

**ПОЧВОВЕДЕНИЕ
С ОСНОВАМИ ГЕОЛОГИИ
И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

***ПОЧВОВЕДЕНИЕ С ОСНОВАМИ ГЕОЛОГИИ
И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ***

Часть I

Общее почвоведение с основами геологии

(Учебное пособие)

*Рекомендовано Учебно-методическим Советом по почвоведению при УМО
по классическому университетскому образованию в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по
направлению высшего профессионального образования 020700
«Почвоведение»*

Томск – 2011

Учебное пособие, написанное в соответствии с государственным образовательным стандартом и программой по «Почвоведению с основами геологии», состоит из 2-х частей, включающих четыре раздела (Часть I – Разделы: 1. Основы геологии; 2. Общее почвоведение; Часть II – Разделы: 3. Систематика и основные типы почв; 4. Основы агроэкологического землепользования).

В пособии рассматриваются основы геологии: строение и происхождение Земли, минералогический и петрографический состав земной коры, эндогенные и экзогенные процессы, геологическая история Земли. Обобщены современные представления о почве как естественно-историческом теле природы, изложены основные механизмы почвообразовательного процесса. Описаны состав, свойства, почвенные режимы, обуславливающие плодородие, их сочетание в разных типах почв и регулирование в агрономической практике. Проанализированы основные факторы почвообразования, освещены вопросы генезиса, классификации, свойств почв разных природных зон. Особое внимание уделено области агроэкологического землепользования. Изложены принципы почвоохранной деятельности, методы качественной оценки почв, картографирования, основные приемы регулирования почвенного плодородия, защиты почв от эрозии и их рационального использования при сохранении всех выполняемых ими экологических функций.

Адресовано студентам, обучающимся по направлению «Почвоведение», специальностям агрономического и лесохозяйственного направлений, а также специалистам в области сельского и лесного хозяйства, биологии, землеустройства, агроэкологии, земле- и природопользования, охраны окружающей среды.

Автор–составитель: к.б.н., доцент Е.В. Каллас

Рецензент: д.г.-м.н., профессор В.П. Парначев

Введение

Ценность науки о почве определяется ее огромной значимостью для сельского, лесного и других отраслей народного хозяйства, а также многообразной экологической ролью почвы в биосфере. Почвоведение изучает почвы не только как природные образования, представляющие собой самостоятельные природные естественно-исторические тела, но и как средство сельскохозяйственного производства. Почва, выполняя важнейшую глобальную биосферную функцию обеспечения существования жизни на земле, служит той средой обитания культурных растений, без которой получение их урожая не возможно.

Несмотря на всю значимость почвенного покрова, представляющего тончайшую геосферу Земли, которая кормит и одевает все человечество, регулирует химический состав гидросферы и атмосферы, биосферные процессы (в частности плотность жизни на Земле), выполняя тем самым общепланетарную роль, почвы часто используют нерационально, загрязняют и разрушают их, тогда как почва является невозобновимым природным ресурсом и главным национальным достоянием и богатством любого государства.

Почвоведение как фундаментальная наука теснейшим образом связана с геологией, поскольку почвы образуются из горных пород в результате длительного воздействия на них разнообразных геологических и биохимических процессов. Без знания основ геологии невозможно глубокое понимание закономерностей почвообразования, в связи с чем в данном учебном пособии рассматриваются строение Земли и земной коры, рельеф, свойства и образование подземных вод, а также другие объекты изучения геологии. Основы геологии, изложенные в первой части пособия, дают общее представление о минералах и горных породах, о процессах их образования и преобразования и свойствах, которые во многом определяют характеристики почвообразующих пород и самих почв, о геологической истории Земли.

Общее почвоведение, составляющее второй раздел первой части учебного пособия, рассматривает состав, свойства и режимы почв, показатели их плодородия, природные факторы почвообразования и роль хозяйственной деятельности человека в трансформации почв. Здесь подробно изложены основные понятия современного почвоведения.

В Части II учебного пособия (Раздел 3) приведены общие закономерности географического распределения почв, описаны почвы и их генезис в различных природных зонах. Основные свойства многих почв, формирующихся в бореальном и суббореальном поясах России, рассматриваются на примере почв Сибири, изученных исследователями почвенного покрова этого обширного региона.

Поскольку учебное пособие написано в соответствии с государственным общеобразовательным стандартом третьего поколения и программой по «Почвоведению с основами геологии», оно включает не только общеобразовательные научно-естественные разделы (основы геологии и геоморфологии, общее почвоведение, генезис и географию почв), но и специальные, необходимые для практической деятельности специалистов агрономического и лесохозяйственного направлений. В четвертом разделе пособия (Часть II) изложены вопросы агроэкологического землепользования, включающие эрозиоведение, проблемы деградации почв и их охраны, картографию почв (принципы составления и использования карт и картосхем), агропроизводственные группировки и качественную оценку почв (бонитировку), а также модели почвенного плодородия. В основе землепользования как формы распоряжения землей с целью извлечения из нее полезных свойств или дохода должны лежать рациональная организация территории, защита земель от процессов разрушения и загрязнения, а также агроэкологические принципы, руководствуясь которыми можно получить высококачественную сельскохозяйственную продукцию с учётом экологических ограничений на все формы использования почв. Агроэкологическое землепользование предполагает

минимизацию вреда, наносимого окружающей среде при использовании в сельском хозяйстве минеральных удобрений, химических средств защиты растений, различных мелиорантов и других средств воздействия на природные объекты. На современном этапе развития человеческого общества накоплены обширные знания о почвах, их образовании, свойствах, закономерностях развития и эволюции, которые позволяют использовать их рационально и с большой эффективностью, при этом сохраняя все экологические функции, выполняемые почвами.

Таким образом, настоящее учебное пособие позволит сформировать у студентов современные представления о почве, ее строении, составе и свойствах, процессах образования, развития и функционирования, закономерностях географического распространения, взаимосвязях с внешней средой, путях и методах рационального использования. Кроме этого, студенты познакомятся с принципами почвоохранной деятельности, методами качественной оценки почв, картографирования, основными приемами регулирования почвенного плодородия и защиты почв от эрозии, а также другими проблемами в области агроэкологического землепользования.

В специальном разделе учебного пособия – Глоссарии – приводятся основные понятия, необходимые для усвоения курсов «Почвоведение с основами геологии», «Почвоведение», «География почв», «Лесное почвоведение» и др.

При создании учебного пособия были использованы литературные и оригинальные авторские материалы, характеризующие почвы Сибири. Составитель выражает искреннюю благодарность и признательность коллегам за ценные советы, замечания и поддержку в процессе написания данного пособия.

Раздел 1 Основы геологии

Глава 1 Предмет и составные части геологии

Почвоведение как фундаментальная естественнонаучная дисциплина тесно связана с геологией, поскольку объекты её изучения – почвы – образуются в верхних слоях горных пород в результате длительного воздействия на них различных факторов (климатических, биологических и т.д.), геологических и биохимических процессов. Геология (от греч. *ge* – земля, *logos* – слово, учение) – это наука о составе, строении, истории развития земной коры и более глубоких недр Земли, а также процессах, происходящих на поверхности земли и в ее недрах. Объектами изучения геологии являются внешние оболочки нашей планеты: атмосфера, гидросфера, биосфера и литосфера; предметом – минералы, горные породы, ископаемые органические остатки и современные геологические процессы, без знания которых невозможно глубокое понимание процессов почвообразования.

1.1 Геологические дисциплины, их задачи и методы

Геология – это наука о Земле, ее строении, происхождении и развитии. В зависимости от объекта, задач и методов исследования выделяется большое количество научных дисциплин: минералогия, петрография, кристаллография, геоморфология, геохимия, гидрогеология, геофизика, историческая геология, палеонтология, динамическая геология, геотектоника, геология полезных ископаемых, инженерная геология, экологическая геология и др.

Минералогия – наука о минералах, т.е. о природных химических соединениях элементов, составляющих основу твердой оболочки Земли, их образовании, свойствах и процессах разрушения. Многие минералы являются источниками элементов питания для растений, в связи с чем необходимо знать, как происходят процессы высвобождения элементов из

сложных соединений и переход их в доступную для растений форму. Поскольку процессы превращения минералов происходят в почве, минералогия является очень важной для почвоведения дисциплиной геологического цикла.

Петрография – наука о горных породах, их залегании в земной коре, условиях образования, минералогическом составе и физических свойствах. Для почвообразования непосредственное значение имеют процессы их разрушения (выветривания), а также скорость, направление и образование новых пород. Поскольку породы состоят из одного или нескольких минералов, петрография и минералогия очень тесно связаны между собой.

Кристаллография – наука о кристаллической форме минералов.

Геоморфология – наука о формах земной поверхности, причинах и законах ее развития.

Геохимия – наука о химическом составе Земли (литосферы, гидросферы, атмосферы, мантии, ядра), закономерностях распределения химических элементов и их миграции.

Гидрогеология – наука о подземных водах, их качестве, распространении и передвижении.

Геофизика – наука о физических свойствах Земли и веществ, из которых она состоит.

Историческая геология – наука о геологической истории Земли, главным образом ее наружной твердой оболочки. Этот раздел геологии восстанавливает по геологическим документам историю развития Земли как планеты в разные геологические эпохи (например, соотношение суши и моря, наличие горных систем, формы жизни, полезные ископаемые). Эта наука наряду со стратиграфическим методом использует и палеонтологический.

Палеонтология – наука, изучающая по ископаемым остаткам животный и растительный мир прошлых геологических эпох, устанавливающая звенья эволюционного ряда.

Историческая геология и палеонтология имеют непосредственное отношение к поискам агрономических руд.

Динамическая геология – наука о процессах, протекающих внутри Земли и на ее поверхности (магматические процессы, движение земной коры, деятельность поверхностных текучих вод, рек, ветра, озер, болот, морей, подземных вод, ледников, вечной мерзлоты).

Геотектоника – изучает главным образом процессы, движущим фактором которых являются внутренние силы Земли (образование и развитие крупных континентальных и океанических структур, землетрясения, горообразование).

Геология полезных ископаемых – раздел геологии, изучающий условия образования и закономерности распространения месторождений полезных ископаемых.

Инженерная геология – раздел геологии, изучающий физические свойства горных пород в связи с инженерной деятельностью человека.

Экологическая геология – наука геологического цикла, изучающая экологические функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты и, прежде всего, человека. При этом под экологическими функциями литосферы понимается всё многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы (включая подземные воды, нефть, газы, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы) в жизнеобеспечении биоты и человеческого сообщества.

Методы геологических дисциплин специфичны, поскольку все геологические процессы (например, горообразовательные движения земной коры, накопление осадков, денудация горных систем) имеют длительное время, измеряемое тысячами и миллионами лет. В связи с этим, основным методом в геологии является наблюдение, а экспериментальный метод применяется очень ограниченно. Известно, что пласты пород в одном случае залегают горизонтально, в другом – наклонно, в третьем – вертикально, в некоторых из них, находящихся в горах, обнаружены раковинки, жизнедеятельность которых связана с

морем. Для объяснения тех или иных фактор, явлений необходима была теория. В 19 веке Чарлз Лайель предложил такую теорию – *принцип актуализма*, сущность которого сводится к тому, что «настоящее есть ключ к пониманию прошедшего». Например, в современных морях животные, содержащие в своем скелете углекислый кальций, обитают на глубине не более 4 км при температуре воды не ниже 20°C, а животные, скелет которых состоит из кремния (радиолярии), обитают на большой глубине в более холодной воде. Применяя принцип актуализма, можно предположить, что пласты известняков, находящиеся в настоящее время на суше, образовались в теплом неглубоком море, а пласты радиоляриевых ила, наоборот, в глубоком и холодном.

Экспериментальный метод применяется главным образом для проверки тех или иных гипотез образования минералов. Так, изучение химического состава минералов дало основание предположить, что они образовались при высоких температурах и давлении, т.е. в глубине Земли. В подобных условиях, созданных в современных лабораториях, получают искусственные минералы с аналогичными, а иногда и лучшими свойствами, чем у природных. Существуют искусственно созданные минералы, которые не имеют аналогов в природе, например фианит, образованный на основе оксидов циркония и иттрия. Этот минерал по тугоплавкости и твердости не уступает алмазу, поэтому его называют искусственным бриллиантом, однако химический состав у него совершенно иной. Бриллиант же представляет собой ограненный алмаз, состоящий из чистейшего углерода.

1.2 Строение Земли и ее свойства

Форма Земли. Планета Земля, согласно первым научным представлениям имеет шарообразную форму, позже было уточнено, что она представляет собой сфероид, близкий к эллипсоиду вращения, что обусловлено различиями в

протяженности полярного и экваториального радиусов. В дальнейшем форму Земли назвали геоидом.

Свойства Земли. Земля характеризуется следующими физическими параметрами:

- полярный радиус – 6356,777 км;
- экваториальный радиус – 6378,160 км;
- длина по окружности – 40 000 км;
- масса Земли – $5,98 \cdot 10^{24}$ кг;
- площадь поверхности – 510,2 млн. км²;
- площадь суши – 29,2% поверхности;
- площадь Мирового океана – 70,8% поверхности;
- давление увеличивается с каждым километром на 27,5 МПа, в центре Земли оно составляет 360 тыс. мПа.
- средняя плотность – 5,52 г/см³ (плотность поверхностных слоев равна 2,7–3,9 г/см³, в центре Земли около 14 г/см³).

Температура Земли в поверхностных и глубинных слоях различна. В первом случае она определяется притоком солнечной энергии и зависит от географической широты местности и времени года. Верхние слои прогреваются на незначительную глубину, ниже которой располагается пояс постоянной температуры, равной среднегодовой температуре данной местности. Еще ниже температура повышается в среднем на 1°С на каждые 33 метра (геотермическая ступень). На больших глубинах геотермическая ступень отсутствует. Температура в центре Земли достигает 4000°С.

Земля создает несколько геофизических полей, а именно: гравитационное, магнитное, электрическое и тепловое.

Движение Земли. Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите с запада на восток со средней скоростью 30 км/с и проходит весь путь за год (365 суток 6 часов 9 минут 9 секунд). Одновременно она вращается вокруг собственной оси также в направлении с запада на восток. Последнее определяет смену дня и ночи, суточный ритм обуславливает световые и температурные изменения. Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом 66,5° и перемещается в пространстве параллельно самой себе в течение года, что

приводит к смене времен года и неравенству дня и ночи на всех широтах, кроме экватора.

Строение Земли. Земля, как и другие планеты Солнечной системы, имеет ярусно-оболочное строение и состоит из нескольких геосфер. Выделяют следующие сферы: ядро, мантию, литосферу, земную кору, педосферу, атмосферу, гидросферу, биосферу, ноосферу и др. Различают внутренние и внешние оболочки Земли. К внутренним относятся литосфера, мантия и ядро, к внешним – гидросфера, атмосфера и биосфера. Оболочки Земли находятся в сложном взаимодействии.

Слои Земли имеют разный химический состав, что связано с дифференциацией первичного вещества планеты. В процессе ее формирования более тяжелые элементы (железо, никель и другие) как бы «тонули» и образовывали ядро, относительно легкие (кремний, алюминий и др.) «всплывали» и сформировали земную кору, а выделяющиеся из расплавов газы и пары воды образовали соответственно атмосферу (от греч. «атмос» – пар) и гидросферу (от греч. «гидора» – вода). В результате сложных длительных процессов на Земле сложились благоприятные условия для возникновения и развития жизни. Живые организмы образовали особую геосферу (оболочку) – биосферу (от греч. «биос» – жизнь), а с возникновением человека начинает свое развитие ноосфера (от греч. «ноо» – разум) – оболочка, преобразованная деятельностью человека.

Ниже приводится краткая характеристика основных оболочек Земли.

Литосфера (каменная оболочка) – это внешняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхний твердый слой мантии. Это относительно хрупкая геосфера, разбитая глубинными разломами на крупные блоки – литосферные плиты, медленно перемещающиеся по астеносфере в горизонтальном направлении. Литосфера имеет разную мощность – 75–20 км на суше и 9–40 км под океаном.

В химический состав *земной коры* входят все известные элементы, преобладающими являются О (49,1%), Si (26%), Al (7,4%), Fe (4,2%), Ca (3,3%), Na (2,4%), K (2,4%), Mg (2,4%).

Земная кора состоит из трех слоев:

- 1) слой осадочных пород мощностью от 0 до 15 км;
- 2) гранитный слой от 20 до 40 км;
- 3) базальтовый слой от 20 до 40 км.

Они различаются по скорости прохождения сейсмических волн, границы между ними условные. Для нижней зоны земной коры характерны высокие температуры и присутствие очагов расплавленных минеральных масс (магмы).

Принято различать два типа земной коры: континентальный и океанический. Первый состоит из трех слоев – осадочного, гранитного и базальтового, а второй – из осадочного, базальтового и расслоенных габброидов.

Мантия – это мощная оболочка Земли, располагающаяся между земной корой и ядром и распространяющаяся на глубину до 2900 км. Мантия состоит из трех зон: верхней, средней и нижней. Верхняя мантия вместе с земной корой образует литосферу; средняя – астеносфера – представляет собой слой вещества, по состоянию близкого к плавлению; нижняя – характеризуется увеличением температуры до 3000°C и давления до 1 млн. атм. В химическом составе мантии преобладают O, Si, Fe, Mg, Ni.

Ядро Земли – располагается ниже мантии на глубине от 2900 до 6371 км и, по предположению, имеет близкий к железным метеоритам состав – железоникелевый сплав (Fe – 89%, Ni – 7%, FeS – 4%).

Гидросфера – это прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и литосферой. Она подразделяется на поверхностную и подземную. Первая включает воды океанов, морей, озер, водохранилищ, рек, болот, ледяных пространств, снежных покровов и покрывает земную поверхность на 70,45%; вторая – состоит из вод, находящихся в верхней части земной коры. Основная часть гидросферы представлена Мировым океаном, на долю которого приходится около 95%, доля подземных вод составляет 1,69% от общего объема гидросферы, остальное – воды рек, озер, ледников. Водные ресурсы Земли на 98% представлены солеными водами

морей и океанов и на 2% – пресными водами, сосредоточенными главным образом в ледниках и используемыми в очень ограниченных масштабах.

Средняя плотность гидросферы 1,03 г/см³. В ней присутствуют все элементы, которые находятся в литосфере, поскольку с суши происходит постоянный снос веществ водными потоками. Концентрация солей в Мировом океане в среднем 35 г/л, в разных морях соленость вод неодинакова (в г/л): в Балтийском – 6–7, в Черном – 18, в Средиземном – 37–39, в Красном – 41. Химический состав морской и океанической воды сульфатно-хлоридный, представлен следующими солями (в %): NaCl – 78, MgCl₂ – 10, MgSO₄ – 4,7, CaSO₄ – 3,6, K₂SO₄ – 2,5, CaCO₃ и MgCO₃ – 0,3 и др. Преобладающими газами в Мировом океане являются азот и кислород. Минерализация речных вод 90 мг/л, химический состав гидрокарбонатный.

Атмосфера – это сплошная газообразная оболочка Земли, окружающая планету до высоты 3 тыс. км, и состоящая из смеси газов и пылевидных частиц. В сухом чистом воздухе содержится 78% азота, около 21% кислорода, 0,9% аргона, 0,03% диоксида углерода, менее 0,01% смеси неона, гелия, криптона, ксенона, метана, водорода, озона, оксидов азота. В атмосфере всегда присутствует водяной пар, на долю которого приходится до 3% её объема. Основная часть пыли имеет земное происхождение, кроме этого присутствует космическая и бактериальная пыль, промышленные дымы, вулканические выделения и другие компоненты. С высотой состав атмосферы изменяется, в связи с чем принято выделять тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу. Последние три слоя иногда объединяют в единую геосферу – ионосферу.

Тропосфера простирается от поверхности Земли до 7 км у полюсов и до 16–18 км у экватора. В ней сосредоточены весь водяной пар, который поглощает солнечную радиацию, увеличивает плотность воздуха и является источником всех осадков, а также основная масса воздуха атмосферы. Температура воздуха с высотой уменьшается и на высоте 10–12 км достигает минимума – минус 55°С.

Стратосфера расположена выше тропосферы и простирается до высоты 40 км от поверхности земли. Температура этой части атмосферы постепенно повышается до 0°С. На высоте 20–24 км отмечается максимальная концентрация озона за счет превращения свободного кислорода O₂ в O₃ за счет солнечной радиации. В результате на этой высоте образуется экран (озоновый слой), выполняющий важную экологическую функцию, – он поглощает большую часть губительного для живых организмов коротковолнового излучения Солнца.

Мезосфера располагается выше стратосферы и достигает высоты 80 км от поверхности Земли. Температура её снижается до минус 60–80°С. Здесь отмечается высокое содержание ионов газов, обуславливающих возникновение северных (полярных) сияний.

Термосфера, находящаяся выше мезосферы и простирающаяся до высоты 800 км, характеризуется увеличением температуры, а также содержания легких газов (водорода и гелия) и заряженных частиц.

Экзосфера – самая верхняя часть атмосферы, достигающая высоты 1500–2000 (3000) км от поверхности Земли. В этой оболочке происходит диссипация (т.е. рассеивание) атмосферных газов в космическое пространство.

Не вся энергия, испускаемая Солнцем в сторону Земли, поступает на ее поверхность. Примерно 30% солнечного излучения отражается атмосферой в космос. Основная часть остальной энергии (69%) расходуется на нагревание атмосферы, поверхности материков и океанов и всего 1–2% используется растениями в процессе фотосинтеза.

Биосфера – это оболочка Земли, состав, структура и свойства которой определяются деятельностью живых организмов. Термин «биосфера» впервые был использован Э. Зюссом в 1875 году для обозначения тонкой пленки жизни на земной поверхности, определяющей «лик Земли». Позже В.И. Вернадский, ученик В.В. Докучаева (основоположника генетического почвоведения), создал целостное учение о биосфере. Он развил представление о живом веществе как

биогеохимической силе, преобразующей свою среду обитания. Основы учения о биосфере изложены В.И. Вернадским в книге «Биосфера», опубликованной в 1926 году.

Биосфера, являясь особой оболочкой Земли, зоной жизни, охватывает нижнюю часть атмосферы (тропосферу), всю гидросферу и верхние слои осадочных пород земной коры мощностью 3–4 км. Более широкое распространение живых организмов ограничено либо высокими температурами земных недр, либо губительным действием жесткого солнечного излучения (выше озонового слоя). Согласно В.И. Вернадскому, важнейшими свойствами биосферы являются следующие:

а) существование живых организмов – микроорганизмов, насекомых, растений, животных и др.;

б) тесная связь живых организмов с окружающей средой;

в) постоянный обмен веществом и энергией с космосом;

г) подвижное динамическое равновесие.

Итак, биосфера – это область жизни, включающая наряду с организмами и среду их обитания. В.И. Вернадский выделил в ней 7 взаимосвязанных типов веществ:

1) живое вещество – это все живые организмы, населяющие планету Земля;

2) косное вещество – это неживые тела, которые образуются в результате процессов, не связанных с деятельностью живых организмов. Они представлены породами магматического и метаморфического происхождения и, в некоторой степени, осадочными породами;

3) биогенное вещество – это неживые тела, образующиеся в результате жизнедеятельности живых организмов. К ним относятся некоторые осадочные породы (известняки, мел и др.), нефть, газ, каменный уголь, кислород атмосферы, диоксид углерода и др.;

4) биокосное вещество – это биокосные тела, образующиеся в результате совместной деятельности живых организмов и геологических процессов. К ним относятся почвы, илы, кора выветривания;

5) радиоактивное вещество – это атомы радиоактивных

элементов (уран, торий, радий, радон, цирконий и др.);

б) рассеянные атомы – это отдельные атомы элементов, которые встречаются в рассеянном состоянии (Au, Hg и др.);

7) вещество космического происхождения – это вещество, которое поступает на поверхность Земли из космоса. Оно представлено метеоритами, космической пылью.

Несмотря на малую массу живого вещества, составляющую всего 0,01% от массы всей биосферы, оно представляет её главную часть. Важнейшее свойство живого вещества заключается в способности к воспроизводству и распространению по планете. Последнее происходит неравномерно: пространства, густо заселенные организмами, сменяются менее заселенными. Неравномерность распространения жизни на поверхности суши в значительной степени обусловлена плодородием почв. По видовому составу на нашей планете животные (более 2 млн. видов) преобладают над растениями (0,5 млн. видов), однако биомасса последних гораздо выше и составляет 99% запасов живой биомассы Земли. Биомасса суши в 1000 раз превышает биомассу океана.

Ноосфера – это сфера разума, высшая степень развития биосферы, когда деятельность человека становится важнейшим фактором ее развития. Для характеристики ноосферы нередко используются термины антропосфера, техносфера и некоторые другие. Под антропосферой понимается сфера Земли, где живет и куда временно проникает человек (например, с помощью спутников), под техносферой – часть биосферы, преобразованная технической деятельностью человека.

Происхождение Земли. Существует несколько гипотез происхождения Земли, наиболее важными из которых являются следующие:

1. Теория холодного происхождения Земли, предложенная И. Кантом, согласно которой Земля, состоящая из обломков частиц, захваченных Солнцем в свою орбиту, была первоначально холодной, а затем разогрелась за счет превращения механической энергии падающих частиц в тепловую, а также за счет солнечного тепла. Близка к этой гипотезе точка зрения П.

Лапласа. Он считал, что Земля образовалась из раскаленной газовой туманности, захваченной Солнцем.

2. Теория О.Ю. Шмидта трактует происхождение нашей планеты из холодной межзвездной пыли (первоначальная температура была равна 4°C), захваченной Солнцем. Позже происходил разогрев Земли за счет радиоактивного распада элементов, распределенных неравномерно, в связи с чем нагревание в разных точках шло с разной скоростью, вследствие чего имелись очаги расплавленной магмы, а не сплошная расплавленная оболочка.

3. Теория В.Г. Фесенкова, согласно которой некоторые планеты Солнечной системы могли образоваться в результате отрыва от Солнца длинного выступа и последующего его распада на части.

В настоящее время общепризнанной и достоверной гипотезы происхождения нашей планеты не существует.

1.3. Минералогический состав земной коры

Твердая оболочка Земли – литосфера – состоит из горных пород, слагаемых минералами, состоящих в свою очередь их химических элементов. *Минералы* – это природные химические соединения элементов, или самородные элементы, образовавшиеся в определенных условиях среды. В настоящее время известно более 3 тыс. природных минералов, имеющих различные физические свойства: цвет, твердость, спайность, излом, блеск, вкус, вскипание от соляной кислоты, магнитность и др. Важным для почвообразования является твердость минералов, поскольку от этого свойства зависит скорость их выветривания: твердые минералы долго сохраняются в почве, мягкие быстро разрушаются. Твердость определяется по шкале твердости (шкале Мооса), представляющей 10-балльную шкалу оценки твердости минералов, состоящую из 10 минералов-эталонов.

Шкала твердости минералов:

1 – тальк

6 – полевой шпат

2 – гипс	7 – кварц
3 – кальцит	8 – топаз
4 – флюорит	9 – корунд
5 – апатит	10 – алмаз

Минералы могут быть твердыми (например, кварц – SiO_2 , оливин – $(\text{Mg, Fe})_2(\text{SiO}_4)$, доломит – $\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$, гематит – Fe_2O_3), жидкими (вода) и газообразными (диоксид углерода CO_2).

По происхождению минералы принято делить на первичные (эндогенные), образующиеся внутри земли при высоких температурах и высоком давлении, и вторичные (экзогенные), образующиеся на поверхности земли или на небольшой глубине при низких показателя температуры и давления, т.е. в условиях, близких к земной поверхности. Происхождение минералов знать очень важно, поскольку в природе существует закон, гласящий: «Все природные соединения устойчивы в тех термодинамических условиях, в которых они образовались, при попадании в другую среду, они разрушаются». В связи с этим, первичные минералы, находящиеся в почве, выветриваются, разрушаются, при этом составляющие их элементы переходят в другую, более простую и доступную для растений форму. Вторичные минералы также подвергаются процессам выветривания и в определенной природной обстановке разрушаются. Таким образом, минералы являются источником элементов минерального питания для растений. Каждый минерал имеет свою химическую формулу и химический состав. Ионы элементов в минералах расположены в виде геометрически правильной пространственной решетки, которая называется кристаллической. Благодаря такому строению, кристаллы минералов имеют форму геометрически правильных многогранников. Для каждого минерала характерны своя кристаллическая решетка и определенная форма кристаллов.

По степени распространения минералы делят на три группы:

1. Рудные – эти минералы образуют самостоятельные скопления, например, фосфориты, каменная соль, сера и др.

2. Редкие – эти минералы встречаются в земной коре в рассеянном состоянии в виде мелких кристаллов среди других минералов и пород, например, алмазы, золото и др.

