водоудерживающая – свойство почвы удерживать в себе то или иное количество влаги от стекания действием капиллярных и сорбционных сил.

Способность почвы погложительная – свойство почвы поглощать и удерживать различные твердые, жидкие и газообразные вещества.

Структура почвы – совокупность агрегатов различной величины, формы и качественного состава.

Структурность – способность почвы распадаться на агрегаты.

Твердая фаза почвы – это полидисперсная органоминеральная система, состоящая из первичных, вторичных минералов и органиче-

ских веществ растительного и животного происхождения, а также продуктов их взаимодействия.

Теплоемкость почвы (с) – свойство почвы поглощать тепло.

Фульвокислоты – это высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты, имеющие светлую окраску, хорошо растворяются в воде и других растворителях.

Хемотропные отложения – образовались в результате выпадения солей из водных растворов в морских заливах, озерах, в условиях сухого жаркого климата или в результате химических реакций.

Литература

1. Ганжара, Н.Ф. Почвоведение / Н.Ф. Ганжара. – М.: Агроконсалт, 2001. – 392 с.
2. Горбылева, А.И. Почвоведение: учебное пособие / А.И. Горбылева, В.Б. Воробьев, Е.И. Петровский. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. – 400 с.
3. Кирюшин, В.И. Агрономическое почвоведение / В.И. Кирюшин. – СПб.: КВАДРО, 2013. – 680 с.
4. Кузин Е.Н. Почвоведение с основами геологии: учебное пособие / Е.Н. Кузин, А.Н. Арефьев, Е.Е. Кузина. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 145 с.
5. Муха, В.Д. Агрочвоведение / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
6. Почвоведение / Под ред. И.С. Кауричева. – М.: Агропромиздат, 1989. – 719 с.
7. Повышение плодородия почв / Под ред. К.А. Кузнецова. – Пенза: Приволжское книжное издательство. Пензенское отделение. – 1976. – 192 с.
8. Система ведения агропромышленного производства Пензенской области. Часть II. Система земледелия / Под ред. А.И. Чиркова. – Пенза, 1992. – 288 с.

Елена Евгеньевна Кузина
Евгений Николаевич Кузин

ОБЩЕЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие для самостоятельной работы
по общему почвоведению
(для студентов агрономического факультета,
обучающихся по направлению подготовки
35.03.03 – агрохимия и агропочвоведение)

Редактор
Компьютерный набор
Корректор

Е.Е. Кузина
Е.Е. Кузина
Л.А. Артамонова

Подписано в печать
Бумага Гознак Print
Усл. печ. л.

Тираж

Формат 60×84 1/16
Отпечатано на ризографе
Заказ №

РИО ПГСХА
440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30