3. Породообразующие – эти минералы образуют основную массу горных пород, слагающих литосферу, например, гранит, базальт и др.

Наиболее часто встречающимися минералами являются породообразующие. Содержание их в земной коре представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание породообразующих минералов в земной коре (по А.Е. Ферсману)

Минералы	Содержание, % по массе
Полевые шпаты	55,0
Пироксены и амфиболы	15,0
Кварц и его разновидности	12,0
Вода в свободном и поглощенном состоянии	8,25
Слюды	3,0
Оксиды и гидроксиды	3,0
Глинистые минералы	1,5
Кальцит	1,5
Фосфаты	0,75

По химическому составу минералы делят на следующие классы:

1. *Силикаты* – группа полевого шпата (ортоклаз $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, микроклин $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), группа плагиоклазов (альбит $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, анортит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), группа пироксенов (авгит $Ca(Mg,Fe,Al) \cdot [(Si,Al)_2O_6]$), группа амфибола (роговая обманка и др.). При выветривании полевых шпатов и слюд образуются глинистые минералы (каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, монтмориллонит $(Ca,Mg)O \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, иллит $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot nH_2O$ и др.). На долю алюмосиликатов приходится 60% от массы литосферы, это самый распространенный класс, включающий 700 разных минералов.

2. *Оксиды и гидроксиды* – оксиды кремния (кварц SiO_2 ,

опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), оксиды железа (магнетит (магнитный железняк) Fe_3O_4 , гематит (красный железняк) Fe_2O_3 , лимонит (бурый железняк) $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и др.), оксиды алюминия (корунд Al_2O_3 , боксит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, гидраргиллит $\text{Al}(\text{OH})_3$ и др.). В этот класс входят 200 минералов, на долю которых приходится 17% от массы земной коры, причем 12% составляют соединения кремнезема с кислородом, т.е. минералы группы кварца, имеющие единый химический состав (SiO_2), но разные физические свойства, обусловленные различным происхождением (эндогенным или экзогенным). Например, кристаллический кварц образуется при кристаллизации магмы, богатой кварцем, при температуре свыше 500°C , а аморфный кварц (халцедон) – при выветривании алюмосиликатов и силикатов в экзогенных условиях. Минералы группы кварца устойчивы к выветриванию, не растворимы в воде и кислотах, химически инертны. На втором месте в этом классе находятся оксиды железа, образующиеся эндогенным (магнетит), экзогенным (лимонит) или тем и другим (гематит) путем. Третье место занимают оксиды алюминия разного генезиса – эндогенного (корунд) и экзогенного (боксит). В этот класс минералов входят и оксиды марганца, образующиеся, как правило, экзогенным путем при выветривании первичных минералов.

3. *Галоиды* – галит (каменная соль – NaCl), сильвин (KCl), каинит $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4$ и др. Этот класс насчитывает 100 минералов, на долю которых приходится 3,5% от массы литосферы. В основном имеют экзогенное водное происхождение. Встречаются и эндогенные минералы этого класса, например соль фтористоводородной кислоты HF (флюорит или плавиновый шпат), образующаяся из гидротермальных растворов или в результате кристаллизации магмы при температуре около 600°C .

4. *Карбонаты* – кальцит CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ и др. Этот класс насчитывает 80 минералов, на долю которых приходится 1,8% от массы земной коры. Они имеют большей частью экзогенное происхождение, некоторые

из них – биогенное.

5. *Сульфаты* (соли серной кислоты) – гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4) и др. Этот класс насчитывает 260 минералов, на их долю приходится 1% от массы литосферы. Все они имеют экзогенное происхождение.

6. *Фосфаты* (соли ортофосфорной кислоты H_3PO_4) – апатит $\text{Ca}_5(\text{Cl},\text{F}) \cdot (\text{PO}_4)_3$ (образуется при кристаллизации магмы при температуре около 600°C , в связи с чем имеет эндогенное происхождение), фосфорит $\text{Ca}_5(\text{Cl},\text{F}) \cdot (\text{PO}_4)_3$ (экзогенного происхождения – химического или биогенного), вивианит $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (синяя болотная руда, образуется в болотных почвах) и др.

7. *Сульфиды* (соли сероводородной кислоты H_2S) – пирит (серный колчедан – FeS_2), халькопирит (медный колчедан – CuFeS_2), галенит (свинцовый блеск – PbS), киноварь (HgS), сфалерит (цинковая обманка – ZnS), молибденит (молибденовый блеск – MoS), аргентин (серебряный блеск – AsS_3) и др. Этот класс насчитывает 350 минералов, на долю которых приходится 0,25% от массы литосферы. Все минералы имеют эндогенный генезис, но образуются не в результате кристаллизации магмы, а гидротермальным путем (из горячих водных растворов, в которых растворяется сероводородная кислота, сопровождающая вулканические процессы). При выветривании минералов этого класса образуются серная кислота и оксиды соответствующих металлов.

8. *Самородные* – золото (Au), графит (C), алмаз (C), сера (S) и др. Этот класс насчитывает 50 минералов, на долю которых приходится всего 0,1% от массы литосферы. Для почв эти минералы особого значения не имеют, за исключением серы.

9. *Нитраты* (соли азотной кислоты HNO_3) – чилийская (NaNO_3), индийская (KNO_3), норвежская ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) селитры. Это минералы биогенного происхождения. Большинство из них прошло через тело птиц и образовались из птичьего помета (гуано) в условиях сухого климата на месте птичьих базаров.

10. *Углеродные и углеводородные соединения* – нефть (смесь жидких углеводородов), янтарь $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ и др.

Наибольшим распространением отличаются минералы, содержащие кислород, кремний и алюминий – элементы, преобладающие в земной коре. Среднее содержание элементов в земной коре приведено в таблице 2.

Элементы по-другому называют кларками – по фамилии ученого, определившего их среднее содержание в земной коре.

Не смотря на то, что породообразующие минералы входят в состав почвообразующих (материнских) пород, содержание элементов в почвенных горизонтах часто существенно отличается от содержания их в породе, что связано с процессами почвообразования.

Таблица 2 – Среднее содержание элементов в земной коре (по Кларку)

Элемент	% по массе	Элемент	% по массе
Кислород (O)	49,13	Титан (Ti)	0,61
Кремний (Si)	26,00	Углерод (C)	0,35
Алюминий (Al)	7,45	Хлор (Cl)	0,20
Железо (Fe)	4,20	Фосфор (P)	0,12
Кальций (Ca)	3,25	Сера (S)	0,10
Натрий (Na)	2,40	Марганец (Mn)	0,10
Магний (Mg)	2,35	Фтор (F)	0,08
Калий (K)	2,35	Барий (Ba)	0,05
Водород (H)	1,00	Азот (N)	0,04

Минералы, входящие в состав почвообразующих пород, имеют большое значение для почвенного плодородия, поскольку на них образуются почвы, а минералы, разрушаясь в процессе выветривания и почвообразования, являются источником элементов питания для растений. Так, источником азота являются различные селитры; фосфора – апатит, фосфорит, вивианит; калия – сильвин, сильвинит, ортоклаз, микроклин, мусковит, вермикулит; серы – пирит, халькопирит, сера, сфалерит, киноварь, молибденит, гипс, ангидрит; кальция – флюорит, кальцит, доломит, апатит, фосфорит, гипс, ангидрит, лабрадор; магния – магнезит, доломит, оливин, роговая обманка биотит, мусковит, вермикулит.

Контрольные вопросы

1. Что является объектом и предметом изучения науки геологии и геологических дисциплин? 2. Назовите методы геологии. 3. В чем заключается сущность принципа актуализма? 4. Какова форма и свойства Земли? 5. Назовите внутренние и внешние геосферы Земли. 6. Перечислите важнейшие свойства биосферы. 7. Назовите основные гипотезы происхождения Земли. 8. Что такое минералы, какие из них называются первичными и вторичными? 9. Назовите классы минералов по химическому составу. 10. Какие химические элементы преобладают в земной коре?

Глава 2 Процессы образования минералов и горных пород в эндогенной и экзогенной зонах

В зависимости от источника энергии все геологические процессы делятся на две группы: эндогенные и экзогенные. Эндогенные, т.е. рожденные внутри Земли, происходят под влиянием внутреннего тепла нашей планеты, а экзогенные, т.е. внешне рожденные, получают энергию Солнца. Эндогенные и экзогенные процессы играют противоположные роли: эндогенные создают неровности рельефа, а экзогенные их устраняют (разрушают). Эндогенные и экзогенные процессы имеют и различный характер проявления. Первые – горообразовательные процессы, извержение вулканов, землетрясения – действуют быстро, внезапно, захватывают большую толщу земной коры, вторые – течение рек, смыв поверхностных слоев земли, образование болот и др. – проявляются на первый взгляд незаметно, медленно, но идут постоянно. Важно знать, как эти процессы влияют на факторы почвообразования, генезис и свойства почв.

2.1. Понятие об эндогенных процессах

К эндогенным процессам относятся магматизм (вулканизм и плутонизм), землетрясения, горообразовательные процессы, тектонические движения.

Магматизм – это совокупность всех процессов, связанных с деятельностью магмы; включает эффузивные процессы (вулканизм) и интрузивные (плутонизм).

Вулкан – это круглое или в виде трещины выводное отверстие, через которое периодически из недр на поверхность извергаются горючие газы, пары, обломки горных пород, лавы. В настоящее время на нашей планете насчитывается более 5000 действующих вулканов (которые периодически или постоянно извергаются) и свыше 4000 потухших (об извержении которых нет ни исторических данных, ни каких-либо преданий). Действующие вулканы приурочены к молодым разломам земной коры.

Извергаемые вулканами продукты по физическому состоянию могут быть жидкими, твердыми и газообразными. Жидкие называются лавами – это силикатные расплавы, температура которых колеблется от 500 до 1600°С, а скорость течения в зависимости от уклона поверхности и химического состава расплавленной магмы составляет 5–30 км/ч. Лава, застывшая на поверхности Земли, образует излившиеся (эффузивные) магматические породы. Магма может не только изливаться на поверхность земли, но и внедряться в земную кору, образуя там глубинные (интрузивные) магматические породы. Твердые продукты представлены кусками пород разного размера – это вулканические бомбы, песок, пепел. Вулканический пепел, состоящий из мелких частиц, относится ветром на большие расстояния от кратера вулкана – на десятки и даже сотни километров. Почвы, образующиеся на вулканических пеплах, обладают специфическими свойствами и в целом высоким плодородием.

Землетрясения – это подземные толчки и сотрясения земной коры, возникающие в результате внезапных разрывов и смещений в земной коре и мантии, связанных с освобождением потенциальной энергии земных недр. Предсказать их очень сложно, хотя существуют приборы, фиксирующие подземные толчки, предшествующие землетрясению. Сила землетрясений оценивается по 12-балльной шкале.

Иногда образующиеся трещины вскрывают водо-, нефте- и газоносные горизонты. В этих случаях после землетрясения возникают родники подземных вод, выходы нефти, газовые

струи. Землетрясения случаются не только на суше, но и под водой. При колебаниях морского дна образуются волны большой высоты, называемые цунами, обрушиваясь на берег, они вызывают опустошительные разрушения.

Землетрясения, как и вулканы, приурочены к молодым разломам в земной коре.

Тектонические движения – это механические перемещения земного вещества, вызывающие формирование новых геологических структур или изменение прежних. Принято различать три типа тектонических движений: колебательные, складчатые и разломы.

Колебательные движения земной коры, или эпейрогенез – это очень медленные вертикальные перемещения земной коры. Характерной чертой этих движений является то, что в одном и том же месте может происходить то опускание, то поднятие. Таким образом, движение имеет обратимый колебательный характер.

Колебательные движения по времени проявления делятся на современные (происходят в настоящее время), новейшие (происходили в ближайшие 10–12 млн. лет) и древние (происходили в более ранние геологические эпохи).

Результатом современных колебательных движений являются, с одной стороны, осушенные гавани и дельты рек, висячие речные долины на берегах морей, а с другой – затопленные города, здания, сооружения. Подъем суши сопровождается отступлением моря (регрессией), а опускание – наступлением моря (трансгрессией). В настоящее время известно, что г. Курск поднимается на 3,6 мм в год, Вильнюс – на 2,3 мм, а такие города как Витебск, Москва, Санкт-Петербург, наоборот, опускаются соответственно на 1,4 мм/год, 3,7 и 2 мм/год.

Складчатые движения – это изгибы пластов горных пород без нарушения их сплошности. Такие движения встречаются в подвижных участках земной коры (геосинклиналях).

Разломы представляют собой разрывы и перемещения по ним пластов горных пород.

Складчатые движения и разломы приводят к образованию

гор и называются горообразовательными (орогеническими).

2.2. Процессы образования минералов в эндогенной зоне

При остывании магмы протекают различные процессы: магматические, пегматитовые, пневматолитовые, гидротермальные, в результате которых образуются минералы. При кристаллизации магмы образуются ультракислые, кислые, средние, основные и ультраосновные по содержанию SiO_2 породы. В составе магматических расплавов присутствуют раскаленные газы, в т.ч. водяные пары, и в разных количествах содержатся все известные химические элементы либо в свободном состоянии, либо в соединениях.

Магматические процессы – это процессы внедрения и излияния магмы, образования минералов при ее остывании и кристаллизации. При разных температурах и давлении выкристаллизовываются различные минералы. Минералами магматического происхождения являются полевые шпаты (ортоклаз, микроклин, плагиоклазы (альбит–анортит), биотит, оливин, слюда, магнетит, апатит и др.

Пегматитовые процессы – это процессы кристаллизации минерального расплава и образование минералов (пегматитов) в последние моменты его остывания. Пегматиты могут содержать кварц, микроклин, флюорит, мусковит, слюда, а также минералы, содержащие уран и радий.

Пневматолитовые процессы – это процессы образования минералов, связанные с остыванием раскаленных газов. При этом протекают различные сопровождающиеся минералообразованием химические реакции, например, реакция воды с летучими соединениями, реакция компонентов раскаленных газов с твердой массой уже образованных минералов и др.

Гидротермальные процессы – представляют собой процессы выпадения минералов из горячих водных растворов в результате их остывания. При наличии в земной коре трещин, высокотемпературные гидротермальные растворы попадают из

области высокого давления в область низких температур и давлений. В результате образуются минералы, называемые жильными. Это могут быть жильный кварц, кальцит, халцедон, флюорит. В гидротермальных жилах встречаются самородные минералы: золото, серебро.

Вулканические процессы – это процессы излияния магмы на поверхность земли и минералообразования при ее кристаллизации. При этом минералы образуются и из расплава, и из газов и паров, а также гидротермальных растворов. На поверхности земной коры все эти компоненты остывают очень быстро, вследствие этого породы отличаются пористостью, имеют стекловатую и скрытокристаллическую структуру. Такими породами являются обсидиан, пемза, базальт, называемые вулканическим стеклом.

Минералы, образующиеся из компонентов магмы, называются *первичными*. Оказавшись на земной поверхности, они подвергаются процессам выветривания под воздействием воды, кислорода воздуха, диоксида углерода, живых организмов. При этом образуются новые, так называемые *вторичные* минералы.

2.3. Понятие об экзогенных процессах.

Экзогенные процессы, включающие процессы выветривания, геологическую деятельность ветра и воды, в т.ч. снега и льда, имеют непосредственное отношение к почвообразованию, создавая почвообразующие породы, разные формы рельефа и разрушая уже сформированные почвы в определенных условиях.

Выветривание – совокупность сложных и разнообразных процессов количественного и качественного изменения горных пород и слагающих их минералов под воздействием атмосферы, гидросферы и биосферы.

Горизонты горных пород, где протекают процессы выветривания, называются корой выветривания. Выделяют

современные и древние коры выветривания. В современной различаются две зоны:

- 1) зона поверхностного выветривания;
- 2) зона глубинного выветривания.

Мощность коры современного выветривания, в которой может протекать почвообразовательный процесс, колеблется от нескольких сантиметров до 2–10 метров. Принято различать два основных типа кор выветривания: *сиаллитную* и *аллитную*. Первая распространена в районах с умеренно влажным климатом. Для нее характерно содержание в валовом составе пород 65–75% SiO_2 и 10–15% Al_2O_3 , в составе глинных минералов преобладают минералы группы монтмориллонита и гидрослюд. Аллитная кора выветривания распространена в субтропических областях, для нее характерно высокое содержание в породах валового алюминия (Al_2O_3 до 35%) при пониженном (до 50%) количестве SiO_2 . Аллитная кора выветривания отличается от сиаллитной и более высоким (в 2–3 раза) содержанием валового железа (Fe_2O_3 12–15%), в составе глинных минералов доминируют каолинит и галлузит.

2.3.1. Формы и процессы выветривания

В процессе выветривания различают по преобладающему действию тех или других факторов три формы: физическое, химическое и биологическое.

Физическое выветривание – это механическое раздробление горных пород и минералов без изменения их химического состава. Схема выветривания довольно проста: при нагревании все тела расширяются, при остывании – сжимаются, при этом образуются трещины, в которые попадает вода, замерзает, а лед разрывает породу. Выветривание начинается с поверхности, где возникают большие градиенты суточных и сезонных температур. Постепенно выветривание захватывает более глубокие слои породы и затухает в поясе постоянных температур. Наиболее интенсивно оно протекает при больших амплитудах колебания температур. Например, в жарких

пустынях поверхность породы иногда нагревается до 60–70°C, а ночью охлаждается почти до 0°C. Разные породы имеют неодинаковые коэффициенты расширения, поэтому при нагревании расширяются неодинаково. Так, кварц и полевой шпат, расширяясь неравномерно, как бы теснят друг друга, и, сжимаясь при охлаждении, образуют мелкие трещинки.

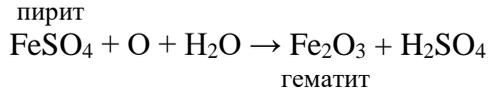
Физическое выветривание ускоряется при наличии воды, которая, проникая в трещины горных пород, создает капиллярное давление большой силы. Еще сильнее разрушающая сила воды при замерзании. При этом она расширяется на 1/10 своего объема и оказывает огромное давление на стенки трещин горных пород. В областях аридного климата аналогичную роль играют соли, проникающие в трещины и кристаллизующиеся в них. Так, ангидрит (CaSO_4), присоединяя воду, превращается в гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и увеличивается в объеме на 33%.

В результате физического выветривания образуются скопления обломков, способные пропускать воздух и воду. При разрыхлении и раздроблении массивных пород значительно увеличивается общая поверхность отдельных обломков, что создает благоприятные условия для проявления химического выветривания.

Химическое выветривание – это процесс химического изменения и разрушения горных пород и минералов с образованием новых минералов и соединений.

Важнейшими факторами этого процесса являются вода, углекислый газ и кислород. Вода – энергичный растворитель горных пород и минералов. Разложение минералов водой усиливается при насыщении ее углекислым газом; последний придает воде кислую реакцию, что увеличивает разрушающее действие на минералы.

На ход химического разложения минералов влияет и температура. Известно, что повышение ее на каждые 10°C ускоряет течение химических реакций в 2–2,5 раза. Этим объясняется интенсивное химическое выветривание в экваториальных областях и замедленное в полярных.



В результате химического выветривания изменяется физическое состояние минералов и разрушается их кристаллическая решетка. Порода обогащается новыми (вторичными) минералами и приобретает связность, влагоемкость, поглонительную способность и другие свойства, благоприятных для протекания почвообразовательных процессов. Кроме этого элементы питания растений, содержащиеся в минералах в недоступной форме, переходят в доступную.

Биологическое выветривание – механическое разрушение и химическое изменение горных пород и минералов под действием организмов и продуктов их жизнедеятельности. При биологическом выветривании организмы извлекают из породы необходимые для построения своего тела минеральные вещества и аккумулируют их в поверхностных горизонтах породы, создавая условия для формирования почв.

Корни растений и микроорганизмы выделяют во внешнюю среду углекислый газ и различные кислоты (щавелевую, яблочную, янтарную и др.), которые оказывают разрушающее действие на минералы. Нитрификаторы образуют азотную кислоту, серобактерии и тионовые бактерии – серную. Эти кислоты растворяют многие минеральные соединения и усиливают процесс выветривания. Микроорганизмы и корни растений при дыхании выделяют углекислый газ, различные кислоты и участвуют в реакциях гидролиза, которые в этом случае можно отнести к биохимическим.

Доказано, что диатомовые водоросли, строя свой панцирь из кремнезема, способны разлагать алюмосиликаты. Слизистые выделения силикатных бактерий могут разрушать полевые шпаты, грибы рода пенициллиум выделяют вещество, которое разрушает первичные минералы.

Значительное участие в биологическом выветривании принимают лишайники, выделяя углекислоту и специфические кислоты. Лишайники разрушают породы как химически, так и

механически путем проникновения гиф по плоскостям спайности внутрь зерен первичных минералов.

Животные, как и растения, механически разрыхляют горные породы и своими выделениями способствуют их изменению.

Характер разрушения при выветривании зависит от условий среды, в которой оно протекает, от минералогического состава пород, в частности от содержания SiO_2 . Так, при выветривании кислых пород (содержащих большое количество SiO_2) образуются преимущественно пески и супеси, при выветривании средних пород (содержащих меньше SiO_2) – суглинки, и при выветривании основных пород (с небольшим количеством SiO_2) – тяжелые суглинки и глины.

Разные породы и минералы обладают неодинаковой устойчивостью к процессам выветривания. Наиболее устойчивы мономинеральные метаморфические породы (например, кварциты), менее устойчивы полиминеральные. Больше всего подвержены выветриванию вулканические пеплы, отличающиеся высокой пористостью и содержанием минералов, легко поддающихся выветриванию. Из минералов наиболее устойчивым к выветриванию является кварц, поэтому он накапливается в коре выветривания. Менее устойчивы к выветриванию минералы, в состав которых входят закисные формы железа. Промежуточное положение занимают полевые шпаты. При выветривании наряду с разрушением первичных минералов образуются и вторичные минералы.

Интенсивность выветривания определяется главным образом температурой и количеством осадков. В условиях засушливого климата растворимые продукты выветривания накапливаются, в условиях влажного климата – выщелачиваются. Поэтому на земном шаре образуются различные типы коры выветривания, различающиеся по минералогическому составу.

2.3.2. Геологическая деятельность ветра, временных водных потоков, рек и ледников

Геологическую деятельность ветра называют эоловым

фактором (по имени Эола – бога ветра в древней мифологии). *Ветер* – это движение воздушных масс, происходящее вследствие разности атмосферного давления, возникающей при неравномерном нагревании воздуха. Геологическая работа ветра заключается в разрушении, переносе и аккумуляции обломочного материала, находящегося на поверхности земли, а также верхних горизонтов почв. В результате деятельности ветра образуются новые типы осадков и различные формы рельефа. Работа ветра состоит из корразии и дефляции.

Корразия – это механическое разрушение горной породы под действием ударов мелких переносимых ветром песчинок. Корразии подвергаются горные породы, находящиеся на небольшой высоте от поверхности земли, в результате образуются ниши выдувания, карнизы и т.д. На месте остаются твердые породы останцы в виде различных башен, столбов, грибов и т.д.

Дефляция – это выдувание частиц разного размера с поверхности горных пород и почв. Интенсивность проявления этого процесса связана со скоростью ветра, твердостью пород, устойчивостью почв к разрушению ветром. Чем меньше размер частиц, тем при меньшей скорости ветра они приходят в движение и переносятся на большее расстояние. Поднятые в воздух частицы, оседают на земную поверхность или выпадают вместе с осадками. Таким образом, ветер сортирует частицы, унося на большие расстояния мелкие (пылеватые, илестые) и оставляя на месте более крупные (песчаные).

С деятельностью ветра связаны такие своеобразные формы рельефа как дюны и барханы, особенностью которых является их подвижность. Аккумулятивная деятельность ветра способствовала созданию лёссовых пород, которыми покрыто около 10% суши. Лёссы характеризуются палево-желтой окраской, рыхлостью, пористостью, наличием карбонатов, отсутствием частиц крупнее 0,25 мм, обогащенностью пылеватыми частицами (их содержание достигает 50–70%).

Геологическая работа ветра обуславливает ветровую эрозию почв, защита от которой является одной из первоочередных

задач в деле охраны почв.

Геологическая деятельность временных водных потоков. Временные водные потоки образуются в результате выпадения дождевых осадков большой интенсивности и таяния снега при наличии уклона поверхности. Захватывая мелкие частицы почв и пород, водные потоки ежегодно уносят в море до 17 млн. т взвешенного твердого вещества, т.е. осуществляют разрушительную работу и вызывают эрозию земной поверхности. Вследствие деятельности поверхностных текучих вод происходит перенос и накопление осадочных пород, создаются почвообразующие породы и определенные формы рельефа.

Водная эрозия земной поверхности проявляется в форме смыва и размыва, что является основой для выделения двух видов эрозии – *поверхностная (смыв)* и *линейная (размыв)*. *Смыв* почвы и породы, или поверхностная эрозия, выражается в постепенном, более или менее равномерном удалении с поверхности склонов механических частиц при стоке талых или дождевых вод. Этот вид эрозии наносит большой вред сельскому хозяйству, поскольку водные потоки уносят с полей почвенные частицы из верхнего, наиболее плодородного, содержащего элементы питания растений, горизонта. *Размыв* почвы или породы – это разрушение поверхности в вертикальном направлении на узком участке в суженном русле. В результате размыва на поверхности земли возникают водороины, промоины и овраги.

Более подробно вопросы эрозии почв рассматриваются во второй части данного учебного пособия (см. Раздел 4, глава 39).

Геологическая деятельность рек – постоянных водных потоков – соответствует линейной эрозии текучих вод. Реки размывают земную поверхность и образуют, в зависимости от возраста, разные по ширине и глубине долины. В жизни реки различают три стадии: молодости, зрелости и старости. Молодые реки характеризуются высокими скоростями течения воды, имеют глубокую и узкую долину, размываемый материал переносится на большое расстояние и отлагается в устье. При

достижении уровня воды в реке уровня воды в водоеме, куда впадает данная река, начинается стадия зрелости, на которой скорость течения воды замедляется, подмываются берега, расширяется долина, появляется пойма (участок долины, который в половодье заливадается водой). На этой стадии русло реки изгибается в обход препятствий, образуются излучины, меандры. В русле и пойме откладывается переносимый рекой материал (аллювий), река заливается в связи с малой скоростью течения, наступает стадия старости, на которой она может умереть, оставив после себя отдельные плесы. В определенных условиях может начаться вторая молодость реки. Это происходит в случае понижения базиса эрозии реки или подъема местности, где находится её исток. Вода начинает течь с большей скоростью, русло реки спрямляется, излучины и меандры отделяются от реки в виде стариц, река врезается в собственные аллювиальные наносы, образуя уступы, называемые террасами. Таким образом, старая река превращается в молодую, и эрозионный цикл повторяется вновь до стадии старения и т.д. По количеству террас можно определить сколько раз река омолаживалась.

Ценность рек для человека определяется не только тем, что они представляют собой источник воды и формируют месторождения полезных ископаемых. Речной аллювий, отлагаемый в поймах и остающийся на террасах после каждого цикла омоложения, является ценной почвообразующей породой.

Геологическая деятельность ледников и вечной мерзлоты. Ледники, представляющие собой воду в твердом виде, являются экзогенным фактором и осуществляют разрушение вмещающих пород, перенос и аккумуляцию обломочного материала. В результате деятельности ледников создаются своеобразные формы рельефа и образуются осадки и осадочные породы, часто играющие роль почвообразующих. *Ледник* – это масса льда определенной формы и значительных размеров, которая может передвигаться под действием силы тяжести и пластических свойств льда. Образуются ледники в условиях отрицательных температур при наличии большого количества снега, который

постепенно уплотняется, отдельные кристаллики его сплавляются в зерна, образуя фирн (зернистый снег). Последний при последующем уплотнении превращается в голубой глетчерный лед.

Различают ледники двух типов – материковые и горные. Первые имеют очень большие размеры: в Антарктиде – 13 млн. км² (при мощности 2–4 км), в Гренландии – 1,9 млн. км² (толщина льда 2,4 км). Доходя до краев суши, они обрываются и образуют айсберги – плавающие ледяные горы. Ледники, формирующиеся в горах, как правило, не велики. В зависимости от уклона поверхности и мощности ледяной толщи скорость их составляет 0,1–7,0 м/сут. Двигаясь вниз, ледники попадают в более теплые условия, тают, отлагают переносимый обломочный материал и питают реки.

Разрушительная деятельность ледников называется экзорацией, в результате которой образуются такие формы рельефа как кары и трюги, представляющие котлованы и долины с крутыми склонами, бараньи лбы (хорошо обточенные скалы, часто отполированные до блеска), курчавые скалы (скопление бараньих лбов). Переносимый ледниками обломочный материал называется *движущейся мореной*. При достижении территории с положительными температурами начинается таяние льда, и содержащийся в леднике обломочный материал отлагается на поверхность земли, образуя аккумулятивные формы рельефа, представленные *грядями конечно-моренных холмов*. Вытекающие из-под ледника водные потоки подхватывают мелкие частицы и уносят их на различные расстояния. При уменьшении силы водного потока (например, в результате снижения уклона) происходит оседание переносимых частиц и образование других аккумулятивных форм рельефа – *зандровых полей*. В понижениях, занятых ледниковым озером, взвешенный материал задерживается и постепенно оседает на дно. После высыхания на месте озера остается *озерно-ледниковая равнина*, также являющаяся аккумулятивной формой рельефа. Озерно-ледниковые отложения часто представлены так называемыми ленточными глинами.

Определенную рельефообразующую роль выполняет и вечная (многолетняя) *мерзлота*, развитая в высоких широтах (Север Сибири, Канады). Замерзание подземных вод в зоне вечной мерзлоты приводит к вспучиванию поверхности и образованию бугров. В результате протаивания линз ископаемого льда, вследствие чего в земле появляется пустота и проседает кровля, формируются отрицательные формы рельефа – термокарстовые воронки, блюдца, западины, провалы. Все эти формы рельефа играют определенную роль в процессе почвообразования.

2.3.3. Геологическая деятельность подземных вод, озер, болот и морей

Геологическая деятельность подземных вод. Подземные воды – это воды, находящиеся в рыхлых осадках и горных породах земной коры. Она занимает поры и трещины в магматических и метаморфических породах, в рыхлых осадках и осадочных породах. Вода, просачиваясь через толщу породы, доходит до водоупорного слоя и задерживается над ним в порах вышележащего слоя, последний называется водоносным. Подземные воды классифицируют по двум критериям:

- 1) по условиям залегания – почвенные, верховодка, грунтовые, межпластовые, трещинные и карстовые;
- 2) по гидравлическим признакам – на безнапорные и напорные (артезианские).

Грунтовые воды находятся в первом водоносном горизонте от поверхности земли постоянно, имеют обширный водосбор. Для них характерна различная глубина залегания – от нескольких сантиметров до 30–50 метров. По степени засоления они могут быть ультрапресными, пресными, слабо- и сильносоленоватыми, солеными и рассольными; по химическому составу (типу засоления) – гидрокарбонатно-кальциевыми, гидрокарбонатно-натриевыми, сульфатно-хлоридными, хлоридно-сульфатными, сульфатными и т.д. Минерализованные грунтовые воды, содержащие активные

химические элементы, например серу, бром, йод и др., а также газы (сероводород, углекислый газ и др.), оказывают бальнеологическое действие на организм человека и являются лечебными. Важной характеристикой пресных вод является жесткость, выражающаяся в градусах. Наиболее распространенным является немецкий градус жесткости: за 1 градус принимается содержание СаО в количестве 10 мг/л или MgO – 7,2 мг/л. Учитывая этот показатель, грунтовые воды делятся на мягкие (жесткость менее 6°), средней жесткости (6–12°), жесткие (12–30°) и очень жесткие (более 30°). Наилучшими вкусовыми качествами обладает вода с жесткостью 12–20°.

По капиллярам грунтовые воды поднимаются вверх. Уровень грунтовых вод, увлажняемый за счет поднятия воды по капиллярам, называется капиллярной каймой. Высота подъема воды зависит от гранулометрического состава грунта и характера поднимающихся растворов. Чем тяжелее гранулометрический состав, тем на большую высоту поднимается вода, чем сильнее минерализация, тем, как правило, меньше высота подъема жидкости. В глинах максимальная высота, на которую могут подниматься грунтовые воды, равна 6 м.

Временные грунтовые воды, скапливающиеся на небольшой глубине в горизонтах почвенного профиля на местном водоупоре, называются *верховодкой*. Она формируется локально, существует только в период обильного увлажнения (ливневые дожди, снеготаяние) и не имеет обширного водосбора.

Неглубокие грунтовые воды и верховодка влияют на почвообразование, обуславливая процессы оглеения, протекающие в анаэробной обстановке при избытке воды и недостатке кислорода.

Межпластовые воды находятся на большой глубине на втором водоупорном слое, т.е. между двумя водоупорами и в случае отсутствия напора непосредственно на почву не влияют. Если же межпластовые воды напорны, то в силу повышенного гидростатического давления за счет изогнутого строения

водоупорного горизонта вода поднимается вверх по закону сообщающихся сосудов и может достигать почвенных горизонтов и влиять на процессы почвообразования.

Важную роль грунтовые воды играют в процессах болотообразования, а их жесткость определяет характер растительности, участвующей в торфообразовании.

Как геологический фактор подземные воды производят разрушительную и созидательную работу (растворение, перенос, аккумуляция). С деятельностью подземных вод связаны такие явления, как карст, оползни, суффозия, исчезающие реки и др.

Являясь подвижными (скорость перемещения 0,1–1 м/сут), подземные воды переносят растворенные вещества, которые могут образовывать осадки при изменении температуры и давления в местах разгрузки. В результате растворения и выноса тех или иных веществ в земле появляются полости, которые называются пещерами. Образование пещер называется карстом. С потолка пещер в виде сосулек свисают *сталактиты*, а на дне пещер появляются *сталагмиты* – наросты от падающих на пол капель. И те, и другие сложены арагонитом (CaCO_3). Увеличиваясь в размерах, сталактиты, растущие сверху вниз, и сталагмиты, растущие снизу вверх, иногда смыкаются своими вершинами и образуют колонны. Поверхность земли, находящаяся над пещерой, постепенно оседает, возникают понижения в виде воронок и карстовые провалы, где часто исчезают реки, поскольку текут под поверхностью земли в пещерах, а затем вновь выходят на поверхность.

Пустоты в земле могут образовываться не только путем растворения тех или иных веществ подземными водами, но и в результате вымывания тонких частиц (глинистых и илистых). Это явление называется *суффозией*, или *глинистым карстом*.

В некоторых случаях возможен выброс на поверхность земли грунтовых вод, под слоем которых находится пласт нефти (так называемые грязевые вулканы).

Геологическая деятельность озер и болот. Озеро – это водный бассейн, не соединяющийся с открытым морем. Они занимают 1,8% поверхности суши. Лимнология (наука,

изучающая озера) позволяет установить характер изменения климата в минувшие геологические эпохи в области развития озер, определить направленность происходивших эпейрогенетических движений, обнаружить полезные ископаемые (например, залежи солей).

Котловины озер по происхождению делят на эндогенные и экзогенные, последние в свою очередь подразделяются на ледниковые, речные (старицы), карстовые, плотинные. По способу питания озера могут быть атмосферного питания и ключевого (от грунтовых вод), по водному режиму – проточные и замкнутые, по химическому составу – пресные (чаще проточные озера) и соленые (как правило, бессточные замкнутые). В пресных озерах накапливается пресноводный озерный аллювий, а в соленых возможна аккумуляция солей. Существуют озера с отложениями сапропеля, представляющего собой плотную студенистую массу, образованную остатками животных и растительных организмов, смешанными с минеральными частицами. Сапропели используются в сельском хозяйстве в качестве органического и известкового удобрения, а в геологическом прошлом из них образовывались горючие сланцы.

Со временем по мере заполнения осадками озера мелеют. Когда слой воды уменьшается до 4 м и менее, солнечные лучи достигают дна, и в озере поселяется гидрофильная растительность. Начинается зарастание озера и превращение его в болото.

Болота могут образовываться не только при зарастании водоемов, но и другими путями при воздействии определенных гидрологических факторов. В болотах образуется торф – продукт специфической трансформации мертвого органического вещества в условиях анаэробно-биогенного процесса, при этом происходит накопление полуразложившихся растительных остатков и их консервация. Болотные почвы подробно рассматриваются во второй части данного учебного пособия (см. раздел 3, глава 26).

Геологическая деятельность морей может быть разрушительной и созидательной. Разрушительная выражается в

абразии – это растворение и механическое разрушение ударами волн и течениями коренных и рыхлых пород морских берегов. Обломки пород разрушающихся береговых линий подвергаются дальнейшему измельчению, иловатые частицы в результате приливов и отливов уносятся в море, а на берегу откладываются крупные окатанные обломки. Созидательная работа моря заключается в образовании новых геологических отложений, состоящих из обломочных горных пород, химических и органогенных осадков. Морские отложения разнообразны. Они могут быть представлены песками и ракушечником (на шельфах, т.е. на глубине до 200 м), минеральными илами (отложения материкового склона на глубине от 200 до 2500 м), диатомовыми, радиоляриевыми и другими илами (глубоководные отложения), после уплотнения и преобразования превращающимися в толщи известняков, мела, диатомита, трепела и др. Морские осадочные породы имеют большое значение в жизни человека, поскольку содержат агрономические руды: известняки, фосфориты, гипсы, сильвиниты и др.

Поступающие в море в растворенном состоянии химические элементы либо выпадают в осадок в результате химических взаимодействий с образованием новых минералов (доломит, кальцит и др.) или при испарении воды и, как следствие, повышении концентрации (например, аккумуляция каменной соли, гипса и других минералов в лагунах), либо поглощаются морскими растениями и животными. Часть солей остается в морской воде в растворенном состоянии.

Морская вода является сложным раствором, содержащим множество элементов, среди которых преобладают хлор (55%), натрий (30%), сульфат-ионы (7%), магний (3,7%).

Деятельность моря во многом определяется тектоническим режимом земной коры. При опускании суши происходит трансгрессия моря (наступление на сушу, сопровождающееся интенсивным разрушением берегов), при подъеме – регрессия моря (отступление, размыв берегов замедляется).

Таким образом, геологическая деятельность моря

выражается главным образом в образовании новых форм рельефа (береговые валы, косы, бухты, морские террасы) и новых горных пород – морских отложений (галечники, пески, глины, илы и др.), которые в случае отступления моря становятся осадочными породами, на которых формируются почвы.

2.4. Процессы образования минералов в экзогенной зоне и метаморфические процессы минералообразования

В экзогенной зоне протекают следующие группы процессов образования минералов: экзогидратогенные, процессы выветривания, минералообразование в водных бассейнах, биогенные и метасоматические.

Экзогидратогенные процессы образования минералов – это процессы выделения минералов из холодных нисходящих поверхностных водных растворов. Поверхностные воды, образуемые при таянии снега и выпадении дождевых осадков, фильтруясь через почву или рыхлые породы, растворяют различные минеральные соединения. При высоких концентрациях тех или иных ионов происходит образование и выпадение минералов. Таким образом может образоваться гипс, галит, кальцит и другие минералы.

Процессы выветривания протекают под воздействием температурных колебаний, воды, кислорода, диоксида углерода, живых растительных и животных организмов, разрушительной деятельности ветра, рек, моря, озер, ледников. Подробно эти процессы были рассмотрены выше (см. п. 2.3.1.).

Процессы минералообразования в водных бассейнах – это процессы осаждения минералов в морских и океанических мелководьях (заливах, лагунах), в бессточных соленых озерах при интенсивном испарении воды в условиях жаркого климата. При этом концентрация солей значительно возрастает, раствор становится перенасыщенным, и происходит осаждение различных солей. Так образуются минералы тенардит (Na_2SO_4), галит (NaCl), сильвинит ($\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$) и др.

В настоящее время в срединно-океанических хребтах (СОХ) Тихого, Атлантического и Индийского океанов установлен современный процесс сульфидообразования. Океанические воды в СОХ проникают по разломам в нижние горизонты океанической коры, нагреваются и, взаимодействуя с породами коры и верхней мантии, трансформируются в высокотемпературный рудоносный раствор. При этом образуются гидротермальные циркуляционные системы, рудоносный раствор которых обладает повышенной плавучестью, что является главной причиной его подъема к поверхности дна (Парначев В.П., 2011).

Состав первичного гидротермального рудоносного раствора, образующегося в реакционной зоне рифтов на глубине 1–2 км, определяется условиями взаимодействия океанской воды и пород, составом последних, временем пребывания океанской воды в гидротермальной системе. В результате океанская вода из слабощелочной натрий–магний–хлоридно–сульфатной трансформируется в кислую восстановительную натрий–кальций–хлоридную. Образовавшийся гидротермальный флюид содержит значительное количество сероводорода, обогащен водородом и метаном. Из поднимающихся высокотемпературных гидротермальных растворов («черных курильщиков»), имеющих температуру 270–400°С и более, отлагаются сульфиды цинка, меди и железа. При понижении температуры в составе отложений важную роль начинают играть нерудные минералы (сульфаты, кремнезем, кальцит и др.), среди которых сульфиды присутствуют в рассеянном виде. При еще более низких температурах восстановленные фации отложений сменяются окисленными, среди которых преобладают оксиды железа и марганца. В результате подповерхностного смешения гидротермального флюида «черного курильщика» (86%) с океанской водой (14%) образуется так называемый «белый курильщик». Время формирования гидротермальных залежей оценивается пределами от 1000 до 50 тыс. лет.

Биогенные процессы минералообразования совершаются при

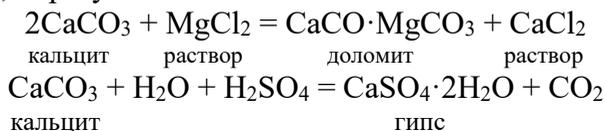
участии живых организмов, а образующиеся минералы называются биолитами. Существуют различные пути образования биолитов:

1) минералы образуются при жизни организмов и освобождаются после завершения их жизненного цикла. Так образуются CaCO_3 известняка из раковин моллюсков, SiO_2 диатомита из кремнистых раковин диатомовых водорослей и т.д.

2) минералы образуются и выделяются в процессе жизнедеятельности организмов в результате биохимических процессов. Так, при участии микроорганизмов образуются гидроксиды железа, соединения марганца, натриевая и калиевая селитры и другие биолиты.

3) минералы образуются только после завершения жизненного цикла организмов, после их сложных изменений и различных трансформаций. Таким путем образуются фосфориты, ископаемые угли и др.

Метасоматические процессы минералообразования связаны с заменой катионов или анионов в ранее образованных минералах в результате воздействия на них растворов, содержащих различные химические соединения и элементы. Так, например, при замене в кальците известняка катионов кальция на магний, содержащийся в растворе, образуется доломит и магнезит, а при воздействии на кальцит раствора серной кислоты в результате замены карбонатного аниона на сульфатный, образуется гипс:



Таким образом, метасоматоз может быть катионным и анионным.

Метаморфические процессы минералообразования. Минералы, образованные в эндогенной или экзогенной зоне, в результате тектонических движений земной коры могут оказаться в ее глубинных слоях под воздействием высоких температур и давления, а также в новых химических условиях,

что приводит к превращениям (метаморфизму) одних минералов в другие. Процессы, совершающиеся в зоне метаморфизма, называются метаморфическими. Они, как правило, имеют противоположную направленность, по сравнению с процессами, совершающимися в верхних слоях земной коры. К ним относятся процессы дегидратации, деоксидации, декарбонатизации. Например, в результате потери воды опал превращается в халцедон и кварц, а лимонит – в гематит, последний, лишаясь части кислорода, в магнетит.

Итак, минералы могут иметь разное происхождение, причем один и тот же минерал часто образуется разными путями. Так, например, кварц может образоваться в результате магматических, пневматолитовых, гидротермальных, биогенных процессов, при химическом выветривании и т.д.

2.5. Горные породы и их образование

Горные породы представляют собой комплекс минералов, обладают относительно постоянным химическим составом и свойствами. Существуют полиминеральные породы, состоящие из нескольких минералов, и мономинеральные, состоящие из одного минерала. В отличие от минералов, горные породы, слагающие литосферу, характеризуются определенной формой, большими размерами и не имеют химической формулы (даже мономинеральные породы содержат различные примеси). Горные породы характеризуются сложением (текстурой) и структурой. Сложение (текстура) – это внешний вид пород, оно может быть массивное, слоистое, землистое и т.д. Структура – это форма и взаимное расположение минералов в горной породе (зернистая, скрытокристаллическая, стекловатая и т.д.). По происхождению горные породы делятся на три группы: магматические, осадочные и метаморфические.

2.5.1. Магматические горные породы

Магматические породы образуются при застывании

(кристаллизации) магмы. Возникая первыми на Земле за счет её внутреннего тепла, они называются первичными. Другое их название – эндогенные. Эти породы слагают литосферу, на их долю приходится 95% массы земной коры. При застывании магмы внутри Земли охлаждение ее происходит медленно, и минералы успевают принять кристаллическую форму. Так образуются *интрузивные* (глубинные) породы, имеющие полнокристаллическую структуру и массивное сложение. К ним относятся гранит, габбро, дунит, сиенит, диорит и др. Если магма изливается на поверхность Земли, то остывание ее идет быстро, минералы не успевают пройти стадию кристаллизации, и образующиеся *эффузивные* (излившиеся) породы имеют аморфное строение, или неполнокристаллическое. Излившимися породами являются базальт, андезит, трахит, липарит и др.

Оказавшись на поверхности Земли, магматические породы подвергаются процессам выветривания. Глубинные породы разрушаются быстро, т.к. минералы, входящие в их состав, характеризуются разными коэффициентами линейного и объемного расширения. При колебаниях температуры породы растрескиваются, в них попадает вода, которая, замерзая, трещины раздвигает. Эффузивные породы устойчивы к процессам выветривания.

По химическому составу (по среднему валовому содержанию SiO_2) магматические породы делятся на ультракислые, кислые, средние основные и ультраосновные:

Магматические породы	Среднее валовое содержание SiO_2 , %
1. Ультракислые	Более 75
2. Кислые (гранит, липарит)	65–75
3. Средние (сиенит, диорит, трахит, андезит)	52–65
4. Основные (Габбро, базальт)	45–52
5. Ультраосновные (дунит)	Менее 45

От минералогического состав породы зависит ее окраска. Так, основные и ультраосновные породы не содержат свободного кварца, а входящий в состав простых силикатов

кремнезем не может сделать породу светлой, поэтому эти породы темные. Кислые и ультракислые породы содержат большое количество кварца и полевых шпатов – светлых минералов, в связи с чем их окраска светлая.

Характеристика некоторых магматических горных пород приведена в таблице 3. При разрушении пород разного химического состава образуются различные осадочные породы. Так, при выветривании кислых пород образуются пески, при выветривании средних – суглинки, основных – глины.

Таблица 3 – Характеристика магматических пород (по Ковриго, Кауричеву, Бурлаковой (2000) в редакции В.П. Парначева)

Порода	Минералогический состав	Структура	Значение
Интрузивные породы			
Гранит мясо-красный, розовый, светло-серый (содержание SiO ₂ 65–75%)	Кварц, полевые шпаты (ортоклаз, микроклин), роговая обманка, слюды	Полнокристаллическая, равномернoзернистая, порфириовидная	Строительный и отделочный материал. Встречается в виде обломков в почвах на моренах и пролювии
Сиенит (SiO ₂ 52–65%)	Ортоклаз, микроклин, роговая обманка, биотит	То же	То же
Габбро (SiO ₂ 40–52%)	Плаггиоклазы (лабродор–анортит и др.), оливин, пироксен	Полнокристаллическая, среднеравномернозернистая	То же
Эффузивные породы			
Пемза	Различные минералы, обогащенные кремнием	Пенистая, сильнопузырчатая	Абразивный и строительный материал, встречается в виде обломков в почвах на вулканических породах
Вулканически	То же	Пузырчатая	Строительный

й туф			и отделочный материал, встречается в виде обломков в почвах на вулканических породах
Вулканическое стекло (обсидиан)	Кварц	Стекловатая	Художественные промыслы, встречается в виде обломков в почвах на вулканических породах
Базальт (эффузивный аналог габбро)	Плагиоклазы, авгит, оливин	Плотная, мелко- и скрытокристаллическая	Строительный материал, встречается в виде обломков в почвах на моренах и пролювии
Трахит (эффузивный аналог сиенита)	Ортоклаз, микроклин, роговая обманка, биотит	Порфировая тонкопузырчатого строения	То же

Магматические породы редко выступают в роли почвообразующих пород, главным образом в горных областях, так как на равнинах они перекрыты толщей осадочных пород.

2.5.2. Осадочные горные породы

Осадочные (или экзогенные) горные породы по происхождению являются вторичными, т.к. образуются из продуктов разрушения магматических и метаморфических пород на поверхности Земли в результате их выветривания и переотложения ветром, водами морей, постоянных и временных водных потоков (рек, талыми и дождевыми водами), ледниками, а также на дне водоемов. В зависимости от того, что осаждается (обломки или растворенные вещества) и как осаждается

(химическим путем или проходя через живые организмы), осадочные породы делятся три группы:

1. Обломочные (или механические) породы.
2. Химические породы (соли).
3. Биогенные породы (органогены).

К первой группе пород относятся рыхлые и сцементированные окатанные обломки валуны, галька, конгломераты, гравий, песок рыхлый и сцементированный (песчаник), лёсс, глина, щебень дресва и др. (табл. 4).

К группе химических осадочных пород относятся каменная соль (галит), сильвин, сильвинит, известняки, доломиты, фосфорит, гипс и другие соли, образующиеся за счет выпадения осадка при перенасыщении растворов.

Таблица 4 – Характеристика обломочных осадочных горных пород (по Ковриго, Кауричеву, Бураковой, 2000)

Название пород	Размер обломков, мм	Рыхлые окатанные формы	Сцементированные окатанные формы*	Рыхлые неокатанные формы	Сцементированные неокатанные формы*
Грубообломочные (псефиты)	Более 200 200–20 2–20	Валуны	Конгломераты	Глыбы	Брекчии
		Галька	То же	Щебень	–/–
		Гравий	То же	Дресва	–/–
Песчаные (псаммиты)	2–0,05	Песок	Песчаники	Частицы	Песчаники
Пылеватые (алевриты)	0,05–0,005	Алеврит	Алевролиты	–/–	Алевролиты
Глинистые (пелиты)	Менее 0,005	Глины	Аргиллиты	–/–	Аргиллиты
Смешанные (почвообразующие)	Каменистые: морены, гравийно-галечниковые отложения Некаменистые: флювиогляциальные пески и супеси, озерно-ледниковые отложения, покровные пылеватые или опесчаненные суглинки и глины, лёссовидные суглинки, лёссы				

*Природные типы цементов: кремнистый, карбонатный, железистый, глинистый и др.

Органогенные осадочные породы связаны с жизнедеятельностью организмов и представлены карбонатными породами (ограногенными известняками, мелом), кремнистыми отложениями, фосфатными и др. В эту группу включены торф, нефть, уголь.

В таблице 5 приведены некоторые характеристики химических и органогенных осадочных пород.

Осадки и осадочные породы отличаются благоприятными для почвообразования свойствами: рыхлым сложением, пористостью, водопроницаемостью, водоудерживающей и поглощательной способностью. Рыхлые осадочные породы являются главными почвообразующими породами, на них почти повсеместно развиваются почвы. Большинство осадочных пород являются агрономическими рудами.

Таблица 5 – Характеристика химических и органогенных осадочных пород (по Ковриго, Кауричеву, Бурлаковой, 2000)

Название породы	Минералогический состав	Значение, использование
Химические осадочные горные породы (карбонатные, галоидные, сульфатные, кремнистые, железистые, фосфатные аллитовые породы)		
Известковые туфы (травертины)	Кальцит, арагонит	Для известкования кислых почв
Калийные соли	Сильвин, сильвинит, карналлит	Калийные удобрения, в химической промышленности
Гипс	Гипс, ангидрит, глинистые минералы	Для гипсования щелочных почв. В различных областях народного хозяйства
Органогенные осадочные горные породы А) негорючие породы (акаустобиолиты) – карбонатные, кремнистые		
Известняки органогенные (ракушечные, коралловые и др.; разновидность – мел)	Кальцит, глинистые минералы	Для известкования кислых почв; в стекольной, цементной, бумажной, резиновой промышленности; в строительстве
Диатомиты, трепелы,	Опал, халцедон, кварц,	Тепло- и

опоки	глинистые минералы и др.	звукоизоляционный материал; в строительстве
Б) горючие породы (каустобиолиты) – углеродистые (твердые – торф, сапрпель, ископаемые угли, горючие сланцы и др.; жидкие – нефть; газообразные – горючие газы)		

2.5.3. Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы – это вторичные породы, образующиеся из магматических и осадочных пород в недрах Земли в результате глубоких превращений под воздействием высоких температур, давления и химически активных соединений. Например, известняк CaCO_3 превращается в мрамор CaCO_3 , глина в глинистый сланец, кварцевый песчаник в кварцит SiO_2 , и т.д.

К метаморфическим породам относятся сланцы, гнейсы, мрамор, кварциты и др. Они также выступают в качестве почвообразующих пород.

2.5.4. Агрономические руды

Агрономическими рудами являются горные породы и минералы, используемые в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений или сырья для их производства. Выделяют следующие группы агрономических руд:

- известковые
- гипсовые
- фосфорные
- калийные
- азотные
- органические
- агрономические руды для получения микроудобрений.

К *известковым агрономическим рудам* относятся мел (CaCO_3), известняки (CaCO_3), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), использующиеся в практике химической мелиорации при известковании кислых почв.

Гипсовые агрономические руды, представленные гипсом

($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и частично ангидритом (CaSO_4), используются в сельском хозяйстве для уменьшения щелочности почв (метод гипсования солонцов и солонцовых почв).

К *фосфорным агрономическим рудам* относятся апатиты ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2 \cdot \text{CaCl}_2$), фосфориты ($\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$), вивианит ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Апатиты используются как сырье для получения суперфосфатов. Поскольку апатиты содержат фтор, этот элемент, к сожалению, вносится в почвы вместе с получаемыми удобрениями, что по ряду причин является нежелательным. Фосфориты, также как и апатиты, перерабатываются на химических заводах с целью получения суперфосфата, но по иной технологии. После размола фосфоритов получается фосфоритная мука, также используемая в качестве удобрений как источник фосфора.

Вивианит – минерал болотного происхождения – не используется для промышленной переработки, однако, встречаясь в слоях низинного торфа, применяется как местное удобрение вместе с торфом (торфовивианит).

Калийные агрономические руды включают сильвин (KCl), сильвинит ($\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$), карналлит ($\text{KMgCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), являющиеся сырьем для получения калийных удобрений на химических комбинатах. Недостатком калийных руд является наличие в них хлора и большого количества пустой породы.

Азотные агрономические руды представлены чилийской (NaNO_3) и индийской (KNO_3) селитрами, однако месторождения этих минералов уже использованы человеком. В настоящее время минеральные азотные удобрения получают искусственно на заводах из азота атмосферы.

К *органическим агрономическим рудам* относятся торф и сапрпель, образующиеся в болотах и озерах. Они используются в качестве удобрений.

Агрономическими рудами для получения микроудобрений являются главным образом минералы класса сульфидов, содержащие микроэлементы. Например, халькопирит (CuFeS_2) – источник меди, молибденит (MoS) – меди, сфалерит (ZnS) – цинка и т.д. Обычно микроудобрения получают из отходов

добывающей и металлургической промышленности.

2.6. Классификация и характеристика почвообразующих пород

Почвообразующие породы подразделяются на генетические типы, основные из которых следующие: элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, озерные, ледниковые (моренные), флювиогляциальные (водноледниковые), покровные суглинки, лёссы, лёссовидные суглинки, эоловые отложения и морские отложения.

При выветривании горных пород образуется рыхлый материал, который при наличии уклона поверхности сортируется водными потоками. Материал, переносимый вниз по склону и отлагаемый в его нижней части, образует *делювий*, на месте же выветривания остается грубообломочный материал, называемый *элювием*. В горных областях мощные водные потоки (селевые) увлекают вниз весь рыхлый материал, попадающий на пути, и откладывают его у подножия гор. Так образуются плохо отсортированные горные породы, называемые *пролювием*. Таким образом, появляются элювиальные, делювиальные и пролювиальные почвообразующие породы.

Аллювиальные отложения являются осадочными обломочными породами, пересортированными и переотложенными речными водными потоками. Эти породы часто характеризуются значительной слоистостью и неоднородностью.

Озерные отложения формируются во впадинах рельефа, отличаются слоистостью, имеют суглинистый и глинистый гранулометрический состав, в них могут накапливаться карбонаты, а в засушливых районах – гипс и легкорастворимые соли.

Ледниковые (моренные) породы образуются на территориях, находившихся под воздействием твердых масс льда. К ним относятся различные морены: основная, конечная, донная, боковая. Это, как правило, каменистые отложения, содержащие

валуны, а также опесчаненные, некарбонатные, суглинистые породы.

Флювиогляциальные (водноледниковые) породы представлены отложениями вод тающих ледников. К ним относятся:

– озерно-ледниковые, образовавшиеся в ледниковых озерах и характеризующиеся слоистостью, отсутствием карбонатов, суглинистым и глинистым гранулометрическим составом;

– покровные породы, образовавшиеся на затапливаемых ледниковыми водами пониженных территориях. Эти отложения перекрывают более древние осадочные породы. Для них характерны некарбонатность и различный гранулометрический состав. Это могут быть гравийно-галечниковые отложения (в местах действия мощных потоков ледниковых вод), флювиогляциальные пески (отлагались из активных ледниковых вод).

Покровные суглинки образовались на обширных территориях в результате затопления спокойными потоками ледниковых вод и другими путями. Как правило, не содержат карбонаты, пылеватые, иногда опесчаненные.

Лёссы являются карбонатными, крупнопылеватыми, суглинистыми, буровато-желтыми породами. Существует несколько гипотез их происхождения: водно-ледниковая (П.И. Кропоткин, В.В. Докучаев), эоловая (П.И. Тутковский), делювиальная (А.П. Павлов).

Лёссовидные суглинки могут быть как карбонатными, так и некарбонатными, содержат значительную долю крупной пыли, иногда слоисты.

Эоловые (ветровые) отложения формируются в полупустынных и пустынных областях, некарбонатны, имеют песчаный гранулометрический состав.

Морские отложения могут быть минеральными донными и прибрежными, карбонатными и некарбонатными, засоленными и незасоленными, различного гранулометрического состава, часто слоисты.

1. Какие процессы называют эндогенными и экзогенными? 2. Что такое вулканы? 3. Что понимается под землетрясением? 4. Назовите типы тектонических движений, дайте их характеристику. 5. Какие процессы в эндогенной зоне относятся к магматическим, пегматитовым, пневматолитовым, гидротермальным, вулканическим? 6. Что называется выветриванием горных пород и минералов? 7. Охарактеризуйте сиаллитную и аллитную коры выветривания. 8. В чем заключается сущность физического, химического и биологического выветривания? 9. Охарактеризуйте геологическую деятельность ветра. 10. В чем выражается деятельность временных водных потоков? 11. Какова роль рек, ледников и вечной мерзлоты в рельефообразовании? 12. Назовите свойства подземных вод. В чем заключается геологическая деятельность подземных вод и их роль в почво- и болотообразовании? 13. Перечислите процессы минералообразования, протекающие в экзогенной зоне. 14. Какие минералы называют биолитами? 15. Охарактеризуйте метаморфические процессы минералообразования. 16. Какие породы называются магматическими? Какими свойствами они обладают? 17. Какие породы относятся к осадочным? Какова их роль в почвообразовании? 18. Как образуются метаморфические горные породы? 19. Назовите группы агрономических руд и охарактеризуйте их. 20. На какие генетические типы подразделяют почвообразующие породы?

Глава 3 Геологическая история Земли

Астрономический возраст планеты Земля, по данным академика О.Ю. Шмидта, составляет 6–7 млрд. лет. Геологический возраст, начинающий отсчет с момента появления жизни, насчитывает около 4 млрд. лет.

В геологическом возрасте планеты Земля принято выделять два крупных отрезка (зона): докембрий и фанерозой (табл. 6). Докембрий включает две эры: архейскую и протерозойскую, на протяжении первой жизнь была представлена только бактериями и синезелеными водорослями, после отмирания которых никаких отпечатков и окаменелостей не сохранилось. В протерозой живые организмы стали более разнообразными, появились бесскелетные животные – кишечнополосные.

Фанерозой включает три эры: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую, каждая из которых делится на периоды. Выделение эр и периодов основано на геологических

документах, представленных руководящими окаменелостями. Каждый период имеет определенные руководящие окаменелости: кембрий – трилобиты, силур – морские лилии, юрский – белемниты и т.д. Формирование осадочных пород происходило в то время, когда в морях и океанах жили эти животные, а после завершения жизненного цикла откладывались в пластах этих пород. Чем ниже пласт, тем он древнее.

В палеозойскую эру в силуре появились споровые растения, в период девона – голосеменные, а в пермский – покрытосеменные растения. Постепенно шло развитие животного мира от рыб к человеку.

Последний период кайнозойской эры – четвертичный, или антропоген, связан с появлением человека 1,8 млн. лет назад. В этот период окончательно сформировался современный растительный и животный мир, образовались современные ландшафтные зоны. В настоящее время идет четвертичный период кайнозойской эры.

Таблица 6 – Геохронологическая шкала (по «Стратиграфическому кодексу России», 2006)

Эон	Эра	Период	Возраст, млн. лет нижней границы периода	Главные горные породы, образовавшиеся за этот период или эру
Фанерозойский	Кайнозойская	Четвертичный	1,8	Моренные покровные глины, суглинки, валуны, галечники, гравий, песок, лёсс, торф
		Неогеновый	23	Пески, глины, песчаники, известняки, конгломераты, опоки, бурый уголь,
		Палеогеновый	65	

				фосфоритная галька
Мезозойская	Меловой	145	Глины, мел, известняки, пески, песчаники, конгломераты, опоки	
	Юрский	200	Пески, песчаники, конгломераты, известняки, фосфориты	
	Триасовый	251	Пески, песчаники, мергели, гипс, известняки, конгломераты	
Палеозойская	Пермский	295	Мергели, известняки, песчаники, гипс и ангидрит, каменный уголь, калийные соли	
	Каменноугольный	360	Мощные толщи известняков, кварциты, песчаники, каменный уголь, нефть	
	Девонский	418	Известняки, песчаники, нефть, каменный уголь, конгломераты, сланцы, калийные соли	
	Силурийский	443	Известняки, песчаники, конгломераты, сланцы	
	Ордовикский	490	Глинистые сланцы,	
	Кембрийский	535		

				конгломераты, песчаники, кварциты в небольшом количестве, известняки
Докембри-ский	Протерозойская	Позднепротерозойский (рифей)	1650	Кварциты, сланцы, гнейсы, мраморы, графиты
		Раннепротерозойский	2500	
	Архейская		Более 3800	Гнейсы, кристаллические сланцы

Отложения четвертичного периода большей частью являются почвообразующими, поскольку в силу своей молодости они ничем не перекрыты и выходят на поверхность Земли. В связи с этим они имеют большое значение для познания процессов почвообразования.

Четвертичный период наиболее короткий в истории Земли, он подразделяется на два неравных промежутка: ледниковый (плейстоцен) и послеледниковый (голоцен), насчитывающий 10–12 тыс. лет и продолжающийся в настоящее время. Особенностью четвертичного периода является резкое похолодание и развитие большого материкового оледенения. В органическом мире продолжалось господство млекопитающих и цветковых растений, появились человек и злаки. В связи с консервацией огромного количества воды в ледниках произошло понижение уровня воды в океане, а, следовательно, и базиса эрозии, что сопровождалось усилением глубоких размывов на суше, регрессией моря, исчезновением островов, соединением материков. В периоды потеплений в результате таяния ледников появлялись огромные потоки воды, переносящие большое количество обломочного материала. Одновременно происходил подъем уровня воды в океане и трансгрессия моря. Единого мнения о числе оледенений в четвертичный период среди ученых нет. Одни считают, что было три оледенения, другие – семь. Чередование ледниковых и межледниковых периодов влияло не только на климат, но и на

органический мир.

В поверхностном слое четвертичных осадочных пород сформировались почвы – уникальные природные тела, без которых невозможно существование жизни на Земле.

Контрольные вопросы

1. Какой астрономический и геологический возраст имеет планета Земля?
2. Какие эоны, эры и периоды выделяют в геологическом возрасте Земли?
3. Охарактеризуйте четвертичный период в истории Земли.

Раздел 2 Общее почвоведение

Глава 4 Почвоведение как наука

Почвоведение – это наука о почве, ее строении, составе, свойствах и географическом распространении, закономерностях ее происхождения, развития, функционирования и роли в природе.

Основы учения о почве как о самостоятельном естественно-историческом теле природы были заложены великим русским ученым Василием Васильевичем Докучаевым (годы его жизни 1846–1903) в конце 19 века. В дальнейшем оно развивалось его соратниками, учениками и последователями. В начале 20 века учение о почве оформилось в новую отрасль естествознания – *генетическое почвоведение* (генетическое потому, что в его основе лежит учение о генезисе, т.е. происхождении, развитии и эволюции, почв).

4.1. Понятие о почве, определение почвы

Почва – это рыхлый землистый слой, который служит средой для укоренения растений и является предметом земледельческой обработки – таково наиболее простое представление о почве. Первую научную формулировку определения почвы дал В.В. Докучаев. Он сказал, что почва «это поверхностно лежащие минерально-органические образования, которые всегда более или менее сильно окрашены гумусом и постоянно являются результатом взаимной деятельности следующих агентов: живых

и отживающих организмов (как растений, так и животных), материнской горной породы, климата и рельефа местности». В последней крупной работе «Лекции о почвоведении» (1901) В.В. Докучаев написал: почва «есть функция (результат) от материнской породы (грунта), климата и организмов, помноженная на время». В этом определении В.В. Докучаев ставит почву в ряд самостоятельных природных тел, имеющих свой возраст и историю образования, т.е. почва – это явление историческое, а также указывает на функциональные связи между почвой и всеми другими природными телами и явлениями.

Кроме генетического докучаевского направления в развитии науки о почве, согласно которому почва – самостоятельное природное тело, имеющее свою историю развития и находящееся в функциональной зависимости от других природных тел и явлений, в русской науке развивалось и другое направление, основоположником которого был П.А. Костычев (годы его жизни 1845–1895). В рамках этого направления почва рассматривалась только как рыхлый поверхностный слой суши земного шара, способный производить урожай растений, и изучалась с точки зрения плодородия. Это направление называют *агрономическим почвоведением*.

В современном почвоведении принято следующее определение почвы: *почва* – это обладающая плодородием сложная полифункциональная и поликомпонентная открытая многофазная структурная система в поверхностном слое коры выветривания горных пород, являющаяся комплексной функцией горной породы, организмов, климата, рельефа и времени.

Почва является особым биокосным, по выражению академика В.И. Вернадского, телом природы, поскольку она занимает особое промежуточное положение между живыми природными телами (живущими организмами) и косными (горными породами и минералами).

Особый статус почвы определяется следующими положениями:

1. В составе почвы участвуют минеральные и органические вещества, а также большая группа специфических органических и органоминеральных соединений – почвенный гумус, определяющий почвенное плодородие.

2. Неотъемлемую часть почвы составляют живые организмы (корневые системы растений, почвообитающие животные, микроорганизмы).

3. Почва, в отличие от других природных тел, является системой многофазной, включающей твердую (минеральную), жидкую (почвенные растворы), газообразную (почвенный воздух) и живую фазы.

4. Природные почвы состоят из генетических горизонтов, образовавшихся в результате изменения исходной горной породы в процессе почвообразования. Горизонты последовательно сменяют друг друга по вертикали вниз от поверхности земли. Вертикальная последовательность горизонтов образует почвенный профиль.

Почва имеет определенную протяженность в трех измерениях пространства, объем, границы, положение среди земных геосфер.

Нижняя граница почвы, согласно П.С. Коссовичу, – это глубина, на которую произошло изменение исходной горной породы в процессе почвообразования. Однако критерии ее выделения, предлагаемые разными исследователями, неодинаковы. Так, В.В. Докучаев нижней границей почвы считал максимальную глубину ее прокрашивания гумусом, П.А. Костычев – глубину проникновения основной массы корневых систем растений, К.Д. Глинка отождествлял нижнюю границу почвы с нижней границей коры выветривания, хотя и указывал на принципиальные различия между ними, Г.Н. Высоцкий определял нижнюю границу глубиной ее ежегодного промачивания атмосферными осадками.

В настоящее время в почвоведении принято относить к почве следующие основные горизонты: органогенный, торфяной, гумусово-аккумулятивный, элювиальный, иллювиальный, глеевый, а нижележащие горизонты

материнской и подстилающей породы, в соответствии с принципом В.В. Докучаева и П.С. Коссовича, относить к подпочве.

Верхней границей почвы считается поверхность раздела между почвой и атмосферой (для наземных почв) и между почвой и гидросферой (для подводных почв).

Боковая граница почвы является диффузной, поскольку почвенный покров сплошной, и почвы постепенно переходят одна в другую, и представляет собой вертикальную поверхность раздела между соседствующими почвами.

4.2. Место и роль почвы в природе: понятие о педосфере, глобальные функции почвы

Почва располагается на границе соприкосновения и взаимодействия геосфер Земли: литосферы, атмосферы, гидросферы. В системе земных оболочек почва формирует особую геосферу, которая называется педосфера, или почвенный покров Земли. Одновременно почва является составной частью биосферы.

Почва осуществляет следующие глобальные функции в природе:

1. *Обеспечение существования жизни на Земле.* Из почвы растения, а через них животные и человек получают минеральные элементы питания и воду, необходимые для жизнедеятельности. В почве накапливаются биофильные элементы, укореняются растения, обитают почвенные животные и микроорганизмы. Почва одновременно является следствием жизни и условием ее существования.

2. *Обеспечение постоянного взаимодействия большого геологического и малого биологического круговоротов веществ на земной поверхности.* При формировании земной коры, в результате вулканической деятельности, землетрясений, тектонических движений и т.д. первичные горные породы попадают на поверхность земли и подвергаются процессам выветривания. В поверхностной зоне коры выветривания

образуется почва, аккумулирующая элементы минерального питания для живых организмов, которые поглощаются растениями из почвы и, пройдя трофическую цепочку (растения–животные–микроорганизмы), возвращаются назад в почву, что и составляет сущность малого биологического круговорота веществ. Одновременно из почвы происходит частичный вынос элементов атмосферными осадками в гидрографическую сеть, в различные зоны аккумуляции и в конечном итоге в Мировой океан, где они дают начало образованию осадочных горных пород. Последние в геологической истории земли могут снова оказаться на поверхности в зоне выветривания. Это, так называемый, большой геологический круговорот веществ. Связующим звеном и регулятором взаимодействия двух этих циклов вещества на земной поверхности – малого биологического и большого геологического – является почва.

3. *Регулирование химического состава атмосферы и гидросферы.* Между почвой, являющейся пористой средой, и атмосферой постоянно происходит воздухообмен, т.е. почва, образно выражаясь, «дышит». Почвенное «дыхание» наряду с фотосинтезом и дыханием живых организмов участвует в создании и поддержании состава атмосферного воздуха. Кроме этого, почвенный покров, являясь важным звеном в круговороте воды, определяет состав веществ, поступающих в гидросферу.

4. *Регулирование биосферных процессов.* В частности почва, обладая плодородием, регулирует плотность жизни на Земле. Она имеет, как благоприятные для жизни растений, животных и микроорганизмов свойства (например, оптимальные водно-воздушный, пищевой, окислительно-восстановительный, тепловой режимы, слабокислую и близкую к нейтральной реакцию среды и т.д.), обеспечивая их жизнедеятельность, так и лимитирующие (ограничивающие) почвенное плодородие (например, высокую щелочность или кислотность, плотность, большое количество легкорастворимых солей, низкое содержание гумуса и т.д.). Плодородие почв, наряду с

климатическим фактором, во многом определяет распределение живых организмов и их плотность на суше Земли.

5. *Аккумуляция активного органического вещества и связанной с ним химической энергии на земной поверхности.* Природные почвы накапливают в верхних гумусо-аккумулятивных горизонтах то или иное количество гумуса, представляющего систему сложных высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот, являющихся источником элементов питания для растений и играющих важнейшую роль в создании почвенного плодородия. В гумусовой оболочке Земли сосредоточено огромное количество энергии ($n \cdot 10^{19}$ – $n \cdot 10^{20}$ кДж), примерно равное количеству энергии во всей биомассе суши Земли.

В жизни человека почве принадлежит существенная роль, поскольку благодаря почве обеспечивается основная масса получаемой человеком пищи. Почва является основным средством сельскохозяйственного производства и относится к категории невозобновимых природных ресурсов.

4.3. *Методология почвоведения, концептуальные подходы в почвоведении. Методы почвоведения*

Методология почвоведения. Основные методологические принципы генетического почвоведения, разработанные классиками русского почвоведения и их зарубежными коллегами, включают следующие концепции:

1. *Почва – это самостоятельное естественно-историческое тело природы, формирующееся на поверхности Земли из горных пород под воздействием факторов почвообразования.*

2. *Концепция единства природного почвенного тела, представляющего собой неразрывную совокупность генетических почвенных горизонтов, и связанная с ней концепция почвенного профиля и профильного метода почвенных исследований.*

3. *Концепция факторов почвообразования*, являющихся взаимосвязанным и взаимозависимым комплексом природных и антропогенных явлений, под воздействием которых развиваются и эволюционируют почвы.

4. *Концепция почвообразовательного процесса*, представляющего собой сложный комплекс «элементарных» почвенных процессов. Последние являются результатом взаимодействия, трансформации (синтеза и разложения) и миграции (вертикальной и горизонтальной) органических и минеральных веществ.

5. *Концепция историзма почвообразования и сукцессий* (последовательных смен) стадий почвообразования и эволюции почв.

6. *Концепция типов почв и типов почвообразования* как стадий на протяжении периода развития почвообразовательного процесса.

7. *Концепция современного почвенного покрова* как стадии в истории развития земной поверхности.

8. *Концепция типа почвы* как главной формы существования почвенных тел.

9. *Концепция почвенных режимов* динамики почвообразовательного процесса и функционирования почвы.

10. *Концепция почвенных зон и зональных типов почв* как основной формы организации почвенного покрова земли. Почвенные зоны отражают структуру и историю эволюции земной поверхности при взаимодействии литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы.

11. *Концепция систематики и классификации почв* как отражение реально существующих в природе различных по генезису и географическому распространению почв.

12. *Концепция непрерывности почвенного покрова*, в котором нет резких границ между отдельными почвами, границы между ними диффузны.

13. *Концепция почвенного индивидуума* как реально существующего природного тела в трехмерном пространстве.

14. *Концепция плодородия почвы* как ее исторически формирующейся главной функции, обеспечивающей жизнь на Земле и являющейся результатом жизни.

15. *Концепция педосферы* как специфической геосферы, являющейся связующим звеном между другими геосферами планеты и определяющей взаимодействие между ними.

Концептуальные подходы в почвоведении. В почвоведении широко применяется системный подход, почва рассматривается как сложная система с большим разнообразием внутренних и внешних функциональных связей. Важное методологическое и методическое значение имеет представление об иерархических уровнях *структурной организации почвы*, в основе которой лежит системный подход.

Наиболее низким уровнем структурной организации почвы является атомарный. Следующий уровень – кристалломолекулярный, или молекулярно-ионный, представленный молекулами и ионами в почвенном растворе, воздухе, на поверхности твердых почвенных частиц. Третий уровень структурной организации почвы – уровень элементарных почвенных частиц разного размера. Четвертый уровень представлен почвенными агрегатами (структурными отдельностями, педами, комками), а также новообразованиями в форме конкреций, стяжений, ортштейнов и др., встречающихся в почвенной массе изолированно. На пятом уровне структурной организации почвы выделяется почвенный горизонт, закономерные сочетания которых в почвенном теле дают почвенный профиль (почвенный индивидуум), который представляет собой следующий шестой уровень структурной организации. Седьмой уровень почвенной организации – почвенный покров, образованный различными комбинациями сменяющих друг друга почв.

Важное методологическое значение имеет разработанная В.В. Докучаевым *концепция почвы как зеркала ландшафта*, основанная на представлении о том, что почва есть результат развития из материнской горной породы под совокупным воздействием факторов почвообразования, изменение которых

приводит к изменению свойств почв и их строения. Почва отражает не только современные условия среды и состояние ландшафта, но и их прошлые состояния, историю их развития. В почвенном профиле в той или иной степени сохраняется информация о всех состояниях, которые когда-либо проходила почва.

Не менее важной является развитая В.А. Ковдой *концепция почвы как компонента биосферы*, согласно которой почва рассматривается как компонент биосферы и как подсистема в природных и антропогенных экосистемах.

Методы почвоведения. Почвоведение оперирует широким комплексом методов исследования почвы, основные из которых следующие:

* *Профильный метод* (разработан В.В. Докучаевым) – лежит в основе всех почвенных исследований, предполагает обязательное изучение почвы с поверхности на всю её глубину последовательно по генетическим горизонтам вплоть до материнской породы, при этом проводится сопоставление изучаемых свойств генетических горизонтов и материнской породы.

* *Морфологический метод изучения строения почвенного профиля* (разработан В.В. Докучаевым) – составляет основу полевой диагностики почв и является основным при проведении полевых почвенных исследований. Любые почвенные исследования начинаются с морфологического анализа почвы.

* *Сравнительно-географический метод* – основан на сопоставлении почв и факторов почвообразования в их историческом развитии и пространственном распространении.

* *Сравнительно-исторический метод* – основан на принципе актуализма и дает возможность исследовать прошлое почв и почвенного покрова на основе изучения современной природной обстановки. Этот метод широко используется в палеопочвоведении – науке о прошлых почвах и признаках прошлых эпох в современном почвенном покрове.

* *Метод почвенных ключей* – в основе метода лежит детальное генетико-географическое изучение небольших

репрезентативных участков-ключей в пределах крупных территорий с однотипной структурой почвенного покрова. Полученные таким путем заключения интерполируются на всю эту территорию. Этот метод позволяет изучить большие территории с минимальными затратами средств и ресурсов.

* *Метод почвенных монолитов* – основан на принципе физического моделирования почвенных процессов (передвижения влаги, солей, обмена ионов и т.д.) с использованием монолитов, представляющих собой почвенные колонки ненарушенного строения.

* *Метод почвенных лизиметров* – используется для изучения процессов вертикальной миграции веществ в природных почвах с использованием специальных устройств – лизиметров, для этого почвенный монолит определенного объема погружается в водонепроницаемую оболочку и помещается в природную почву, а вытекающие из его нижней части почвенные растворы собираются в лизиметр и изучаются.

* *Метод почвенно-режимных наблюдений* – применяется для изучения кинетики современного почвообразования на основе измерения различных почвенных параметров (влажности, температуры, содержания гумуса, азота, солей и т.п.) в одной и той же почве через заданные промежутки времени на протяжении длительного периода (в течение вегетационного сезона, одного года или нескольких лет). Этот метод является основным при организации биосферного мониторинга.

* *Балансовый метод* необходим при изучении кинетики почвообразования. В основе его лежит тот факт, что запасы того или иного вещества в почве (солей, элементов питания и т.д.), а также энергии не постоянны за счет прихода и расхода их в единице объема почвы за определенный промежуток времени.

* *Метод почвенных вытяжек* широко используется для изучения элементов питания, фракционного состава гумуса, различных химических соединений и т.д. и основан на гипотезе о том, что каждый растворитель (вода, растворы кислот, щелочей или солей, органические растворители – спирт, ацетон,

бензол и т.п.) экстрагируют из почвы при определенных условиях ту или иную группу соединений.

* *Аэрокосмические методы* – включают инструментальное или визуальное изучение фотографий земной поверхности, полученных в разных диапазонах спектра, с разной высоты, а также прямое исследование спектральной отражательной или поглотительной способности почвы с самолетов и космических аппаратов. Эти методы позволяют исследовать географическое распространение почв, динамику различных параметров – влажность, плотность, содержание солей, гумуса и т.д.

* *Радиоизотопные методы* применяются для изучения процессов миграции в почвах и экосистемах различных соединений на основе использования меченых атомов (радиоактивных изотопов). Соотношение изотопов ^{12}C : ^{14}C используется для определения возраста почв.

В почвоведении широко применяются физические, физико-химические, химические и биологические *аналитические методы* для анализа вещественного состава почв, при определении гранулометрического, минералогического, химического состава.

Распространен *биогеоценотический*, или *экосистемный метод*, при этом одновременно изучаются все компоненты биогеоценоза в определенных условиях географической среды: почва, растения, животные, микроорганизмы, атмосфера, природные воды.

Важнейшими в почвоведении являются *полевые почвенные методы*, включающие экспедиционные и стационарные. Это картирование почвенного покрова, маршрутные почвенные обследования, режимные наблюдения на специально оборудованных стационарах и опытных станциях, модельные эксперименты в природных условиях и т.д.

Широко используется *системный методический подход*, согласно которому почва рассматривается, с одной стороны, как целостная система, состоящая из множества взаимодействующих подсистем-блоков, а с другой – как подсистема в экосистемах биосферы.

4.4. Связь почвоведения с другими науками

Генетическое почвоведение развилось из *геологии* и до настоящего времени сохраняет с ней методические и методологические связи. Без изучения геологического строения и геологической истории земной поверхности невозможно правильно понять генезис почв и почвенного покрова.

С почвоведением связаны такие геологические дисциплины как *петрография, минералогия, кристаллография*, поскольку методы этих наук применяются для изучения минералогического состава почв.

Гидрогеология играет важную роль в решении вопросов формирования и функционирования водного режима почв.

Динамическая геология и ее разделы – тектоника, вулканология, сейсмология – необходимы для познания генезиса и эволюции почв.

В почвообразовании и географии почв важное значение имеет рельеф, чтобы понять и оценить его роль необходимы знания *геоморфологии*.

Геодезия и картография также имеют тесную связь с почвоведением, поскольку составить почвенную карту без этих областей знаний невозможно.

Почвоведение связано и с *геохимией*, с такими ее разделами как *биохимия* и *гидрохимия*. Эти знания важны при изучении процессов и закономерностей миграции и трансформации веществ на земной поверхности.

Климатология и *метеорология* позволяют оценивать роль климата и атмосферных факторов в формировании почв, в создании их водного, теплового, пищевого, окислительно-восстановительного и других режимов.

Тесную связь с почвоведением имеют науки биологического цикла, которые особенно важны при решении вопросов, связанных с плодородием. В частности почвоведы используют методы *микробиологии, биохимии, физиологии растений*. Почвоведение связано и с *ботаникой, зоологией*, в науке о почве

имеется самостоятельный раздел – почвенная зоология. Почвоведы оперируют знаниями *экологии растений и животных*, современной *экологии* и *учения об окружающей среде*.

В почвоведении разработаны специализированные направления: химия почв, физика почв. Первое тесно связано с использованием подходов и методов *наук химического цикла*: аналитической химии, органической, физической, коллоидной химии, второе основано на приложении к почве законов *общей физики*.

Важной областью знаний, связанной с почвоведением, является *математика*, без знания которой невозможно развитие математического моделирования почвенных процессов, использование математической статистики и математического описания тех или иных физических или химических процессов в почве.

4.5. Краткая история возникновения и развития почвоведения

Историческое развитие почвоведения рассматривается по-разному. Одни авторы начинают с самого раннего периода первичного накопления фактов и эмпирических наблюдений (около 10 000 лет до новой эры) и затем довольно подробно описывают становление почвенной науки через древние цивилизации Месопотамии, Египта, Греции, Рима, через Средневековье, эпоху Возрождения, эпоху Промышленной революции вплоть до наших дней. Другие рассматривают историю почвоведения, начиная с 10 декабря 1883 года, т.е. с официальной даты рождения современного почвоведения. В этот день в Петербургском университете выдающийся русский естествоиспытатель Василий Васильевич Докучаев блестяще защитил докторскую диссертацию «Русский чернозем». В этой работе были заложены основы современного генетического почвоведения, сформулированы важнейшие положения учения о почве как самостоятельной естественно-исторической науки. В данном учебном пособии история науки почвоведения

рассматривается, согласно И.А. Крупеникову, который условно выделяет в ней 10 периодов.

Первый период связан с первичным накоплением разрозненных фактов о свойствах почв, их плодородии и способах обработки и относится к периоду неолита и бронзы (11–10 тысяч лет до новой эры). В это время человек уже начал отличать по плодородию песок от суглинка, болото от сухого места, стал применять различные способы обработки разных почв.

Второй период связан с обособлением знаний о почвах и введением первичного примитивного земельного кадастра во время развития рабовладельческого общества. Человек уже применяет орошаемое земледелие, создает оросительные и осушительные системы, знания о почве становятся более полными. К этому периоду относятся египетские папирусы с описанием качества земли («Палермский камень», «Бруклинский папирус» – 3500–3000 г.г. до н.э.), а также известный «Кодекс Хаммурапи», являющийся первым земельно-водным законодательством вавилонского царя Хаммурапи, регламентирующим земле- и водопользование.

Третий период характеризуется первичной систематизацией знаний о почвах и связан с Греко-Римской цивилизацией. Длительность этого периода составляет тысячелетие (с 8 века до н.э. по 3 век н.э.). К этому времени относятся многочисленные трактаты греческих и римских философов, в которых были отражены отдельные факты и наблюдения, описаны почвы разных мест, даны первые классификации (перечни) почв по их свойствам и ценности. В этот период разрабатывались рекомендации по сельскохозяйственному использованию различных почв. Наиболее известными в этом отношении являются трактаты Катона (о почве как природном явлении), Варрона (о применении удобрений), Колумеллы, написавшего трактат «О сельском хозяйстве» – первой в мире сельскохозяйственной энциклопедии. Его иногда называют «Докучаевым античного мира», поскольку он обладал широкими знаниями о земледелии и почвах.

Четвертый период охватывает эпоху феодализма (15–17 веков новой эры) и связан с развитием почвенно-оценочных работ в целях налогообложения. В это время проводятся интенсивные земельно-кадастровые работы. В большинстве стран мира официально был введен земельный кадастр. Наиболее известные труды по земледелию этого периода принадлежат Альберту Великому (Германия) и Петру Кресценция (Италия), написанные в 13 веке. В этих книгах были обобщены знания и рекомендации древних римлян.

В это время появляются землеоценочные акты в Германии, Англии, Франции, «Писцовые книги» в России, оценка почв в Литве, Белоруссии, Украине. В конце периода появляются новые идеи о почвах: рассуждения Френсиса Бекона (Англия) о водном питании растений, Бернара Палисси (Франция) и Френсиса Бекона о потреблении растениями солей из почвы, Леонардо да Винчи о круговороте веществ в природе и образовании почвы под воздействием растений.

Пятый период (18 век) характеризуется интенсивным экспериментальным и географическим изучением почв и их плодородия. В 1740 г. была опубликована «Книга о плодородии почвы» немецкого ученого Н.А. Кюльбея, в которой автор обосновал гипотезу водного питания растений. К этому периоду относятся идеи А. Тюрго (закон убывающего плодородия почв). Активно развиваются экспериментальные исследования. Так, Н. Валериус (Швеция), изучая гумус почв, в 1761 г. выдвинул гипотезу гумусового питания растений, Ф. Ахард (Германия) в 1786 г. извлек щелочью перегнойные вещества из торфа и осадил их серной кислотой, этот метод получения гуминовых кислот используется и в настоящее время. Появились и новые эволюционные идеи – русские ученые академики М.В. Ломоносов (1763), П.С. Паллас (1773), И.А. Гюльденштедт (1791) писали в своих трудах о происхождении почв. В знаменитых работах М.В. Ломоносова – «О слоях земных» (1763) и «Слово о явлениях воздушных» (1753) – высказывались прогрессивные для того времени взгляды на почву как продукт воздействия растений на горные породы.

Важным для развития почвоведения стало создание в 1765 г. в Петербурге Вольного экономического общества, которое публиковало труды по агрономии, освещало проблемы улучшения почв, повышения их плодородия. Особенно большое внимание уделялось черноземам – самым плодородным почвам. Обобщив имеющиеся материалы, М.И. Афонин в 1771 г. составил первую их классификацию.

Шестой период (19 век) совпадает с распространением капиталистического производства в земледелии Европы. В этот период интенсивно развиваются науки агрогеология и агрокультурхимия. Наиболее известными работами этого времени стали труды основателей агрохимии М.Э. Вольни, А.Д. Теера, Г. Дэви, М.Г. Павлова, Я. Берцелиуса, Ю. Либиха, Ж.Б. Буссенго. Ими были сформулированы основные принципы агрокультурхимии.

Большое значение для развития агрономических знаний имели труды русского агронома А.Т. Болотова, который подчеркивал необходимость изучения свойств почв с целью их правильного использования. Другой русский исследователь И.И. Комов придавал особое значение гумусу в формировании плодородия почв и питании растений.

В 1837 г. появляется монография К. Шпренгеля «Почвоведение или наука о почве», в которой впервые используется слово «почвоведение», однако почвы рассматривались в рамках геологической науки.

В 19 веке начинает развиваться почвенная картография: в 1851 г. под руководством К.С. Веселовского была составлена первая в России почвенная карта.

Однако привержены агрокультурхимии и агрогеологии придерживались старых представлений о почве как косной среде произрастания растений.

Седьмой период (конец 19 – начало 20 века) является периодом создания современного генетического почвоведения, он связан с именем В.В. Докучаева, совершившим научную революцию в естествознании. В 1883 г. был опубликован его труд «Русский чернозем», в котором сформулированы основные

положения учения о почве. В.В. Докучаев показал, что почва – это самостоятельное естественно-историческое тело природы, которое отличается от всех других природных тел, формируется из горных пород во времени под воздействием факторов почвообразования (климата, организмов, рельефа) и имеет свою историю развития. Почвы характеризуются определенным строением, специфическими свойствами, «живут» по своим законам, имеют свой возраст и распространяются на поверхности Земли не хаотично, а закономерно.

В.В. Докучаев развивал учение о факторах почвообразования, о зональности почвенного покрова, разрабатывал методы почвенных исследований (профильный, морфологический и др.), заложил основы современной картографии почв.

В 1886 г. В.В. Докучаев предложил первую генетическую классификацию почв. В 1892 г. была опубликована его работа «Наши степи прежде и теперь», содержащая рекомендации по преобразованию степей, комплекс мер по борьбе с засухами, улучшению водного режима почв.

В.В. Докучаев составил первую обзорную карту почв мира, в 1895 г. организовал первую в России кафедру почвоведения в Ново-Александровском сельскохозяйственном институте, которой руководил его ученик и последователь Н.М. Сибирцев, написавший первый учебник по почвоведению (1900 г.).

В это время была сформирована целая школа русских почвоведов во главе с В.В. Докучаевым. Его учениками и последователями являются Н.М. Сибирцев (профессор, создатель первого учебника генетического почвоведения), А.Р. Ферхмин (историограф докучаевского периода почвоведения), В.П. Амалицкий, Ф.Ю. Левинсон-Лессинг (академик, основатель петрографии), И.К. Кытманов, П.А. Землячченский, П.Ф. Бараков, Н.Н. Бурмачевский, А.Н. Краснов (географ, ботаник, почвовед, основатель Батумского ботанического сада), В.И. Вернадский (академик, основатель биогеохимии, основоположник учения о биосфере и ноосфере), ботаники Г.Н. Танфильев и Г.Н. Высоцкий (профессора, основатели

агролесомелиорации). К.Д. Глинка (академик, первый русский президент Международного общества почвоведов), П.В. Отоцкий (первый редактор журнала «Почвоведение», основанного в 1899 г.), Г.Н. Адамов. Учениками Докучаева были профессора С.А. Захаров, Н.А. Димо, Г.Ф. Морозов (основатель современного учения о лесе), академики Л.И. Прасолов, Б.Б. Польшов и др.

Труды В.В. Докучаева были широко известны за рубежом. Его работы публиковались на французском и немецком языках. Особый успех имели коллекции почв и почвенных карт В.В. Докучаева, которые получили признание на Международных промышленных выставках в Чикаго (1893 г.) и в Париже (1899 и 1900 г.г.).

К рассматриваемому периоду относится формирование московской школы почвоведов под руководством А.Н. Сабанина (годы его жизни 1847–1920), который с 1900 г. начал читать курс почвоведения в Московском университете. Р.В. Ризположенский основывает свою школу в Казани. В Петербурге в лесном институте профессор П.С. Коссович развивал химию почв на основе генетических концепций. Он является одним из основоположников изучения физических и химических свойств почв, высказывал оригинальные идеи по вопросам их эволюции.

Основателем агрохимического направления в почвоведении был П.А. Костычев (годы его жизни 1845–1895). Его деятельность была направлена на изучение плодородия почв, которые он рассматривал с агрономической точки зрения. Исследования П.А. Костычева связаны с изучением условий разложения растительных остатков в почве, роли микроорганизмов в этом процессе. Им была показана роль гумуса в создании её водопрочной структуры, имеющей огромное значение в создании плодородия, он тесно увязывал приемы по возделыванию культурных растений со свойствами почв.

Большое значение для развития генетико-агрономического направления в почвоведении играли труды В.Р. Вильямса,

который возглавлял созданную в 1894 г. кафедру почвоведения в Петровской земледельческой и лесной академии (в настоящее время Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева). В.Р. Вильямсу принадлежит учение о едином почвообразовательном процессе, он развивал теорию о подзолистом, дерновом, болотном процессах, подчеркивая роль гумуса в них. Его учебник «Почвоведение» выдержал пять изданий и многие годы являлся настольной книгой агрономов.

С 1899 г. начал издаваться отечественный научный журнал «Почвоведение», в котором публиковались статьи ведущих ученых почвоведов. В 1904 г. в Санкт-Петербурге при Вольном экономическом обществе был создан Центральный музей почвоведения.

Таким образом, новая естественная наука – генетическое почвоведение – зародилась в России. Однако наряду с русскими исследователями в ее развитии определенную роль играли и зарубежные ученые. Важное значение имели работы Е.В. Гильгарда (основатель почвенной школы США) и М. Уитни (организатор почвенной службы США и автор первой систематики американских почв), хотя в их работах многие вопросы еще рассматривались со старых агрогеологических позиций.

В Европе развитие почвоведения связано с именами М.Э. Вольни и Э. Раманна (Германия), Ю. Шлезинга (Франция), Г.М. Мургочи (Румыния), Н.П. Пушкарова (Болгария), П. Трейца и А. Зигмонда (Венгрия), С. Миклашевского (Польша), И. Копецкого (Чехословакия), Б. Аарнио и Б. Фростеруса (Финляндия).

В 1909 г. в Будапеште была проведена первая Международная агрогеологическая конференция, а в 1910 г. в Стокгольме – вторая. В них участвовали и русские почвоведы. Не смотря на господство агрогеологов в мировой науке, они уже постепенно стали сдавать свои позиции под напором докучаевских идей. Особенно большую роль в распространении докучаевских идей в мировом почвоведении сыграли учебники почвоведения Э. Раманна и К.Д. Глинки, опубликованные соответственно в 1905 и 1908 годах.

Восьмой период охватывает время между двумя мировыми войнами (1916–1941 г.г.) и характеризуется развитием докучаевского почвоведения, происходит становление новой науки. В это время был собран огромный фактический материал по характеристике (минералогической, химической, физической) почв разных стран, были сформулированы основные положения и концепции в области физики, химии, биологии почв. В учении о почве оформились в самостоятельные разделы специализированные направления: химия, физика, география, минералогия, биология почв, интенсивно развивались почвенно-картографические исследования и сельскохозяйственное почвоведение.

В 1924 г. на Четвертой Международной педологической конференции в Риме было создано Международное общество почвоведов. В 1927 г. в Вашингтоне состоялся первый Международный конгресс почвоведов, в 1930 г. в Ленинграде – второй конгресс, в 1935 г. в Оксфорде – третий.

В нашей стране (бывшем СССР) в 1922 г. была организована первая университетская кафедра почвоведения в Московском университете, в 1927 г. был создан Почвенный институт им В.В. Докучаева в системе Академии наук СССР, в 1939 г. – Всесоюзное общество почвоведов.

К этому периоду относятся классические исследования К.К. Гедройца, который изучал поглотительную способность почв, обосновал мероприятия по известкованию кислых почв и гипсованию щелочных. В это время были выполнены фундаментальные работы по изучению органического вещества почв И.В. Тюриным, М.М. Кононовой, Л.А. Александровой и другими исследователями, по исследованию минералогического состава и коллоидной химии почв Н.И. Горбуновым, Н.П. Ремезовым, А.Н. Соколовским и др. Гранулометрический состав и структуру почв изучали В.Р. Вильямс, Н.И. Савинов, Н.А. Качинский, физику почв – И.Б. Ревут, С.Ф. Нерпин, А.Ф. Чудновский, водные свойства и водные режимы почв – А.Ф. Лебедев, С.И. Долгов, А.А. Роде, тепловые свойства и тепловые режимы – А.М. Шульгин, В.Н. Димо. Развивались

микробиологическое направление (Е.Н. Мишустин, Т.В. Аристовская и др.), экология почв (В.Р. Волобуев), география и картография почв (С.С. Неуструев, И.П. Герасимов, К.П. Горшенин, М.А. Глазовская, Г.В. Добровольский), учение о структуре почвенного покрова (В.М. Фридланд), бонитировка почв (Ф.Я. Гаврилюк, С.Н. Тайчинов), эрозия почв (С.С. Соболев).

Почвоведение в это время оформилось в самостоятельную отрасль естествознания со своим собственным предметом и методами исследования. Русская школа почвоведения получила статус лидирующей в мировой науке.

Девятый период (1945–1975 г.г.) в истории почвоведения характеризуется инвентаризацией почвенного покрова мира и развитием международного сотрудничества. Интенсивно исследуется почвенный покров бывших колониальных и полуколониальных территорий Азии, Африки, Латинской Америки, в развивающихся странах мира создаются национальные кадры почвоведов путем широкой международной помощи в рамках организаций системы ООН (ФАО, ЮНЕСКО и др.), а также путем двустороннего сотрудничества. В этот период по инициативе советских почвоведов при посредстве ФАО и ЮНЕСКО был организован международный проект создания почвенной карты мира. В 1960 г. были начаты работы по ее составлению, в 1978 г. были опубликованы последние листы карты масштаба 1:5000000. В составление мировой почвенной карты большой вклад внесли российские почвоведы – М.А. Глазовская, Н.Н. Розов, В.Г. Зольников, С.В. Зонн и др.

Девятый период характеризовался проведением десятков международных конференций по разным проблемам почвоведения, созданием в Амстердаме Международного почвенного музея с богатейшей коллекцией эталонов почв мира.

Десятый (современный) период связан с осознанием экологических проблем, с которыми столкнулось человечество во второй половине 20 века и характеризуется интенсификацией работ по охране и рациональному использованию почвенного

покрова. Актуальной экологической проблемой является состояние почвенного покрова Земли. На огромных площадях почвы поражены различными деградационными процессами, подвержены не только относительному (вследствие роста населения), но и абсолютному (за счет разрушения и отчуждения) сокращению. Эти проблемы поднимались на Десятом Международном конгрессе почвоведов в Москве (1974). Были приняты Стокгольмское воззвание по проблемам окружающей среды (1972), Самаркандское воззвание по вопросам земельных ресурсов мира (1976), Всемирный план действия по борьбе с опустыниванием (1977), Всемирная почвенная хартия (1981), Основы мировой почвенной политики (1982) и др. В настоящее время почвоведомы разработаны международные проекты: карта деградации почв мира, социально-экономические аспекты потерь почв, классификация почв мира, методы оценки и картирования опустынивания.

В России создана служба по охране окружающей среды, в том числе почвенного покрова. Разрабатываются экспресс-методы для системы почвенного мониторинга, составляются областные карты эродированности почв и проекты по борьбе с эрозией, загрязнением, осуществляется поиск наиболее оптимальных агроприемов по повышению плодородия почв.

В отечественном почвоведении в последние десятилетия активно развивается концепция памяти почв. Почва является, согласно В.В. Докучаеву, зеркалом ландшафта, в связи с этим при изменении природной обстановки (климата, рельефа, биоты) происходит изменение её свойств. Однако информация о предыдущих условиях почвообразования не исчезает бесследно, она сохраняется в тех или иных почвенных параметрах. Расшифровка закодированной в почвенных показателях, свойствах информации позволяет восстанавливать историю формирования почвы и развития ландшафта в данной точке земли, а также строить кратко- и долгосрочные прогнозы поведения почвы в меняющейся природной среде.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение почвы. 2. Почему почва считается особым телом природы? 3. Охарактеризуйте нижнюю, верхнюю и боковую границу почвы.

4. Какое место занимает почвенный покров в системе оболочек земли? 5. Назовите глобальные функции, которые осуществляет почва. 6. Назовите основные концепции, составляющие методологическую основу почвоведения. 7. Назовите уровни структурной организации почвы. 8. Перечислите основные методы почвоведения. 9. С какими науками связано почвоведение? 10. Назовите основные периоды развития почвоведения, охарактеризуйте их. 11. Какие проблемы и задачи решаются в почвоведении на современном этапе?

Глава 5 Схема почвообразовательного процесса

5.1. Сущность почвообразовательного процесса и этапы его развития

Сущность почвообразования. Почвы образуются из горных пород в результате двух процессов – выветривания и почвообразования. Благодаря процессам выветривания плотные массивно-кристаллические породы превращаются в рыхлые осадочные, которые приобретают благоприятные для образования почв свойства – способны удерживать воду, пропускать воздух и др. Почвообразование начинается тогда, когда на горных породах поселяются простейшие живые организмы–пионеры (бактерии, водоросли, лишайники и т.д.), однако ведущую роль в почвообразовательном процессе играют высшие растения и микроорганизмы. Корневые системы растений, проникая в горную породу, извлекают из нее элементы минерального питания (фосфор, калий, кальций, магний, серу и др.). Биохимическая деятельность микроорганизмов способствует появлению в породе азота – необходимого для жизнедеятельности растений и других организмов. В результате процессов фотосинтеза, протекающих в растениях при использовании ими солнечной энергии, CO_2 воздуха, воды, зольных элементов и азота, создается органическое вещество, которое после отмирания растений концентрируется в верхних слоях породы и постепенно разлагается микроорганизмами. Одна часть продуктов разложения минерализуется с образованием конечных продуктов распада (CO_2 , воды, простых минеральных солей).

Другая часть используется микроорганизмами в качестве источника энергии, необходимой для их жизнедеятельности и построения плазмы, т.е. снова превращается в сложные белки, углеводы, жиры и другие органические соединения. Третья часть продуктов распада органических остатков трансформируется в новые высокомолекулярные азотсодержащие специфические гумусовые кислоты. Постепенно в верхних слоях породы формируется почва, состоящая из серии генетических горизонтов, специфичных для каждого типа почвообразования, отличающихся от горной породы и различающихся между собой по физическим, химическим, физико-химическим, биологическим свойствам, вследствие процессов вертикальной миграции живого вещества и энергии. Формируется важнейшее свойство почвы – плодородие, обусловленное биологической аккумуляцией в верхнем гумусо-аккумулятивном горизонте элементов питания растений и благоприятными для создания урожая свойствами (структурой, сложением, влагоемкостью и т.д.).

Скорость и направленность почвообразовательных процессов находится в зависимости от количества поступающей энергии и количества энергии, расходуемой на отражение от поверхности почвы, на процессы теплообмена, испарения влаги, фотосинтез. После отмирания растений энергия, накопленная в их остатках, в процессе минерализации превращается в тепловую, химическую и расходуется на процессы биологического выветривания, синтез вторичных минералов и т.д. Большое количество энергии накапливается в гумусе, который представляет собой систему специфических гумусовых веществ – гуминовых кислот, фульвокислот и гумина (негидролизуемого остатка).

Итак, образование почвы начинается с момента поселения живых организмов на поверхности горных пород. В истории Земли первые процессы почвообразования связаны с появлением жизни. Этому предшествовали процессы физического и химического выветривания плотных коренных горных пород на земной поверхности. В верхних тонких слоях

выветривающихся пород поселились первые микроорганизмы, и начался так называемый первичный почвообразовательный процесс. Прошли миллионы лет, плотные породы под воздействием агентов выветривания превратились в рыхлые осадочные породы, на которых также образовывались почвы. Однако на протяжении длительного геологического времени они неоднократно уничтожались в результате деятельности моря, ледников, ветра, талых и дождевых вод, перемешивались с рыхлыми породами, вновь откладывались в виде новых осадочных пород, на которых снова начинался процесс почвообразования. Образуясь из бесплодных горных пород, почвы претерпевают качественные изменения, и, несмотря на разный минералогический состав, в значительной степени унаследованный от почвообразующих пород, они приобретают общий для всех признак – плодородие, т.е. способность производить урожай растений. В зависимости от конкретных природных условий (климата, рельефа, пород, времени), в которых идут процессы почвообразования, формируются почвы с разным морфологическим (внешним) обликом и уровнем плодородия.

Этапы развития почвообразовательного процесса. В развитии почвообразовательного процесса принято выделять три этапа:

1. Первичный почвообразовательный процесс, т.е. начальный этап изменения горных пород.

2. Этап дальнейших изменений в результате процессов выветривания плотных горных пород с образованием рыхлых осадочных пород и накоплением в них почвенных признаков, неоднократное переотложение их ледниками, реками, морем, ветром, временными водными потоками и образование новых рыхлых пород.

3. Завершающий этап, заключающийся в образовании современных почв и их качественного признака – плодородия.

На этапе первичного почвообразовательного процесса происходило изменение верхней корочки плотных горных пород под влиянием агентов физического и химического выветривания

и поверхностного слоя рыхлых осадочных обломочных горных пород под влиянием простейших организмов (сначала бактерий и синезеленых водорослей, а позднее диатомовых водорослей и грибной микрофлоры). Под влиянием органических веществ, выделяемых организмами в процессе жизнедеятельности, и остающихся после завершения их жизненного цикла, породы приобретали бурую окраску. Некоторые органические соединения вступали в реакции с различными минеральными компонентами породы, в результате чего образовывались органо-минеральные комплексы. Со временем, благодаря выветриванию и развитию поглотительной способности примитивных почв, изменению их физического состояния, повышалась доступность для живых организмов элементов минерального питания, и улучшалось обеспечение их водой. Постепенно создавались условия для поселения организмов, более требовательных к среде обитания, – лишайников и мхов, а в последующем и высших растений.

На современном этапе развития педосферы первичный почвообразовательный процесс протекает в горных районах на скальных поверхностях, а также на донных морских отложениях, только что освободившихся от воды в результате регрессии моря. Поскольку морские породы уже несут «почвенные» признаки, накопленные в процессе их формирования, современный почвообразовательный процесс протекает на них очень быстро.

На втором этапе изменения горных пород происходило дальнейшее накопление органического вещества и развитие поглотительной способности. Вследствие рыхлости пород и наличия в них воды и воздуха, активно протекали процессы химического выветривания пород и минералов, в результате чего увеличивалось количество доступных для растений и других живых организмов элементов питания, изменялся тепловой режим развивающихся почв и т.д. Сформировавшиеся в дочетвертичное время почвы и рыхлые осадочные породы в четвертичный геологический период подвергались неоднократным переотложениям под влиянием деятельности

ледников, талых, дождевых и ледниковых вод, ветра, моря, рек, на продуктах переотложения вновь образовывались новые почвы.

Третий, завершающий этап развития почвообразовательного процесса характеризуется формированием современных почв. На этом этапе под влиянием агентов почвообразования произошли существенные изменения материнских пород, превратившие их в почвы. Эти изменения следующие:

1. Образовалось новое специфическое органическое вещество – гумус, представляющий собой систему сложных высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот: гуминовых кислот, фульвокислот и гумина. Почвы разных природных зон характеризуются определенным содержанием гумуса, играющего ведущую роль в формировании их плодородия.

2. Увеличилось содержание и доступность элементов минерального питания растений в верхних горизонтах почвы, что связано с «перекачкой» элементов из нижних горизонтов корнями растений и ежегодным разложением органических остатков, в результате чего элементы высвобождаются. Благодаря жизнедеятельности азотфиксирующих, нитрифицирующих, аммонифицирующих бактерий, произошло накопление в почве азота, практически отсутствующего в породах. Малый биологический круговорот веществ в системе почва–растения–животные организмы–почва определяет пищевой режим почв. Некоторая часть элементов из этого круговорота вовлекается в большой геологический круговорот веществ (вымывается за пределы почвенного профиля, поступает в грунтовые воды, со стоком временных водных потоков мигрирует в гидрографическую сеть и т.д.).

3. Сформировалась поглотительная способность почв, определяемая свойствами коллоидов органической, органо-минеральной и минеральной природы, пористостью, способностью твердой фазы и почвенного раствора вступать в химические взаимодействия, особенностями усвоения

химических элементов растениями и другими живыми организмами.

4. В зависимости от конкретных условий (биоклиматических, гидрологических и др.) установились кислая, нейтральная или щелочная реакция почв, определенное соотношение окислительных и восстановительных процессов, концентрация почвенных растворов и их химический состав.

5. Благодаря процессам склеивания природными цементирующими материалами, в качестве которых выступают гумусовые вещества, кальциевые, кремниевые, железистые и другие соединения, из механических элементов твердой фазы почвы сформировались агрегаты (комки, педы) разной формы и величины, т.е. образовалась макро- и микроструктура, характеризующаяся той или иной устойчивостью к физическому воздействию и разрушению водой.

6. Сформировались воздушный, водный, тепловой, пищевой почвенные режимы, определяемые климатическими факторами, гранулометрическим составом, плотностью сложения, структурностью и другими условиями.

7. В зависимости от климатических условий, типа растительности, содержания и качественного состава гумуса, реакции почвенного раствора, водного, воздушного, теплового режимов сложились определенные микробиологические ценозы.

8. Благодаря выделению растениями, микроорганизмами в окружающую среду различных физиологически активных веществ, часто ингибирующих рост и развитие тех или иных организмов, в почвах установился аллелопатический режим, влияющий на уровень плодородия почвы.

9. Жизнедеятельность растений и микроорганизмов обусловила формирование почвенного ферментативного комплекса, осуществляющего катализ (ускорение) важнейших биохимических реакций: процессов гумификации и гумусообразования, превращение азот- и фосфорсодержащих соединений и др.

Таким образом, в результате почвообразовательных процессов почвы приобрели определенный комплекс

химических, физических, физико-химических свойств и режимов, которые отличают их от материнских пород и формируют специфическое свойство почвы – плодородие. Свойства и режимы почв не остаются неизменными, они трансформируются под воздействием меняющихся природных и антропогенных факторов, что приводит к эволюции почв.

5.2. Процессы почвообразования, формирование почвенного профиля и развитие почвы

Почва и окружающая среда находятся в тесной взаимосвязи, осуществляемой благодаря почвообразовательному процессу. Впервые четкую формулировку понятия «почвообразовательный процесс» дал С.С. Неуструев: «Почвообразовательный процесс ... представляет сложное явление, состоящее из элементарных процессов, отдельных физико-химических явлений: та или иная степень и направление разложения минеральной основы и органического вещества; аэробный и анаэробный характер разложения; те или иные черты почвообразования; энергия и направление выщелачивания, растворение и переносы и т.д.».

Согласно А.А. Роде, *почвообразование* – это совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии в почвенной толще. Агентами почвообразовательного процесса являются растения, организмы, продукты их жизнедеятельности, а также вода, кислород и диоксид углерода. Почвообразование характеризуется двумя характерными особенностями:

1) синтез и распад органического вещества, сопровождающиеся накоплением энергии;

2) перемещение продуктов разложения и выветривания, в результате чего образуются различные растворимые и нерастворимые соединения, первые из которых вымываются или перемещаются атмосферными осадками на разную глубину, обуславливая дифференциацию почвенного профиля, вторые

накапливаются на месте образования.

Важнейшими слагаемыми почвообразовательного процесса являются следующие:

- превращение (трансформация) минералов горной породы, из которой образуется почва, и минералов самой почвы, в результате образуются новые вторичные минералы;
- аккумуляция органических веществ и их трансформация;
- взаимодействие органических и минеральных соединений с образованием сложных органо-минеральных комплексов;
- накопление в верхних слоях почвы биофильных элементов (азота, фосфора, калия, серы и др.);
- передвижение продуктов почвообразования с током воды по нисходящим, восходящим и боковым направлениям.

Минеральные, органические, органо-минеральные соединения, образующиеся в процессе почвообразования, характеризуются различной растворимостью и подвижностью, способны передвигаться с током воды, что приводит к дифференциации охваченной почвообразованием толщи на генетически связанные горизонты и в итоге формированию почвенного профиля. Благодаря миграции веществ образуются горизонты вымывания (называемые элювиальным), а также горизонты вмывания (называемые иллювиальными), в которых продукты почвообразования осаждаются. Таким путем формируется почвенный профиль, представляющий собой вертикальную последовательность генетических горизонтов.

В зависимости от климатических условий, характера рельефа, почвообразующих пород, биологических факторов, в почвах разных природных зон протекают различные почвообразовательные процессы, в результате которых образуются типичные для конкретных условий почвы с определенными свойствами и режимами.

А.А. Роде выделяет три группы почвенных процессов: микропроцессы, мезопроцессы и макропроцессы, в результате которых формируются свойства почв, их режимы, определенный уровень плодородия.

Микропроцессы. Под микропроцессами понимаются

простейшие, т.е. самого низкого уровня, физические, химические и биологические процессы, в своем взаимодействии и в зависимости от факторов и условий почвообразования составляющие жизнь почвы. А.А. Роде выделяет 4 группы микропроцессов:

1. Обмен веществом и энергией между почвой и другими природными телами (например, обмен влагой, газами, зольными веществами, азотом, пылью и т.д.).

2. Превращение веществ и энергии в почве (например, разложение органических веществ, фиксация азота и др.).

3. Изменение физического состояния вещества в почве (например, фазовые переходы воды, кристаллизация и растворение солей, коагуляция, пептизация).

4. Передвижение веществ и энергии в почве (например, передвижение воды под действием силы тяжести, диффузное перемещение газов, передача тепловой энергии и т.д.).

Перечисленные выше процессы не приводят к формированию специфических почвенных признаков.

Мезопроцессы, или элементарные почвообразовательные процессы (ЭПП). Элементарными почвообразовательными процессами И.П. Герасимов и М.А. Глазовская предложили называть «сочетания взаимосвязанных биологических, физических и химических явлений, протекающих в почвах». А.А. Роде вскрыл механизм перехода микропроцессов в ЭПП, осуществляемый благодаря тому, что по завершении цикла почва возвращается в первоначальное состояние, но сохраняет некоторые остаточные изменения, которые, накапливаясь в ряду следующих циклов, сливаются в прогрессивный необратимый процесс, называемый автором «частным почвообразовательным процессом». Последнее понятие соответствует понятию ЭПП. Накапливающиеся в результате многократного повторения микропроцессов изменения отражаются в составе твердой фазы почвы. Согласно В.О. Таргульяну, образование устойчивого макропризнака в твердой фазе почвы и есть элементарный почвообразовательный процесс. Последнее представляет главное отличие ЭПП от микропроцессов, которые

специфических почвенных признаков не образуют.

Сферой действия того или иного ЭПП может быть отдельный горизонт, несколько горизонтов или весь почвенный профиль. Например, накопление гумуса характерно практически для всего профиля чернозема, хотя интенсивность этого процесса снижается с глубиной.

Б.Г. Розанов (1975) объединяет все элементарные почвообразовательные процессы в следующие группы:

1) биогенно-аккумулятивные процессы (торфонакопление, гумусообразование, подстилкообразование и др.);

2) иллювиально-аккумулятивные процессы (карбонатно-иллювиальный, гумусово-иллювиальный, железисто-иллювиальный и др.);

3) гидрогенно-аккумулятивные процессы (засоление, загипсовывание, оруденение и др.);

4) элювиальные процессы (оподзоливание, выщелачивание, осолодение и др.);

5) процессы метаморфизации почв (оглеение, сиаллитизация, монтмориллонитизация и др.);

6) криогенные процессы (ретинизация гумуса, криогенное засоление и др.);

7) антропогенные процессы (образование пахотного горизонта, образование плужного горизонта, вторичное засоление при орошении и др.);

8) педотурбационные процессы (растрескивание, вспучивание, биотурбация);

9) деструкционные процессы (эрозия, дефляция).

Макропроцессы – это совокупность мезопроцессов, формирующих определенный тип почвы. Макропроцессы называют *профилеобразующими* – это процессы формирования почвенного профиля, т.е. процессы расчленения массы почвообразующей породы на серию генетических горизонтов под влиянием взаимодействующих элементарных почвообразовательных процессов.

Профилеобразующий процесс, т.е. формирование свиты взаимосвязанных горизонтов, реализуется в природе благодаря

тому, что условия почвообразования меняются не только вдоль земной поверхности в связи с изменением биоклиматических и литолого-геоморфологических условий, но и в вертикальном направлении. По мере движения сверху вниз в толще почвообразующей породы возникают различия в плотности, фильтрационной способности, влажности, аэрации, интенсивности жизнедеятельности биоты и т.д. Поэтому на разных глубинах одного и того же почвенного тела набор ЭПП и их интенсивность различны, что обуславливает возникновение почвенных горизонтов с различными свойствами. Каждый профилообразующий процесс соответствует типу почвообразования. В качестве примера рассмотрим черноземный тип почвообразования, который реализуется через два основных элементарных почвообразовательных процесса: гумусообразование *in situ* и карбонатно-иллювиальный процесс. Накопление гумуса сопровождается аккумуляцией основных элементов питания растений и созданием водопрочной зернистой структуры. Карбонаты, мигрируя с нисходящими и восходящими токами влаги, накапливаются на некоторой глубине, образуя иллювиально-карбонатный горизонт и обуславливая близкую к нейтральной и слабощелочную реакцию почвенного раствора. Минеральные превращения и миграция твердых частиц по профилю в типичном случае проявляется слабо.

В случае существенного изменения факторов почвообразования (климата, характера растительности, положения грунтовых вод и т.д.) происходит смена типов почвообразования, появляются другие процессы почвообразования, формирующие новые свойства почвы. Однако прежние свойства и признаки очень редко исчезают полностью, они сохраняются и являются свидетелями предшествующих стадий развития почвы. Свойства и признаки почв, возникшие в результате проявления современных почвенных процессов, называются рецентными, а сохранившиеся от предыдущих почвенных процессов – реликтовыми.

Развитие и эволюция почв. В процессе формирования почвы

принято выделять 3 стадии развития:

- 1) стадию начального почвообразования;
- 2) стадию развития почвы;
- 3) стадию «зрелой» почвы

Стадия начального почвообразования на скальных горных породах называется первичным почвообразованием и протекает при воздействии на породу литофильных организмов (бактерий, грибов, водорослей, лишайников, мхов). В результате формируются «эмбриональные» почвы или почвы–пленки, имеющие малую мощность (от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров). На плотных магматических и метаморфических породах сплошной почвенный покров на этой стадии не формируется. Начальная стадия почвообразования является подготовительной предпочвенной стадией, на протяжении которой зарождается биологический круговорот веществ.

Стадия развития почвы протекает в два этапа. На первом идет ускоренное развитие почвы, обусловленное сменой пионерных экосистем биоценозами, в которых ведущую роль играют высшие растения. Увеличивается объем биологического круговорота в связи с нарастанием биологической продуктивности экосистемы, усложняется ее видовой состав. Одновременно возрастает интенсивность элементарных почвообразовательных процессов, что приводит к формированию специфического вещественного состава и свойств почвы, идет дифференциация толщи, охваченной почвообразованием на генетические горизонты. Определенное сочетание ЭПП, обусловленное конкретными гидротермическими и биологическими условиями среды, формирует профилеобразующие процессы, вызывающие профильную дифференциацию вещественного состава и свойств почвы.

Второй этап стадии развития почвы характеризуется замедлением скорости формирования почвенного профиля, относительной стабилизацией масштабов биогеохимического круговорота веществ и интенсивности профилеобразующих

процессов. На этом этапе почва достигает состояния, близкого к равновесию (т.е. квазиравновесие – приставка «квази» означает как бы, как будто) с действующими факторами почвообразования, осуществляется переход почвы к следующей стадии функционирования почвы.

Стадия «зрелой» почвы отличается стабилизацией главных признаков и свойств почвы на определенном уровне. «Зрелая» почва характеризуется профилем, наиболее полно отразившим действие среды, факторов–почвообразователей, т.е. профилем, в котором под действием факторов среды и вызванных ими почвообразовательных процессов сформировалось наибольшее количество устойчивых свойств, отражающих эту среду и эти процессы. Признаком «зрелости» почвы является ее наибольшая дифференциация и наиболее сложная организация профиля. Поскольку разные свойства и признаки почв достигают состояния «зрелости» за разное время (например, содержание гумуса за десятки–сотни лет, а выветривание силикатов – за несколько десятков тысяч лет), эта стадия выделяется условно.

При изменении того или иного фактора почвообразования почва выходит из состояния равновесия (квазиравновесия) и начинает изменяться таким образом, чтобы ее свойства снова пришли в равновесие с окружающей средой, т.е. начинает эволюционировать. *Эволюция почвы* – это прогрессивное изменение почвообразовательных процессов и, как следствие, состава и свойств почвы, направленное на достижение равновесия с природной обстановкой.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность почвообразовательного процесса?
2. Назовите этапы развития почвообразовательного процесса.
3. Какими особенностями характеризуется почвообразование?
4. Как формируется почвенный профиль?
5. Какие процессы, протекающие в почве, относятся к микропроцессам?
6. Какие процессы называются элементарными почвообразовательными процессами?
7. Что понимается под профилеобразующими процессами?
8. Назовите стадии развития почвы.
9. Что понимается под эволюцией почв?

Глава 6 Морфология почв

Морфология почв – это раздел почвоведения, изучающий внешние признаки почв, которые называются морфологическими. К ним относятся строение почвенного профиля, мощность генетических горизонтов и почвы в целом, окраска, гранулометрический состав, структура, сложение, новообразования, включения, влажность, характер перехода из одного горизонта в другой и иные особенности. Морфологические свойства используются для диагностики почвы, с целью определения её классификационного положения, некоторые признаки позволяют сделать вывод о плодородии и эволюции почвы.

6.1. Фазовый состав почвы

Почва является многофазным природным телом, вещество которого представлено следующими физическими фазами: твердой, жидкой, газовой и живым веществом населяющих почву организмов.

Твердая фаза почвы формируется в процессе почвообразования из материнской горной породы и в значительной степени унаследует её состав и свойства. Это полидисперсная (т.е. состоит из частиц разного размера) и поликомпонентная органоминеральная система, образующая твердый каркас почвенного тела. Она представлена остаточными минералами, обломками горных пород и вторичными продуктами почвообразования. К последним относятся растительные остатки, продукты их частичного разложения, гумус, вторичные глинистые минералы, простые соли, образующиеся в результате выветривания горных пород и почвообразования.

Твердая фаза почвы характеризуется гранулометрическим (механическим), минералогическим и химическим составом, а также структурой, сложением и порозностью.

Жидкая фаза почвы представлена водой, почвенным раствором и является динамичной по объему и составу. Жидкая фаза заполняет поровое пространство почвы. На содержание, состав и свойства почвенного раствора влияют водно-физические свойства почвы и ее состояние в данный момент времени. В районах с отрицательными зимними температурами в холодный период года жидкая фаза переходит в твердое состояние, превращаясь в лед. При высоких температурах часть почвенной воды испаряется и переходит в газовую фазу почвы.

Жидкая фаза является основным фактором дифференциации почвенного профиля, так как путем вертикального и латерального (бокового) передвижения осуществляет перемещение по почвенному профилю различных веществ в форме суспензий или растворов.

Формы (категории) воды в почве и их соотношения определяются гранулометрическим, минералогическим составом, оструктуренностью, размером и конфигурацией пор, степенью влажности в конкретный момент времени. Более подробно классификация почвенной влаги, свойства почвенного раствора рассмотрены в соответствующих разделах данного пособия.

Газовая фаза почвы представлена воздухом, заполняющим свободные от воды почвенные поры. Состав почвенного воздуха существенно отличается от атмосферного, особенно по количественному содержанию углекислого газа и кислорода, и очень динамичен во времени. С глубиной состав воздуха изменяется: содержание CO_2 увеличивается, а O_2 уменьшается. Наблюдается суточная и сезонная динамика почвенного воздуха, тесно связанная с биологическими ритмами почвенной фауны. Почвенный воздух более подробно рассматривается в главе 16.

Живая фаза почвы представлена населяющими ее организмами, принимающими непосредственное участие в

процессе почвообразования. К ним относятся многочисленные микроорганизмы (бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли), представители почвенной микро- и мезофауны (простейшие, насекомые, черви и пр.), а также корневые системы растений.

6.2. Морфологическая организация почвы

Почва является иерархической природной системой, состоящей из морфологических элементов разного уровня, отличающихся друг от друга по морфологическим признакам.

Морфологические элементы почвы – это ее генетические горизонты, структурные отдельности, новообразования, включения и поры (пустоты, заполненные водой или воздухом). *Морфологические признаки почвы* – это форма морфологических элементов, характер их границ, окраска, гранулометрический состав, сложение, плотность, липкость, пластичность.

Любая почва представляет собой систему последовательно сменяющих друг друга по вертикали генетических горизонтов, которые образуются в результате дифференциации исходной материнской породы в ходе почвообразовательного процесса. Эта вертикальная последовательность горизонтов называется почвенным профилем. Почвенный профиль представляет собой *первый уровень* морфологической организации почвы, почвенный горизонт – *второй уровень*. Почвенные горизонты не являются однородными и состоят из морфологических элементов *третьего уровня* – морфонов. Морфоны – это внутригоризонтные морфологические элементы, морфологически обособленные участки (объемы) почвы, разделенные трещинами или затеками материала из вышележащих горизонтов, или различные включения и новообразования. Почвенный горизонт может быть однородным, в этом случае он представляет собой единый морфон, разделяющийся на структурные отдельности. Морфоны выделяются не во всех горизонтах и не во всех почвах. На *четвертом уровне* морфологической организации почвы выделяются почвенные агрегаты, называемые также

структурными отдельностями, комками, педрами. Они имеют разный размер и форму. Почвенные агрегаты, в свою очередь, состоят из микроагрегатов (минеральных, органо-минеральных, органических) или первичных механических элементов, часто имеющих микроскопический размер. *Пятый уровень* морфологической организации, представленный микростроением почвы, обнаруживается только с помощью микроскопа и изучается в рамках микроморфологии почв.

Изучая морфологию почв, необходимо различать следующие понятия:

Строение почвы – это специфическое для каждого почвенного типа сочетание генетических горизонтов, внутригоризонтных и внегоризонтных образований, составляющее в целом почвенный профиль.

Сложение почвы – это физическое состояние почвенного материала, обусловленное взаимным расположением и соотношением в пространстве твердых частиц и связанных с ними пор (другими словами, это геометрия пространства, занятого почвенным материалом).

Структурность почвы – это способность почвы распадаться в естественном состоянии при механическом воздействии (выкапывании или вспашке) на агрегаты (структурные отдельности, комки, педы) определенного размера и формы.

Структура почвы – это взаимное расположение в почвенном теле структурных отдельностей (агрегатов, педов) определенной формы и размеров.

Состав почвы – это соотношение (массовое или объемное) компонентов почвенного материала, выражаемое в процентах его общей массы или объема, либо в долях единицы. Различаются гранулометрический, минералогический, химический, агрегатный (структурный), микроагрегатный, фазовый состав почвы.

6.3. Почвенный профиль и генетические горизонты

Почвенным профилем, согласно Б.Г. Розанову, называется определенное сочетание генетических горизонтов в пределах почвенного тела, специфическое для каждого типа почвообразования во всех особенностях его проявления. По профилю наблюдается закономерное, зависящее от типа почвообразования, изменение гранулометрического, минералогического, химического состава, физических, химических и биологических свойств от поверхности почвы вглубь до незатронутой почвообразованием материнской породы.

Главными факторами образования почвенного профиля, т.е. дифференциации исходной почвообразующей породы на генетические горизонты, являются следующие:

1. Вертикальные потоки вещества и энергии (нисходящие или восходящие в зависимости от типа почвообразования);
2. Вертикальное распределение живого вещества (корневых систем растений, микроорганизмов, почвообитающих животных).

Строение почвенного профиля – характер и последовательность генетических горизонтов – специфично для каждого типа почвы и служит его основной диагностической характеристикой. Все горизонты почвенного профиля взаимосвязаны и взаимообусловлены, они не являются простой суммой горизонтов.

Генетические почвенные горизонты формируются в процессе почвообразования и представляют собой однородные, обычно параллельные земной поверхности слои почвы, составляющие почвенный профиль и различающиеся между собой по морфологическим признакам, составу и свойствам. Почвенные горизонты называются генетическими, потому что образуются в процессе генезиса (образования, развития) почв.

На ранних этапах развития генетического почвоведения В.В. Докучаевым были выделены всего три почвенных горизонта: А – поверхностный гумусово-аккумулятивный, В – переходный к материнской породе и С – материнская горная порода или подпочва. Дальнейшее развитие почвоведения привело к

выделению большого разнообразия генетических горизонтов, обозначаемых различными символами.

В настоящее время у почвоведов разных научных школ отсутствует единство в диагностике и символике почвенных горизонтов, что создает определенные трудности в науке. Часто используется вариант системы индексов генетических горизонтов, разработанный Межведомственной комиссией по классификации и диагностике почв под председательством В.М. Фридланда (1982). Кроме этого, используются и элементы более поздних версий системы индексов, разработанные межведомственной комиссией и специалистами Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Генетические горизонты выделяются по сумме признаков и свойств, обусловленных формирующими их почвенными процессами, поэтому наименование горизонтов отражает их генетическую сущность. Индексы основных горизонтов принято обозначать заглавными буквами латинского шрифта (например, А, ЕL, В), а генетическая специфика отражается малыми индексами, которые дополняют основной индекс горизонта (например, В_{t,g}). Индексы реликтовых или погребенных горизонтов заключаются в квадратные скобки (например, [ЕLh], [Вh]). Часто в почве обнаруживаются слои, содержащие признаки двух или более горизонтов, в этом случае выделяются переходные горизонты, в которых вышележащий горизонт постепенно переходит в нижележащий. Такие горизонты обозначаются индексом, включающим оба наименования, написанные рядом (АЕL, ВС). Ниже приводятся основные символы генетических горизонтов и их наименования.

А₀ – лесная подстилка или степной войлок,

А₁ – гумусово-аккумулятивный горизонт,

А₂ – элювиальный (подзолистый, осолоделый) горизонт (горизонт вымывания),

В – иллювиальный горизонт (горизонт вмывания),

Т – торфяной горизонт,

G – глеевый горизонт,

С – материнская порода,

R – плотная горная порода.

Для отражения генетической специфики горизонтов используются следующие малые индексы:

Ca – наличие карбонатов (например V_{Ca} – иллювиальный карбонатный горизонт),

cs – наличие гипса (например, C_{cs}),

s (sa) – наличие легкорастворимых солей (например, V_s),

Fe – аккумуляция соединений Fe^{3+} (V_{Fe}),

g – наличие признаков оглеения (C_g),

t – текстурный горизонт (V_t – отличается иллювиальной аккумуляцией глины),

m – метаморфический горизонт (V_m – плотный за счет глинистых минералов, образующихся на месте),

p – пахотный горизонт (A_p) и др.

В настоящее время существует довольно много систем символов для обозначения горизонтов и их генетической специфики, но ни одна из них не является универсальной и всемирно признанной.

6.4. Типы строения почвенного профиля

Строение почвенного профиля определяется типом почвообразования, возрастом почв и нарушенностью их природными или техногенными педотурбациями. По характеру соотношения генетических горизонтов различают простые и сложные типы строения почвенного профиля. Выделяют следующие пять типов простого строения профиля:

1. *Примитивный профиль* – характеризуется маломощным горизонтом А либо АС, лежащим непосредственно на почвообразующей (материнской) породе.

2. *Неполноразвитый профиль* – имеет полный набор всех генетических горизонтов, типичных для данного типа почвы, но укороченных, с малой мощностью каждого горизонта.

3. *Нормальный профиль* – имеет полный набор всех генетических горизонтов, типичных для данного типа почвы, с

мощностью, характерной для почв, не подверженных процессам водной и ветровой эрозии.

4. *Слабодифференцированный профиль* – характеризуется генетическими горизонтами, которые очень постепенно сменяют друг друга, в связи с чем выделяются с большим трудом.

5. *Нарушенный (эродированный) профиль* – характеризуется отсутствием части верхних горизонтов, уничтоженных в результате эрозионных процессов.

Сложное строение почвенного профиля также характеризуется пятью типами:

1. *Реликтовый профиль* – включает погребенные горизонты древних почв (палеопочв), или реликтовые горизонты, являющиеся следами древнего почвообразования, идущего в настоящее время по иному типу.

2. *Многочленный профиль* – формируется на неоднородных (многочленных) почвообразующих породах и характеризуется наличием литологических смен в пределах почвенной толщи.

3. *Полициклический профиль* – образуется в условиях периодического отложения почвообразующего материала (речной аллювий, вулканический пепел, золы, нанос).

4. *Нарушенный (перевернутый) профиль* – имеет искусственно (в результате деятельности человека) или природно (например, при ветровалах в лесу) перемещенные на поверхность нижележащие горизонты.

5. *Мозаичный профиль* – это профиль, в котором генетические горизонты не образуют последовательную по глубине серию горизонтальных слоев, а сменяют друг друга пятнами на небольшом протяжении в виде прихотливой мозаики.

Почвенные профили классифицируют не только по соотношению тех или иных горизонтов, как показано выше, но и по иному критерию. Так, по распределению вещественного состава почвы по ее вертикальному профилю, выявляемому на основании аналитических данных, выделяют следующие пять типов строения почвенного профиля:

Аккумулятивный профиль – характеризуется максимумом накопления тех или иных веществ с поверхности при их постепенном уменьшении с глубиной, причем кривая распределения вещества, например, гумуса, может иметь регрессивно-аккумулятивный (вогнутая кривая), прогрессивно-аккумулятивный (выпуклая кривая) или равномерно-аккумулятивный характер.

Элювиальный профиль – характеризуется минимумом вещества на поверхности при постепенном увеличении его содержания с глубиной. При этом кривая распределения вещества, например, карбоната кальция, может иметь регрессивно-элювиальный (вогнутая кривая), прогрессивно-элювиальный (выпуклая кривая) или равномерно-элювиальный характер.

Грунтово-аккумулятивный профиль – характеризуется накоплением веществ из грунтовых вод в нижней и средней частях профиля (например, аккумуляция легкорастворимых солей в солончаковатых почвах).

Элювиально-иллювиальный профиль – характеризуется минимумом вещества в верхней части и максимумом в средней или нижней (например, такая закономерность отмечается в распределении по профилю содержания илистой фракции в подзолистых почвах).

Недифференцированный профиль – характеризуется равномерным содержанием того или иного вещества по всей почвенной толще (например, распределение полуторных оксидов в профиле несолонцеватых каштановых почв).

Таким образом, строение почвенных профилей довольно разнообразно, что связано с многообразием природных условий на нашей планете.

6.5. Морфологические признаки почв

6.5.1. Окраска почвы

Окраска почвы является важнейшим морфологическим признаком, на основе которого выделяются генетические горизонты в почвенном профиле и строятся суждения о процессах почвообразования, формирующих почву. Окраска почвы зависит от её химического состава, частично наследуется от почвообразующей породы (особенно в нижних горизонтах), но в основном является результатом почвообразовательного процесса.

Б.Г. Розанов (2004) выделяет несколько типов распределения окраски почвенных горизонтов:

Однородная окраска – весь горизонт окрашен в один какой-то цвет. Она может быть равномерной и неравномерной. В случае равномерной однородной окраски тон и интенсивность ее не меняются в пределах всего горизонта. Неравномерная однородная окраска характеризуется постепенным изменением ее тона и интенсивности от верхней части горизонта к нижней (например, в гумусовом горизонте окраска может изменяться от темно-серой до серой).

Неоднородная окраска – горизонт окрашен в различные цвета путем чередования пятен разного цвета при разной геометрии чередования. Она может быть пятнистой, крапчатой, полосчатой и мраморовидной. В случае пятнистой окраски пятна какого-либо цвета нерегулярно располагаются на фоне другого цвета (например, охристые пятна на сизом фоне в глеевом горизонте). Крапчатая окраска характеризуется наличием мелких пятнышек (диаметром до 5 мм), нерегулярно разбросанных по однородному фону другой окраски. Полосчатая окраска создается регулярным чередованием полос разного цвета. Мраморовидная окраска является крайне пестрой и создается прихотливым узором пятен и прожилок разного цвета, причем прожилки, как правило, более светлые, чем пятнистая окраска основной массы почвенного горизонта.

При описании окраски необходимо учитывать влажность почвы, поскольку окраска подсушенной почвы всегда отличается от ее окраски во влажном состоянии. Окраска поверхности агрегатов может существенно отличаться от

окраски их внутренних частей, что связано с образованием поверхностных корочек, натечных пленок и т.д. Кроме этого разной окраской обладает агрегированная почва и та же почва, растертая в порошок.

Окраска почвы, с одной стороны, определяется ее химическим и минералогическим составом, с другой, особенностями почвообразования.

Черная (темно-серая, темно-бурая) окраска часто обусловлена большим количеством гумусовых веществ. Однако если в почве много глинистых минералов типа монтмориллонита, то черная окраска может быть и при малом содержании гумуса, вследствие образования специфических глинисто-гумусовых комплексов (например, темные гумусовые горизонты вертисолей содержат всего лишь 1–2% гумуса). На интенсивность темной окраски влияет не только содержание гумуса, но и его групповой и фракционный состав. Темная окраска появляется тогда, когда гумус гуматный и в составе гуминовых кислот доминирует фракция черных кислот – гуматов кальция. Фульватный гумус обуславливает светлую окраску почв (серую, бурую, желтоватую).

Черная окраска связана не только с гумусом, она характерна для некоторых сульфидов, гидроксидов железа и марганца, темных первичных минералов, древесного и каменного угля.

Белая, белесая окраска и светлые тона других окрасок вызваны присутствием кварца, каолинита, извести, водорастворимых солей, гипса. Светлую окраску придают почве некоторые первичные минералы, например, полевые шпаты.

Красная окраска обусловлена накоплением в почве оксидов железа, в основном в форме гематита и туррита.

Желтая окраска определяется наличием гидроксидов железа (в основном лимонита). Яркую соломенно-желтую окраску придает почве ярозит – сульфит железа, часто образующийся в осушенных маршевых почвах.

Бурая окраска характерна для почв с высоким содержанием иллита, слюдистых минералов, гидратированных окислов железа.

Пурпурная и фиолетовая окраска почвы связана с присутствием оксидов марганца.

Синеватые, голубоватые, зеленоватые, оливковые, сизые окраски связаны с наличием в почве соединений двухвалентного железа, образующихся в анаэробных условиях при избыточном увлажнении.

Описанные выше окраски редко встречаются в почвах в чистом виде, как правило, они существуют в виде смешанных и переходных окрасок. Красящие компоненты почвы чаще всего представлены пленками каких-либо веществ, обволакивающих зерна первичных минералов.

Окраска, являясь важным диагностическим признаком почвы, позволяет судить о формирующих ее процессах почвообразования. Так, наличие в верхней части профиля горизонта темной окраски, обусловленной гумусовыми веществами, указывает на интенсивное протекание гумусово-аккумулятивного процесса; сизый горизонт с охристо-желтыми, красноватыми пятнами свидетельствует о формировании почвы в условиях повышенного гидроморфизма и глеевом процессе; белесый горизонт в верхней части профиля может быть связан с процессами оподзоливания и элювирования.

6.5.2. Структура почвы

Говоря о структуре почвы, следует различать морфологическое и агрономическое понятие этого термина. В морфологическом понимании каждая почва имеет определенную структуру, в агрономическом – структурной является только та почва, в которой преобладают агрегаты размером от 0,25 до 7(10) мм, а более мелкие (пылеватые) или более крупные (глыбистые) отсутствуют или составляют ничтожное количество.

Согласно Н.А. Качинскому, *почвенная структура* – это совокупность агрегатов различной величины, формы, порозности, механической прочности и водопрочности, характерных для каждой почвы и ее горизонтов. При этом под

агрегатами понимается совокупность механических элементов или элементарных почвенных частиц, взаимно удерживающихся в силу коагуляции коллоидов, склеивания, слипания их в результате сил Ван-дер-Ваальса, остаточных валентностей и водородных связей, адсорбционных и капиллярных явлений в жидкой фазе, а также с помощью корневых тяжей, гифов грибов и слизи микроорганизмов.

Если почва не распадается на естественные структурные агрегаты, а имеет сыпучее состояние, как песок или пыль, то она называется *бесструктурной раздельно-частичной*. Если же почва не распадается на агрегаты, а выламывается большими бесформенными массами, то она будет характеризоваться как *бесструктурная массивная*.

В России принята классификация почвенной структуры, предложенная С.А. Захаровым. В ней выделяются 3 типа (по развитию осей) и несколько родов (по форме) и видов (по размеру):

1. Тип *округло-кубовидная структура*. Агрегаты более или менее равномерно развиты по трем осям. *Роды*: глыбистая (неправильная форма и неровная поверхность агрегатов), комковатая (округлая форма с шероховатой поверхностью без выраженных ребер и граней), пылеватая (мельчайшие микроагрегаты, форма которых неразличима невооруженным глазом), ореховатая (более или менее правильные острореберные агрегаты, напоминающие буковые орешки), зернистая (более или менее правильная форма с выраженными гранями и ребрами, напоминающая гречневую крупу), конкреционная (сплошное скопление округлых конкреций), икряная (мелкие, разной формы, но хорошо оформленные агрегаты соединяются в сплошную массу).

2. Тип *призмовидная структура*. Агрегаты развиты преимущественно по вертикальной оси. *Роды*: столбовидная (правильной формы отдельности с хорошо выраженными вертикальными гранями, округлой «головкой» и неровным основанием), призмовидная (отдельности слабо оформлены, с неровными скорлуповатыми гранями с острыми вершинами,

округлыми ребрами), призматическая (границы и ребра призм четко выражены).

3. Тип *плитовидная структура*. Агрегаты развиты преимущественно по горизонтальным осям, а вертикальная ось укорочена. *Роды*: плитчатая (более или менее развиты плоские горизонтальные поверхности спайности), чешуйчатая (небольшие, несколько изогнутые поверхности спайности).

Примерные величины размеров структурных отдельностей, на основании которых выделяются виды структуры, приведены в таблице 7.

В почвах редко присутствуют агрегаты какого-то одного размера. Все почвы полиагрегатны. Чаще всего в почвах встречается смешанная структура: комковато-зернистая, ореховато-призмовидная и т.д.

Структура почвы является результатом почвообразования, поэтому разным генетическим типам почв и их горизонтам присущи определенные формы структуры.

Таблица 7 – Размеры структурных агрегатов в почвах (по Б.Г. Розанову, 2004)

Вид структурных агрегатов	Размер	Вид структурных агрегатов	Размер
<i>Округло-кубовидная:</i>		<i>Призмовидная:</i>	
– крупноглыбистая	> 20 см	– тумбовидная	> 10 см
– глыбистая	20–10 см	– крупностолбчатая	10–3 см
– мелкоглыбистая	10–1 см	– мелкостолбчатая	< 3 см
– крупнокомковатая	10–3 мм	– крупнопризмовидная	> 5 см
– комковатая	3–1 мм	– мелкопризмовидная	< 5 см
– мелкокомковатая	1–0,25 мм	– карандашная	< 1 см
– пылеватая	мм		при
– крупноореховатая	<0,25 мм		высоте 5
– ореховатая	> 10 мм		см
– мелкоореховатая	10–7 мм	– крупнопризматическая	> 5 см
– крупнозернистая	7–5 мм	– призматическая	5–1 см
– зернистая	5–3 мм	– мелкопризматическая	1–0,5 см
– мелкозернистая	3–1 мм	– тонкопризматическая	< 0,5 см
	1–0,25 мм		
<i>Плитовидная:</i>		– листоватая	< 1 мм

– крупноплитчатая	> 5 мм	– скорлуповатая	> 3 мм
– плитчатая	5–3 мм	– грубочешуйчатая	3–1 мм
– пластинчатая	3–1 мм	– мелкочешуйчатая	< 1 мм

Так, комковатая и зернистая структура свойственна дерновым, гумусово-аккумулятивным горизонтам, пластинчато-лиственная – элювиальным, ореховатая – иллювиальным (особенно серым лесным почвам), призматическая – иллювиальным горизонтам солонцов и солонцовых почв, содержащих в поглощенном состоянии натрий.

В образовании почвенной структуры различают две стадии, протекающие одновременно: 1) механическое разделение почвы на агрегаты того или иного размера и формы; 2) упрочение этих агрегатов и приобретение ими внутреннего строения. Механическое разделение почвенной массы на агрегаты, т.е. создание первичной трещиноватости, происходит в результате чередования таких процессов как увлажнение–обсыхание, замерзание–оттаивание, а также под влиянием механической деятельности корней растений и почвенной фауны. При увлажнении почва набухает (особенно сильно, если в ней содержится много глинистых минералов типа монтмориллонита), обсыхая, она растрескивается в разных направлениях, формируя многогранники разной формы. При замерзании и последующем оттаивании почвы в сухом состоянии изменения в ее строении будут незначительными. Если же замерзает почва, насыщенная влагой, то вода при замерзании сильно расширяется, раздвигая прилегающие почвенные массы и уплотняя их, образуя трещины на месте заполненных льдом пор. При оттаивании вода сжимается и постепенно уходит из трещин, которые сохраняются на месте. Повторяющийся многократно процесс замерзания–оттаивания приводит к расчленению почвенной массы на агрегаты. Подобный эффект расширения–сжатия наблюдается и в циклах нагревание–охлаждение, однако он существенно слабее, чем в циклах увлажнение–обсыхание и замерзание–оттаивание.

Наиболее интенсивно на почвенную массу воздействуют корневые системы растений, особенно корни дерновинной травянистой растительности, прежде всего злаковой. Корневые

системы, пронизывая почвенную массу во всех направлениях, разрыхляют её, образуют трещины разной формы и размера, оставляют пустоты после отмирания и разложения. Корни травянистых растений являются главным фактором образования комковатой и зернистой структуры гумусовых горизонтов почв.

Большую роль в оструктуривании почв играют почвенные животные, особенно дождевые черви, которые, пропуская почву через свои пищеварительные органы, непосредственно оструктуривают ее, образуя копролитовую структуру. Другие представители почвообитающей фауны в процессе своей деятельности способствуют механическому разделению почвенной массы на агрегаты и их уплотнению.

Упрочнение агрегатов и их уплотнение происходит за счет уменьшения внутриагрегатной порозности в процессе механического разъединения почвенной массы на агрегаты. Затем структурные отдельности, приобретая постепенно внутреннее строение, пропитываются различными клеящими веществами, формируют свою внешнюю оболочку – поверхностную корочку (Розанов, 2004). Главными клеящими веществами в почве являются гумус (особенно гуматы кальция), глинистое вещество, гидроокислы железа и алюминия. Гуматы кальция обуславливают наиболее прочную комковатую и зернистую структуру гумусовых горизонтов, гидроокислы железа и алюминия участвуют в образовании ореховатой и призматической структуры иллювиальных горизонтов. К структурному цементу можно отнести и живые клетки почвенных микроорганизмов, интенсивно адсорбируемые почвенными частичками.

Степень цементации структурных агрегатов определяется не только природой клеящих веществ, но и зависит от гранулометрического и минералогического состава почвы. Чем больше глинистых частиц и монтмориллонитовых минералов, тем прочнее структурные отдельности.

6.5.3. Гранулометрический состав почвы

Почва представляет собой сложную полидисперсную систему, состоящую из частиц (механических элементов) разного размера. Весовое соотношение в составе почвы частиц разной крупности в пределах непрерывного ряда определенных условных групп крупности называется *гранулометрическим составом почвы* (Розанов, 2004). Являясь важнейшей характеристикой почвы, гранулометрический состав определяет практически все её свойства и плодородие в целом. Существуют различные классификации механических элементов по степени их крупности. В России общепринятой является классификация, предложенная Н.А. Качинским (см. Главу 8).

При морфологическом исследовании почвы важна не только характеристика гранулометрического состава в целом (песчаная почва, суглинистая или глинистая), но важны и изменения его по генетическим горизонтам в пределах почвенного профиля. Каждый почвенный тип характеризуется своим специфическим профилем гранулометрического состава, выявляемым вертикальной кривой распределения илистой фракции (частицы размером менее 0,001 мм) или физической глины (сумма частиц размером менее 0,01 мм).

Определение гранулометрического состава почвы может проводиться, как в полевых условиях, так и в лабораторных. Аналитическое исследование является более точным, однако полевое определение обязательно проводится при морфологическом описании почвы. В данном разделе пособия рассматриваются простейшие методические приемы полевого определения гранулометрического состава: опробывание почвы в сухом и влажном состоянии, при этом используются следующие стандартные критерии (Розанов, 2004):

Песок – почва бесструктурная, несвязная, в сухом состоянии свободно рассыпается, состоит из отдельных механических элементов; при увлажнении и раскатывании на ладони шарик и тем более шнур не получаются.

Супесь – почва легко растирается в сухом состоянии между пальцами до смеси песчаных и более тонких частиц, при этом первые на ощупь преобладают; при увлажнении и раскатывании

на ладони получается нестойкий шарик, который в шнур раскатать практически невозможно.

Суглинок легкий – почва при растирании в сухом состоянии между пальцами дает тонкий порошок, в котором чувствуются на ощупь песчаные зерна; при увлажнении и раскатывании на ладони образуется шнур, распадающийся на фрагменты.

Суглинок средний – почва при растирании в сухом состоянии между пальцами дает тонкий порошок, в котором могут прощупываться лишь отдельные песчаные зерна; при увлажнении и раскатывании на ладони образуется сплошной хорошо оформленный шнур, который при сворачивании в кольцо распадается на фрагменты.

Суглинок тяжелый – в сухом состоянии агрегаты не растираются в порошок пальцами, а только с помощью ножа; порошок тонкий на ощупь, но могут встречаться единичные песчаные зерна; в увлажненном состоянии на ладони можно раскатать гладкий шнур и свернуть его в кольцо, на внешней поверхности которого образуются трещины.

Глина – в сухом состоянии агрегаты с трудом растираются ножом до тонкого однородного порошка; в увлажненном состоянии на ладони скатывается гладкий шнур, образующий при сворачивании кольцо без трещин.

При полевом исследовании гранулометрического состава важно добиться однородного увлажнения почвенной массы до стандартной степени увлажнения и однородного разрушения всех агрегатов. Определение гранулометрического состава в переувлажненной почве приведет к его утяжелению, а в недостаточно увлажненной или плохо растертой (когда в почвенной массе сохраняются мельчайшие агрегаты) – к облегчению.

6.5.4. Сложение почвы

В зависимости от типа почвообразования, характера материнской породы, возраста почвообразования, характера использования человеком каждый вид почвы различается по

общему сложению почвенной массы. *Сложение* – это внешнее выражение плотности и пористости почвы. Почвы по плотности могут иметь следующее сложение:

1) *очень плотное* – микроагрегаты или конкреции сцементированы в сплошную каменную массу, не поддающуюся разрушению без специальных инструментов. В связи с этим копать яму лопатой невозможно, приходится применять лом или кирку. Подобным сложением характеризуются гипсовые или карбонатные коры, сухие солонцовые горизонты.

2) *плотное* – частицы или агрегаты в почвенной массе довольно прочно связаны друг с другом, образуя сплошное тело устойчивой формы, разрушающееся лишь при некотором усилии, однако при выкапывании ямы можно обойтись и без лома. Плотным сложением отличаются иллювиальные горизонты суглинистых и глинистых почв, глеевые горизонты.

3) *рыхлое* – частицы или агрегаты в почвенной массе связаны между собой непрочно, поэтому копать яму легко, при механическом воздействии (копка, вспашка) почва, сброшенная с лопаты, рассыпается на мелкие отдельные. Такое сложение наблюдается в суглинистых и глинистых почвах с хорошо выраженной комковато-зернистой структурой и в верхних горизонтах супесчаных и песчаных почв.

4) *рассыпчатое* – механические элементы обычно не сцементированы в агрегаты, почвенная масса в сухом состоянии представляет собой сыпучую массу. Такое сложение характерно для пахотных горизонтов песчаных и супесчаных почв.

Сложение почвы обусловлено пористостью, характеризующейся формой и величиной пор внутри структурных отдельных или между ними. В зависимости от величины и расположения пор внутри агрегатов различают следующие типы сложения:

1) *тонкопористое* – почва пронизана порами диаметром менее 1 мм;

2) *пористое* – диаметр пор колеблется от 1 до 3 мм (например, лёсс);

3) *губчатое* – в почве встречаются пустоты от 3 до 5 мм;

4) *ноздреватое (дырчатое)* – в почве имеются пустоты от 5 до 10 мм (подобное сложение обусловлено деятельностью многочисленных землероев, характерно для сероземов, а также известковых туфов);

5) *ячеистое* – пустоты превышают 10 мм (встречается в субтропических и тропических почвах);

6) *трубчатое* – пустоты в виде каналов, прорытых землероями.

При расположении пор между структурными отдельностями различают следующие типы сложения почв в сухом состоянии:

- тонкотрещиноватое – ширина полостей меньше 3 мм;
- трещиноватое – ширина полостей от 3 до 10 мм;
- щелеватое – ширина полостей больше 10 мм.

Таким образом, сложение почвы можно определять по плотности, внутриагрегатной и межагрегатной порозности. Это важный признак почвы, оказывающий влияние на глубину проникновения корневых систем растений, водопроницаемость и водоподъемную способность почв, сопротивление почвообрабатывающим орудиям.

6.5.5. Влажность почвы

При описании почв в полевых условиях дается качественная характеристика ее влажности, что необходимо для правильной интерпретации многих морфологических признаков. Определение влажности проводится по следующим критериям (Розанов, 22004):

– *Сухая почва* – песчаная почва рассыпается свободно отдельными зернами, не холодит руку; суглинистая и глинистая почва пылит или свободно рассыпается твердыми комками разного размера, не холодит руку.

– *Свежая (влажноватая) почва* – песчаная почва рассыпается как зернами, так и непрочными агрегатами, обладающими некоторой связностью, холодит руку на ощупь; суглинистая и глинистая почва рассыпается мягкими комками, холодит руку на ощупь, при быстром подсыхании на воздухе

немного светлеет.

– *Влажная почва* – песчаная почва связная, не рассыпается свободно на отдельные зерна, сильно холодит руку на ощупь, сильно увлажняет фильтровальную бумагу, при сжатии в руке не сохраняет приданную форму; суглинистая и глинистая почва сильно холодит руку на ощупь, немного увлажняет фильтровальную бумагу, при подсыхании заметно светлеет, при сжатии в руке сохраняет приданную форму.

– *Сырая почва* – песчаная почва связная, не рассыпается, при сжатии в руке вода смачивает руку и сочится между пальцами; суглинистая и глинистая почва при сжатии в руке превращается в тестообразную массу и хорошо формируется, а вода смачивает руку, но не сочится между пальцами.

– *Мокрая почва* – песчаная почва течет, представляет собой плывун; суглинистая и глинистая почва сохраняет свою форму, но при сжатии в руке сочится между пальцами.

Внешние признаки увлажненности почв позволяют сделать предположение о наличии капиллярного подъема воды в генетические горизонты от слоя почвенно-грунтовых вод, выявить присутствие свободной воды в профиле, оказывающей влияние на развитие восстановительных процессов, определить глубину промачивания почв после дождя или глубину иссушения в засушливые периоды и т.д.

6.5.6. Новообразования и включения

Под *новообразованиями* понимаются морфологически оформленные выделения и скопления вещества в почвенном материале, отличающиеся от вмещающего их почвенного материала по составу и сложению и являющиеся следствием почвообразовательного процесса. Новообразования могут находиться как внутри почвенных агрегатов, так и на их поверхности или в порах между ними и трещинах. Почвенные новообразования принято классифицировать по составу и форме.

Первую систематику почвенных новообразований предложил С.А. Захаров (1930), разделивший их на две большие группы: химического и биологического происхождения. К первой группе относятся налеты, выцветы, примазки, натёки, корочки, прожилки, трубочки, конкреции, стяжения, прослойки, состоящие из водорастворимых солей, гипса, карбоната кальция, полуторных оксидов, соединений железа двухвалентного, кремнезема, гумусовых веществ. Ко второй группе относятся *червороины* (извилистые ходы и каналы червей), *копролиты* (зернистые клубочки экскрементов червей, представляющие собой кусочки земли, прошедшие через пищеварительный аппарат червей и пропитанные их выделениями), *дендриты* («узоры» от перегнивания мелких корешков на поверхности структурных отдельностей), *котовины* (пустые или заполненные ходы роющих животных (сусликов, сурков, кротов), *корневины* (полости, образующиеся после перегнивания крупных корней растений).

Более полную морфологическую систему почвенных новообразований предложил Р. Брюэр (1964), выделивший следующие их виды:

Кутаны – изменения текстуры или сложения на природных поверхностях в почвенном материале вследствие концентрации каких-либо компонентов почвы либо модификации плазмы *in situ*. По тем поверхностям, на которых они образованы, они делятся на кутаны зерен, агрегатов, каналов, поверхностей агрегатов и пор. По минералогическому составу они делятся на аргилланы – глинистые пленки; сескваны – пленки из полуторных оксидов; манганы – пленки оксидов марганца; солюаны – налеты водорастворимых солей, карбоната кальция, гипса; силаны – кремнеземистые пленки; скелетаны – налеты из скелетных зерен; сложные кутаны, состоящие из комплекса различных соединений, например железогумусовые, глинисто-гумусовые. Четко слоистые кутаны, представленные слоистыми глинами струйчатого строения, выделяются под названием *стриан*.

Педотубулы – новообразования, состоящие из почвенного материала и имеющие трубчатую внешнюю форму в виде простых и ветвящихся трубок с относительно резкими внешними границами. По составу трубки могут быть органическими (корневины, червороины, корневые чехлики), полутораоксидными, кремниевыми, кальцитовыми, гипсовыми, солевыми.

Глобулы – новообразования округлой формы, отличающиеся концентрацией какого-то материала и строением от вмещающего материала и отделяющиеся четкими границами. По составу глобулы могут быть полутораоксидными, марганцевыми, карбонатными, гипсовыми, кремневыми, глинистыми. По форме они классифицируются на *желваки (нодулы)* – плотные с недифференцированным внутренним строением, округлой неправильной формой и резкими границами; *конкреции* – с концентрическим строением вокруг точечного центра; *педоды* – пустотелые глобулы; *глобулярные облака* – диффузная аккумуляция материала вокруг точечного центра; *папулы* – слоисто-глинистые глобулы с резкими границами.

Кристаллярии – одиночные кристаллы или скопления кристаллов вне почвенной матрицы, по форме сопоставимые с теми порами, в которых они образуются. Они делятся на кристаллические трубки, кристаллические камеры, кристаллические прослои и включенные кристаллы.

Фекальные таблетки – экскременты почвенной фауны, копролиты, одиночные или сложные (кучками).

Новообразования являются результатом почвообразовательного процесса, поэтому они имеют важное диагностическое значение. В соответствии с происхождением выделяют следующие группы почвенных новообразований (Розанов, 2004).

Элювиальные новообразования – кремнеземистая присыпка, скелетаны, белесые пятна кремнезема.

Иллювиальные новообразования – известковые, железистые, кремнеземистые, глинистые, гумусовые или сложные налеты,

выцветы, примазки, корочки, прожилки, конкреции, стяжения, прослой самых разнообразных форм.

Гидрогенные новообразования – все новообразования водорастворимых солей, гипса, извести, полуторных оксидов, кремнезема разной формы и строения, связанные в своем генезисе с грунтовыми водами, особенно внутритпочвенные коры и прослой.

Диффузные (сегрегационные) новообразования – железистые конкреции и желваки.

Метаморфические новообразования – пятна и глазки ярозита, глеевые пятна, фраджипен, плинтит.

Прикорневые новообразования – прикорневые сидеритовые, известково-гипсовые или кремниевые конкреции, трубки разного состава, корневые чехлики, корневины, «глинистые корни».

Биогенные новообразования – червороины, кротовины, копролиты.

Унаследованные новообразования – сформировались в почвообразующей породе при ее образовании или отложении.

Реликтовые новообразования – новообразования древних стадий почвообразования, не связанные с современными почвенными процессами.

Почвенные новообразования специфичны: каждый почвенный тип характеризуется своим особым набором новообразований, их специфическим положением в профиле, приуроченностью к определенным генетическим горизонтам. Например, кремнеземистая присыпка, связанная с подзолообразовательным процессом, характерна для элювиальных горизонтов лесных почв, образование глея (соединений закисного (двухвалентного) железа), происходящее в условиях избытка воды и недостатка кислорода, типично для болотных и других гидроморфных почв, при этом развиваются глеевые горизонты. Если происходит чередование восстановительных их окислительных условий, то на отдельных участках глеевых сизых по окраске горизонтов появляются ржавые пятна соединений окисного (трехвалентного) железа.

Водорастворимые соли (хлориды, сульфаты и др.) аккумулируются в почвах засушливых областей. В подзолистых (элювиальных), а также иллювиальных горизонтах часто обнаруживаются орштейновые зерна, или рудяковые бобовины (дробовины), представляющие собой кремнелые скопления соединений железа и марганца овальной и округлой формы, образующиеся при чередовании восстановительных и окислительных процессов.

В разнообразных формах встречаются в почвах карбонатные новообразования. Это могут быть журавчики, дутики, белоглазка, прожилки, псевдомицелий и др. *Журавчики* – это твердые кремнелые скопления карбонатов овальной или сложной формы, встречающиеся в нижних карбонатных горизонтах почв, развитых на карбонатных породах в лесостепной зоне. В случае наличия внутри журавчиков пустоты, они называются *дутиками*. *Белоглазкой* называют мягкие округлые скопления углекислого кальция размером до 1 см со светлыми разводами. Такие новообразования встречаются в обыкновенных и южных черноземах. Часто карбонаты в нижних горизонтах лесостепных и степных почв принимают форму прожилков, образующихся и сохраняющихся в почвах благодаря выраженной сухости теплого периода года и автоморфности почв. В засушливых районах (например, в каштановых почвах) можно встретить псевдомицелий карбонатов, представляющий собой тонкие прожилки, ниточки белесого цвета, образующие на агрегатах причудливый рисунок.

Являясь важнейшим морфологическим признаком почв, новообразования дают возможность судить об их генезисе и агрономических свойствах.

Включения в почве – это случайные органические или минеральные тела или предметы, генетически не связанные с почвенными процессами. По происхождению выделяют 4 группы включений:

Литоморфы – обломки камней, галька, валуны, случайно рассеянные в почве и являющиеся частью почвообразующей породы.

Криоморфы – различные формы льда, связанные с сезонным или многолетним промерзанием почвы: конкреции, линзы, прожилки, прослои.

Антропоморфы – обломки кирпича, осколки стекла или фарфора, черепки, остатки захоронений, построек, металлические предметы и пр., связанные с деятельностью человека.

Биоморфы – а) фитоциты (фитолиты) и зоолиты (правильные кристаллы либо их обломки или сростки, представленные кварцем, оксалатом или карбонатом кальция, а также аморфные опаловые образования, сформированные в тканях животных и после их отмирания попадающие в почву); б) кости животных, естественно захороненные в почве; в) раковины моллюсков; г) захороненные остатки корней, стеблей, стволов растений; д) кремнистые, обизвесткованные, загипсованные или ожезненные остатки растений – окаменелости.

6.5.7. Границы горизонтов и характер переходов между ними

Характер перехода от одного горизонта к другому, форма границ горизонтов и степень их выраженности имеют важное генетическое значение и характеризуют условия увлажненности почв, интенсивность нисходящих токов почвенных растворов, активность и направленность почвообразовательных процессов, а также последствия земледельческого использования почв. Характер переходов, определяемый типом, возрастом и интенсивностью почвообразования в соответствии с факторами окружающей среды, в разных почвах неодинаков. По степени выраженности выделяют три вида переходов (Розанов, 2004):

Ясный переход – граница между соседними горизонтами четкая и выделяется на стенке разреза с неопределенностью в пределах 1–3 см. Такой переход характерен, например, для нижней границы гумусового горизонта черноземов.

Заметный переход – граница прослеживается с неопределенностью в пределах 3–5 см. Является типичным

переходом между подгоризонтами в нижней части профиля элювиально-иллювиальных почв.

Постепенный переход – граница выделяется с неопределенностью более 5 см. Характерен для горизонтов красноземов, подгоризонтов в гумусовом горизонте черноземов.

По форме границ между почвенными горизонтами выделяются восемь основных типов (Розанов, 2004):

Ровная граница – характерна для большинства почв, особенно в нижних менее дифференцированных частях профиля.

Волнистая граница – выделяется при отношении амплитуды к длине волны менее 0,5. Такая граница характерна для гумусового горизонта в серых лесных почвах.

Карманная граница – выделяется при отношении глубины к ширине затеков (карманов) от 0,5 до 2, расстояние между карманами варьирует, но для выделения этого типа границы необходимо иметь минимум 2 кармана на 1 м длины, в противном случае затек может быть описан как случайный при ровной границе. Характерна для нижней границы горизонтов со слабым развитием элювиальных явлений, преимущественно граница аккумулятивных горизонтов.

Языковатая граница – выделяется при отношении глубины языков к их ширине, равном от 2 до 5, при большем отношении граница будет затечной. Характерна для элювиальных горизонтов, гумусовых горизонтов большинства черноземов Сибири.

Затечная граница – выделяется при отношении глубины затеков к их ширине более 5 (может достигать несколько десятков см). Характеризует почвы с потечным характером гумуса (криогенные почвы) или почвы, подвергающиеся глубокому периодическому растрескиванию (например, слитые почвы вертисоли). Такая граница гумусового горизонта может быть связана с влиянием биологического фактора (затеки гумуса по ходам корней или ходам землероев).

Размытая граница – характерна для почв с сильным выражением элювиального процесса, когда нельзя провести

четкую границу между элювиальным горизонтом A_2 и иллювиальным В и приходится выделять подгоризонт A_2B , представляющий собой пограничный слой, широкую размытую границу между горизонтами. При выделении такой границы не обязательно переход между горизонтами должен быть постепенным, он может быть очень ясным, но граница между горизонтами столь извилистая, что вся лежит в пределах какого-то слоя, выделяемого как переходный горизонт.

Пильчатая граница – встречается редко (например, в подзолистых почвах на структурных глинах). В натуре её трудно отделить от волнистой, поэтому она обычно описывается как последняя.

Полисадная граница – встречается редко (например, между осолоделым и столбчатым горизонтом в солонцах при хорошей выраженности столбчатой структуры солонцового горизонта).

Границу между горизонтами выделяют обычно по ряду признаков, наиболее четко она прослеживается по окраске. Часто выделяют границы по плотности, структуре, гранулометрическому составу, по наличию новообразований и включений. Изменение какого-либо существенного морфологического признака по вертикали служит показанием для выделения соответствующего горизонта или подгоризонта.

Контрольные вопросы

1. Что изучает морфология почв?
2. Назовите фазы почвы и охарактеризуйте их.
3. Что относится к морфологическим элементам и морфологическим признакам почвы?
4. Назовите уровни морфологической организации почв.
5. Что называется почвенным профилем и генетическими горизонтами?
6. Какие индексы используются для обозначения горизонтов почвы?
7. Назовите типы простого и сложного строения почвенного профиля.
8. Охарактеризуйте типы почвенного профиля по распределению вещественного состава почвы.
9. Что понимается под однородной и неоднородной, равномерной и неравномерной окраской почвы?
10. Чем определяется окраска почвы и какую информацию о процессах почвообразования она несет?
11. Что понимается под структурой почвы и почвенными агрегатами?
12. Какая почва называется бесструктурной, раздельно-частичной и бекструктурной массивной?
13. По каким критериям выделяют типы, роды и виды почвенной структуры, согласно классификации С.А. Захарова?
14. Какие стадии различают в процессе образования почвенной структуры?
15. Что называется гранулометрическим составом

почвы? 16. Какими методами определяется гранулометрический состав почвы при полевом исследовании? 17. Какое сложение по пористости и плотности может иметь почва? 18. По каким критериям проводится определение влажности почвы? Какие выводы можно сделать на основании влажности почвы? 19. Что понимается под новообразованиями и включениями почвы? 20. Как классифицируют новообразования и какую информацию о почвообразовании они несут? 21. Охарактеризуйте границы и переходы между горизонтами почвы.

Глава 7 Факторы почвообразования

Под *факторами почвообразования* понимаются внешние по отношению к почве компоненты природной среды, под воздействием и при участии которых формируется почвенный покров земной поверхности. Основы учения о факторах почвообразования заложил В.В. Докучаев, впервые установивший, что формирование почв тесно связано с физико-географической средой и историей ее развития. Он писал: «почвы ... всегда и всюду являются результатом совокупной деятельности материнской горной породы, живых и отживающих организмов (как растений, так и животных), климата, возраста страны и рельефа местности ...». Функциональную взаимосвязь между почвой и главнейшими факторами почвообразования В.В. Докучаев выразил формулой:

$$П = f(K, O, Г, Р) \cdot T,$$

где П – почва; К – климат; О – организмы; Г – горные породы; Р – рельеф; Т – время.

В настоящее время выделяют еще один фактор – антропогенный, связанный с деятельностью человека.

7.1. Климат как фактор почвообразования

Климат – это статистический многолетний режим погоды, он является одной из основных характеристик той или иной местности. Это главный количественный показатель состояния атмосферы. Когда говорят о климате как факторе почвообразования, имеют в виду определенную часть атмосферы данной местности. Климат играет важнейшую роль в

распределении типов почв на Земном шаре.

Ведущими климатическими факторами являются поступление лучистой энергии солнца, тепла и влаги на поверхность Земли, в результате чего создается определенный гидротермический режим почв, обуславливающий условия жизни биологического фактора почвообразования, направление и скорость физических, химических, биохимических, биологических процессов в почве.

Основными климатическими показателями, необходимыми для понимания процессов почвообразования, являются следующие:

- годовое количество осадков,
- коэффициент увлажнения почв,
- среднегодовая температура воздуха,
- средние многолетние температуры января и июля,
- сумма среднесуточных температур воздуха за биологически активный период с температурами более 10°C и продолжительность этого периода,
- длина вегетационного периода.

Ведущим фактором климата является солнечная радиация, количество которой существенно различается в зависимости от местоположения данной территории. Космический приток солнечной энергии на верхней границе атмосферы составляет 8,296 кДж/см²·мин, однако поверхности Земли достигает не более 50% солнечной энергии, поскольку примерно 30% ее отражается от атмосферы в Космос, 20% поглощается водяными парами и пылью в атмосфере, и остаток достигает поверхности Земли в виде рассеянной радиации. Наблюдается закономерное нарастание поступления солнечной радиации в направлении от полюсов к экватору.

Важной характеристикой климата является *радиационный баланс* – разность между радиацией, поглощенной земной поверхностью, и эффективным излучением. Радиационный баланс зависит от следующих факторов: широты местности, характера подстилающей поверхности степени увлажнения территории и некоторых других.

В зависимости от количества поступающего тепла на поверхность Земли различают термические пояса планеты, характеризующиеся среднегодовой температурой, величиной радиационного баланса и суммой активных температур за год (табл. 8).

Таблица 8 – Термические пояса

Пояс	Среднегодовая температура, °С	Радиационный баланс, кДж/(см ² ·мин)	Сумма активных температур за год, °С
Полярный	-23...-15	21-42	400-500
Бореальный	-4...+4	42-84	2400
Суббореальный	+10	84-210	4000
Субтропический	+15	210-252	6000-8000
Тропический	+32	252-336	8000-10000

На основе термических параметров в каждом почвенном типе выделяют фациальные подтипы, связанные с термическим режимом: жаркие, теплые, умеренно теплые, холодные, умеренно холодные, промерзающие, непромерзающие почвы и т.д.

Важнейшим компонентом земной атмосферы является вода. В мировой круговорот ежегодно вовлекается около 577 тыс. км³ воды, из которых около 119 тыс. км³ ежегодно выпадает на сушу в виде осадков. Количество выпадающей из атмосферы воды в разных природных зонах неодинаково. В целом отмечается тенденция нарастания осадков в направлении от полюсов к экватору. Однако внутри континентов наблюдаются значительные отклонения от этой общей закономерности. Количество осадков на той или иной территории зависит от следующих факторов:

- особенностей атмосферной циркуляции,
- размеров и строения материков,
- наличия горных систем и низменностей,
- наличия холодных и теплых морских течений,
- близости морей и океанов и др.

В силу различных причин в каждой конкретной точке Земли складывается определенный тип теплового и водного режимов.

Г.Н. Высоцкий ввел понятие о *коэффициенте увлажнения* ($K_{увл}$) территории, который показывает отношение суммы осадков (P , мм) к испаряемости (E , мм) за тот же период:

$$K_{увл} = P/E$$

По его подсчетам $K_{увл}$ для лесной зоны составляет 1,38, для лесостепной – 1,0, для черноземной – 0,67, для зоны сухих степей – 0,33.

По обеспеченности суши водой и по особенностям почвообразования на земном шаре принято выделять 6 климатических областей, характеризующиеся среднегодовым количеством осадков и коэффициентом увлажнения (табл. 9).

Таким образом, между почвой и атмосферой устанавливается постоянный тепло- и влагообмен, вследствие этого обмена формируется гидротермический режим почвы, являющийся важнейшим ее свойством.

Большое влияние на формирование почв оказывают такие климатические показатели как распределение осадков по сезонам года, интенсивность выпадения осадков, относительная влажность воздуха, сила ветра по сезонам года, влияющие на особенности биологических процессов, скорость и направление почвообразования, а также обуславливающие степень проявления водной и ветровой эрозии почв.

Таблица 9 – Климатические области

Климатические области	Среднегодовое количество осадков, мм	Коэффициент увлажнения
Исключительно сухие (супераридные)	10–20	0,2–0,1
Засушливые (аридные)	50–150	0,5–0,3
Умеренно сухие (семиаридные)	200–400	0,7–0,5
Влажные (гумидные)	500–800	1,0
Избыточно влажные	1500–2000	1,2–1,5
Особенно влажные (супергумидные)	3000–5000	1,5–2,0–3,0

Климат оказывает на почвообразование прямое и косвенное влияние. Прямое выражается в непосредственном воздействии – увлажнение почвы влагой осадков, нагревание и охлаждение и т.д., косвенное – проявляется через воздействие на растительный и животный мир, деятельность микроорганизмов. С климатическими условиями тесно связаны процессы трансформации минеральных и органических соединений почвы, окислительно-восстановительный режим и многие другие составляющие почвообразовательного процесса.

Помимо общеземного климата важную роль в почвообразовании играет местный климат, называемый микроклиматом. Тот или иной микроклимат определяется формами рельефа, экспозицией склона, характером растительного покрова и др.

К области микроклимата, согласно В.Р. Волобуеву, принято относить приземный слой воздуха на высоте до 2 метров от поверхности Земли. Почвы разных элементов рельефа (положительных и отрицательных) получают неодинаковое количество атмосферных осадков в результате их перераспределения по поверхности земли, что приводит к формированию разных водных режимов почв повышенных и пониженных элементов рельефа. На количество тепла влияет экспозиция склона: южные склоны всегда теплее, чем северные. На равнинных территориях перераспределителем тепла и влаги является микрорельеф: микрозападины играют роль местных аккумуляторов поверхностных вод, стекающих с микроповышений. Существенное влияние на микроклимат оказывает растительность. На участках, занятых лесной растительностью, и открытым полем или лугом создаются значительные различия в водном и тепловом режимах почв.

Таким образом, при одинаковом макроклимате на разных элементах рельефа, под разной растительностью создаются различные микроклиматические условия, что приводит к формированию разных типов и подтипов почв.

7.2. Роль биологического фактора в почвообразовании

Наиболее мощным фактором, влияющим на направление почвообразовательного процесса, являются живые организмы. Как было показано выше, начало почвообразования всегда связано с поселением организмов на минеральном субстрате. В почве обитают представители всех четырех царств живой природы: растения, животные, грибы, прокариоты. Пионерами почвообразования являются микроорганизмы, водоросли, лишайники, они готовят биогенный мелкозем для поселения высших растений, играющих ведущую роль в почвообразовательных процессах.

Для каждой природной зоны характерны определенные биологические ценозы, т.е. комбинации живых организмов – высших растений, мхов, лишайников, водорослей, микроорганизмов (бактерий, грибов, актиномицетов), простейших, насекомых, беспозвоночных и позвоночных животных.

Высшие растения являются главными накопителями органического вещества и энергии в биосфере. По подсчетам В.И. Вернадского вся биомасса на суше Земли составляет $n \cdot 10^{12}$ т., В.А. Ковда уточнил эту цифру – $3 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{13}$ т. Количество фиксированной в этой биомассе солнечной энергии составляет $n \cdot 10^{19}$ кДж.

В связи с ведущей ролью растительности в почвообразовании, В.Р. Вильямс называл природные биоценозы растительными формациями, среди которых выделял следующие:

- деревянистые формации (таежные леса, широколиственные леса, субтропические леса и др.),
- деревянисто-травянистые формации (саванны, ксерофитные леса),
- травянистые формации (луга, степи, прерии),
- пустынные формации,
- лишайниково-моховые формации (тундры, верховые болота и др.).

В системе живое вещество–почва идет постоянный обмен энергией и веществом. Органическое вещество, созданное растениями, попадает в почву в виде наземного опада и непосредственно в толщу почвы в виде корневого опада. Под воздействием живых организмов, населяющих почву (беспозвоночные животные, микроорганизмы), опад подвергается процессам трансформации: часть его полностью минерализуется, т.е. превращается в минеральные соединения (воду, CO_2 и другие газы, простые соли), часть преобразуется в сложные высокомолекулярные органические соединения (почвенный гумус). В гумусовой оболочке Земли сосредоточено почти такое же количество энергии, как и во всей биомассе суши – $n \cdot 10^{19}$ – $n \cdot 10^{20}$ кДж.

Роль древесной и травянистой, лесной и степной или луговой растительности в процессах почвообразования существенно различается, что связано с характером поступления органических остатков в почву, их химическим составом, а также биологической активностью почв, составом микрофлоры и влиянием всех остальных факторов почвообразования. От складывающихся в почве конкретных условий зависят мощность гумусового горизонта и содержание в нем гумуса, его качественный состав и, в конечном счете, тип почвообразования. Поэтому не случайно синтез и разрушение органических веществ в почве называют сущностью почвообразовательного процесса.

Продуцентом органического вещества являются не только высшие растения. Во всех почвах в том или ином количестве в зависимости от влажности, условий освещения, солевого режима присутствуют почвенные *водоросли*. Они оказывают влияние на процессы накопления азота, режим кислорода и углекислого газа в почвенном воздухе, структуру почвы.

Важнейшим компонентом почвенных биоценозов являются *микроорганизмы*, общее количество которых измеряется десятками и сотнями миллионов, достигая иногда 2–3 млрд. на 1 г почвы. Микробная биомасса составляет 3–7 т/га (1–2 т/га сухого вещества). Основная масса микроорганизмов

сосредоточена в верхнем 20-см слое почвы, наиболее густо пронизанном корнями растений и заселенном мезофауной.

Особенность почвенных микроорганизмов состоит в способности их разлагать сложнейшие высокомолекулярные соединения до простых конечных продуктов: газов (углекислота, аммиак и др.), воды и простых минеральных соединений. Они принимают самое активное участие в процессе гумусообразования, который по своей природе является биохимическим.

Микроорганизмы воздействуют не только на органическое вещество почвы. Прижизненные продукты, выделяемые микроорганизмами во внешнюю среду, оказывают глубокое разрушающее действие на первичные и вторичные минералы. В этих процессах участвуют бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли, лишайники.

Большое влияние оказывают микроорганизмы и на состав почвенного воздуха, определяя содержание кислорода и углекислого газа. Велика их роль в циклах превращения азотсодержащих соединений. Как известно, азот, являясь важнейшим элементом минерального питания растений, содержится в почве в ограниченном количестве и в труднодоступной форме. Источником почвенного азота может быть атмосферный воздух и различные органические остатки. Последние, преимущественно белковые, подвергаясь процессам трансформации с участием микроорганизмов, преобразуются в более доступные соединения. Некоторые почвенные микроорганизмы способны фиксировать атмосферный азот. Азотфиксирующими микроорганизмами являются клубеньковые бактерии, образующие симбиотическое сообщество с бобовыми растениями, и свободно живущие азотфиксаторы, но деятельность последних значительно меньше, чем клубеньковых. Каждому типу почв свойственно свое, специфическое профильное распределение микроорганизмов, определенная численность и видовой состав.

Определенную роль в жизни почвы играют и *лишайники* – симбиотические организмы, тело которых состоит из двух

компонентов – грибного и водорослевого. Для процессов почвообразования важны две экологические формы: напочвенные и наскальные. Напочвенные лишайники распространены на низкоплодородных почвах – на песках, в тундрах, полупустынях, обильно развиваются в сухих сосняках, образуя там сплошной наземный покров. Наскальные лишайники, представленные в основном накипными формами, участвуют в физическом и химическом выветривании, образуют сложные органические кислоты полифенольного ряда, обладающие способностью связывать катионы выветривающихся минералов.

Большое влияние на процессы почвообразования оказывают и многочисленные *почвенные животные* – беспозвоночные и позвоночные. По размерам особей почвенной фауны выделяют 4 группы:

1) микрофауна – представлена организмами, размер которых менее 0,2 мм (нематоды, эхинококки и др.), живущие во влажной почвенной среде;

2) мезофауна – представлена организмами размером от 0,2 до 4 мм (мельчайшие насекомые, специфические черви), приспособленными к жизни в почве, имеющей влажный воздух;

3) макрофауна – представлена животными размером от 4 до 80 мм (земляные черви, моллюски, насекомые – муравьи термиты и др.);

4) мегафауна – представлена животными размером более 80 мм (крупные насекомые, скорпионы, кроты, змеи, черепахи, мелкие и крупные грызуны, и другие животные, роющие в почвах ходы и норы).

Среди почвенных животных преобладают беспозвоночные, суммарная биомасса которых в 1000 раз больше общей биомассы позвоночных. Одна из важнейших функций беспозвоночных – разрушение, измельчение и поедание органических остатков на поверхности почвы и внутри ее. Особенно огромна роль дождевых червей, ежегодно пропускающих через свои пищеварительные органы от 50 до 600 т/га мелкозема (в зависимости от почвенно-климатической

зоны). Одновременно с минеральной массой поглощается и перерабатывается большое количество органических остатков. В среднем экскременты червей (копролиты) составляют до 25 т/га в год. Существенную работу производят насекомые, их личинки и другие животные.

Вторая функция почвенных животных заключается в накоплении в их телах элементов питания и синтезе азотсодержащих соединений белкового характера. После завершения жизненного цикла животного происходит распад тканей и возврат в почву накопленных веществ и энергии.

Деятельность роющих животных связана с перемещением почвенной массы, формированием своеобразного микро- и нанорельефа.

Таким образом, почвенные животные и микроорганизмы преобразуют органические остатки в результате питания, способствуют гумусообразованию и формированию агрономически ценной структуры, перемешивают минеральную часть почвы с органической, активизируя тем самым химические взаимодействия между ними, изменяют пористость, воздухоемкость и водопроницаемость почвы, влияют на их биологическую активность.

В целом, биологический фактор является ведущим в почвообразовании, поскольку играет главную роль в обмене веществ и энергии в системе почва–растения–животные–микроорганизмы, без которого образование почвы невозможно. При вовлечении целинных почв в пашню происходит изменение состава их живого населения, формируются агробиоценозы, трансформируются состав и свойства почв в результате изменения направленности почвообразовательного процесса. При использовании почв в сельском хозяйстве важно создавать наиболее благоприятные для жизнедеятельности организмов условия и режимы с целью сохранения и увеличения плодородия почвы.

7.3. Роль материнских пород в почвообразовании

Характер материнских пород во многом влияет на плодородие почвы, что определяется их минералогическим и гранулометрическим составом. Чем разнообразнее состав минералов, тем лучший пищевой режим будет создаваться для растений. Легкие по гранулометрическому составу почвы, особенно песчаные, отличаются бедностью минералогического состава и низким плодородием, поскольку песчаные фракции состоят из оксида кремния SiO_2 (кварца), который очень устойчив к выветриванию и не содержит необходимых для развития растений элементов.

Гранулометрический состав влияет на формирование профиля. Так, на супесчаных и песчаных породах профиль часто растянутый, что связано с высокой водопроницаемостью, глубоким проникновением нисходящих почвенных растворов, вовлекающих в почвообразование значительную толщу породы. Тяжелые по гранулометрии породы (глинистые) могут способствовать заболачиванию почвы, что связано с их низкой водопроницаемостью.

Материнская порода оказывает большое влияние не только на минералогический и гранулометрический состав почвы, но и на химический, определяет физические, физико-химические и физико-механические свойства, водно-воздушный, пищевой и тепловой режимы, т.е. на весь комплекс факторов, обуславливающих плодородие почв. Кроме этого состав и свойства почвообразующих пород влияют на скорость и направление почвообразовательного процесса. Так, на маломощной коре выветривания очень плотных гранитов и гранитогнейсов Карелии за длительный период времени сформировались примитивные, слабо развитые почвы подзолистого типа с мощностью профиля 10–15 см, тогда как в депрессиях на этой же территории за это же время на продуктах ледниковых отложений (опесчаненных суглинках и супесях) сформировались довольно мощные подзолистые почвы с хорошо развитым профилем мощностью до 1–1,5 м.

От минералогического и химического состава почвы зависит и направленность почвообразовательного процесса. Так, наличие карбонатов в материнской породе препятствует развитию подзолистого процесса, так как углекислая известь нейтрализует кислые продукты распада органических остатков и фульвокислоты, разрушающие минеральную часть почвы, и тем самым предотвращает этот процесс. На карбонатных породах, как правило, интенсивно развивается гумусово-аккумулятивный процесс, формируются почвы с благоприятной для растений реакцией среды, с хорошо выраженной агрономически ценной комковато-зернистой водопрочной структурой.

Вещественный состав почвообразующей породы и ее физические свойства обязательно должны учитываться в практике орошаемого земледелия и осушительных мелиораций. Засоленность породы водорастворимыми солями в районах орошения может стать причиной вторичного засоления, осолонцевания и ощелачивания. При тяжелом гранулометрическом составе пород с низкой порозностью, плохой водопроницаемостью орошение без дренажной системы может привести к оглеению и заболачиванию.

Состав и свойства материнских пород в ходе почвообразовательного процесса подвергаются различным изменениям, однако влияние их на ход почвообразовательного процесса, свойства почвы и их режимы играет важнейшую роль в создании плодородия почв.

7.4. Рельеф как фактор почвообразования

Рельеф, являясь одним из важнейших факторов почвообразования, оказывает влияние на генезис почв и структуру почвенного покрова. На разных элементах почвы формируются неодинаковые почвы. В зависимости от положения в рельефе Н.М. Сибирцев предлагал относить почвы к *зональным*, развитым на водораздельных равнинных пространствах, и *интразональным*, развивающимся в депрессиях и понижениях и испытывающих влияние грунтовых

вод. Кроме этого он выделял почвы *азональные*, к которым относил неполноразвитые и рыхлопесчаные.

Большой вклад в развитие учения о роли рельефа в почвообразовании внес С.С. Неуструев. Он разработал положение о прямом и косвенном влиянии рельефа на почвообразовательные процессы. Прямая роль рельефа заключается в развитии эрозионных процессов, косвенная – выражается через перераспределение климатических факторов. Рельеф – главный фактор перераспределения солнечной радиации и осадков по поверхности земли в зависимости от экспозиции склона и его крутизны, высоты местности и т.д. и оказывает влияние на водный, тепловой, пищевой, окислительно-восстановительный и солевой почвенные режимы. Как правило, почвы южных склонов являются более теплыми и сухими, в связи с чем им отдается предпочтение при выборе участков под размещение садовых угодий. Почвы здесь раньше достигают состояния физической спелости, т.е. готовности к механической обработке, глубже прогреваются, лучше освещаются солнечными лучами. Однако на склонах южных экспозиций сильнее выражены процессы водной эрозии, и нижние их части переувлажняются вследствие формирования стока талых и дождевых вод. Почвы северных склонов более холодные, глубже промерзают, получают меньшее количество солнечной радиации и медленнее оттаивают, интенсивность снеготаяния на них небольшая, поэтому сток талых вод не вызывает активного развития эрозионных процессов. Таким образом, на склонах разных экспозиций создаются существенные различия в условиях развития биоценозов, синтеза и разложения органических веществ, трансформации минеральной части почв.

В горных районах возникает вертикальная зональность климата, растительности и почв. Так, с высотой местности изменяются следующие характеристики климата:

- 1) уменьшается атмосферное давление;
- 2) снижается температура воздуха;
- 3) уменьшается сумма активных температур и длина

вегетационного периода;

4) возрастает континентальность климата;

5) с увеличением высотных отметок до определенной высоты увеличивается общая сумма выпадающих годовых осадков, распределение которых определяется не только высотой, но и ориентировкой горных хребтов по отношению к влагонесущим воздушным потокам, расположенными вблизи морями и океанами и другими факторами.

Воздушные массы, приближаясь к горам, медленно поднимаются и постепенно охлаждаются, что способствует выпадению осадков. Перевалив через горную систему, те же воздушные массы, опускаются, нагреваются и становятся сухими.

Различают 3 группы форм рельефа: макрорельеф, мезорельеф, микрорельеф.

Под *макрорельефом* понимают самые крупные формы рельефа – равнины, плато, горные системы. Возникновение макрорельефа связано с тектоническими явлениями в земной коре.

Мезорельеф – это формы рельефа средних размеров: увалы, холмы, лощины, долины рек, террасы, формирование которых связано с экзогенными геологическими процессами (денудационные процессы, образование континентальных отложений). На возникновение мезорельефа влияют медленные поднятия и опускания отдельных участков земной коры.

Микрорельеф представлен мелкими формами рельефа от нескольких квадратных дециметров до нескольких сотен квадратных метров с колебаниями относительных высот в пределах одного метра. К этой группе рельефа относятся бугорки, различные понижения, впадины, возникающие в результате просадочных явлений, мерзлотных деформаций и т.д.

Некоторые исследователи выделяют еще одну группу рельефа – *нанорельеф*, понимая под ним небольшие формы рельефа, образованные деятельностью животных (термитники, муравейники, бугорки, нарытые сусликами и др.) или связанные с растительностью (осоковые кочки и др.).

На поверхности Земли широко распространены склоновые формы рельефа, которые принято характеризовать по крутизне, форме (прямой, выпуклый, вогнутый, выпукло-вогнутый, вогнуто-выпуклый, ступенчатый) и экспозиции (северная, южная, северо-восточная и т.д.).

Элементы мезо- и микрорельефа и склоны разной крутизны обуславливают перераспределение осадков на земной поверхности, регулируют соотношение вод, стекающих по поверхности, просачивающихся в почву и накапливающихся в понижениях. Склоны разной крутизны и экспозиции получают неодинаковое количество солнечной радиации, что отражается на формировании теплового и водного режимов почв, которые в свою очередь определяют пищевой, солевой, окислительно-восстановительный режимы. Это приводит к развитию различной растительности, к различию в синтезе и разложении органического вещества и в конечном итоге к формированию разных почв на разных элементах рельефа. Так, например, в условиях аридного и семиаридного климата на пониженных элементах рельефа с близким к поверхности уровнем грунтовых вод формируются почвы засоленного ряда (гидроморфные солончаки, солонцы), тогда как на повышенных элементах рельефа развиваются каштановые почвы без признаков засоления.

По положению в рельефе выделяют 3 группы почв: автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные.

Автоморфные почвы формируются на ровных поверхностях и склонах в условиях свободного стока поверхностных вод при глубоком уровне грунтовых вод (глубже 6 метров), не оказывающих влияние на почвообразовательные процессы.

Полугидроморфные почвы формируются на пониженных элементах рельефа, в нижних частях склонов при кратковременном застое поверхностных вод или залегании грунтовых вод на глубине 3–6 метров (капиллярная кайма может достигать корней растений), в связи с чем развитие их сопровождается повышенным увлажнением и появлением признаков восстановительных процессов, глееватых и ржавых

пятен, часто более интенсивным накоплением органического вещества.

Гидроморфные почвы приурочены к депрессиям и формируются в условиях длительного застоя поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине менее 3 метров (в этом случае капиллярная кайма может достигать поверхности почвы), что приводит к развитию восстановительных процессов, в частности глеевого, образованию торфа.

Таким образом, рельеф оказывает существенное влияние на генезис почв, их свойства и режимы.

7.5. Роль хозяйственной деятельности человека в почвообразовании

Хозяйственная деятельность человека является мощным фактором изменения естественных почв. К средствам воздействия на окружающую среду относятся машины, удобрения, оросительная и осушительная мелиорация, химические отходы и выбросы, техногенные нарушения и т.д. Существенные трансформации почв происходят при освоении их под пашню. Интенсивная обработка, внесение органических и минеральных удобрений, ирригация и другие мероприятия по окультуриванию почв приводят к изменению химических, физических и биологических свойств, водного, воздушного, пищевого режимов, меняют их морфологический облик. Человек уничтожает природные устойчивые экосистемы (леса, луга, степи) и заменяет их на менее устойчивые агроэкосистемы, характеризующиеся иными взаимоотношениями культурных растений с почвенной биотой и окружающей средой в целом. С целью сохранения и повышения плодородия почв и улучшения их свойств необходимо проводить комплекс мероприятий по регулированию водного, воздушного пищевого и других режимов. Пахотные почвы подвержены процессам дегумификации, обесструктуриванию, эрозии, дефляции, в связи с чем нуждаются в охране и особых приемах защиты.

Деградационным процессам подвержены не только почвы

сельскохозяйственного использования, но и при строительстве населенных пунктов, промышленных объектов, открытых способах добычи полезных ископаемых, прокладке трубопроводов, сооружении транспортных магистралей и линий электропередач. На техногенно нарушенных участках почвенного покрова необходимо проводить рекультивацию и воссоздавать природные ландшафты.

7.6. Возраст почв как фактор почвообразования

Почва является естественно-историческим телом природы, процесс ее образования длительный и протекает во времени. Каждый новый цикл почвообразования (сезонный, годичный, многолетний) сопровождается определенными изменениями в превращении органических и минеральных веществ в почвенном профиле, в связи с чем, фактор времени или, как говорил В.В. Докучаев, «возраст страны», имеет огромное значение в формировании, развитии и эволюции почв.

Различают понятия абсолютного и относительного возраста почв.

Абсолютный возраст – это время, прошедшее от начала формирования почвы до настоящего времени. Он колеблется от нескольких лет до миллионов лет. Наибольший возраст характерен для тропических почв, наименьший – для современных аллювиальных почв, развивающихся в приустьевой части речных пойм, где происходит ежегодный их снос при разливе реки в половодье, и после окончания паводка почвообразование начинается вновь на свежееотложенном речном аллювии. Нулевой возраст имеют поверхности суши, только что освободившиеся от воды, например побережье Прикаспия и Приаралья.

Возраст современного почвенного покрова равнин северного полушария соответствует голоценовому периоду, поскольку почвообразование здесь связано с окончанием последнего материкового оледенения. Довольно сложно судить об абсолютном возрасте горных почв, поскольку в горных

системах происходит постоянное омоложение поверхности в результате тектонических и денудационных процессов.

Относительный возраст почв характеризует скорость почвообразовательного процесса, быстроту смены одной стадии развития почвы другой, т.е. относительный возраст почв – это степень развития почвенного профиля. Он связан с влиянием минералогического, химического состава и свойств материнских пород, особенностей местоположения почвы на тех или иных элементах рельефа, климата и других факторов на скорость и направление почвообразовательного процесса. При определении относительного возраста почв принимают во внимание степень их развития. Так, более мощные, более гумусированные, более выветрелые, более дифференцированные почвы считаются стадийно более зрелыми, т.е. имеющими больший относительный возраст.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под факторами почвообразования? Назовите их.
2. Перечислите важнейшие для процессов почвообразования показатели климата.
3. Назовите термические пояса и климатические области планеты Земля.
4. В чем заключается прямое и косвенное влияние климата на почвообразование?
5. Какова роль микроорганизмов, водорослей, лишайников, высших растений и почвенных животных в почвообразовании?
6. Каким образом материнские породы влияют на плодородие почв, скорость и характер почвообразования?
7. В чем заключается прямая и косвенная роль рельефа в почвообразовании?
8. Что понимают под макро-, мезо- и микро- и нанорельефом?
9. Какие почвы называют автоморфными, полугидроморфными и гидроморфными?
10. Охарактеризуйте хозяйственную деятельность человека как фактор почвообразования.
11. Что понимают под абсолютным и относительным возрастом почв?

Глава 8 Гранулометрический состав почв и его значение

8.1. Формирование гранулометрического состава почвы

Большинство почв формируются на рыхлых отложениях, которые являются продуктами выветривания (т.е. разрушения, преобразования и перетолжения исходных плотных пород), и представляют собой смесь минеральных частиц различной крупности. Последние называются минеральными элементами или механическими частицами. Соотношение частиц разного размера может быть различным, что определяет тот или иной гранулометрический состав почвы.

Гранулометрическим составом почвы называется массовое соотношение (относительное содержание в процентах) в ее составе твердых частиц (механических элементов) разной крупности, выделяемых в пределах непрерывного ряда определенных условных групп крупности (гранулометрических фракций).

Гранулометрический состав почв в значительной степени унаследован от почвообразующих горных пород и мало меняется в процессе почвообразования, т.е. является довольно устойчивым признаком почвы, в отличие от таких свойств, как состав почвенного раствора, поглощающего комплекса и др. Гранулометрический состав продуктов выветривания плотных пород обусловлен их минералогическим составом: кислые, богатые кварцем породы, дают при выветривании много крупнодисперсного песчаного материала; элювий основных пород, богатых легковыветривающимися минералами, обогащен тонкодисперсными глинистыми частицами; элювий известняков, мергелей обычно имеет глинистый состав.

Крупные частицы в большинстве своем представлены кварцем, пылеватые – кварцем и полевыми шпатами, тонкодисперсные (илистые частицы) – вторичными глинистыми минералами.

Механические элементы почв не только унаследуются от исходной материнской породы, но и образуются в процессе

почвообразования, в связи с чем они могут быть минеральными, органическими или органоминеральными. В соответствии с этим элементарные почвенные частицы могут быть первичными, т.е. унаследованными, или вторичными, т.е. новообразованными.

8.2. Классификация механических элементов почв

В научных школах разных стран мира существует большое количество классификаций механических элементов по их крупности. В России общепринятой является классификация Н.А. Качинского (1965), в которой выделяются следующие градации:

Камни – более 3 мм

Гравий – 3–1 мм

Песок:

крупный – 1–0,5 мм

средний – 0,5–0,25 мм

мелкий – 0,25–0,05 мм

Пыль:

крупная – 0,05–0,01 мм

средняя – 0,01–0,005 мм

мелкая – 0,005–0,001

Ил:

глинистый (грубый) – 0,001–0,0005 мм

коллоидный (тонкий) – 0,0005–0,0001 мм

Коллоиды – менее 0,0001 мм.

Н.М. Сибирцев ввел следующие понятия:

– *мелкозем* – сумма частиц мельче 1 мм. В пределах фракции мелкозема выделяются фракции физической глины и физического песка.

– *физическая глина* – сумма частиц мельче 0,01 мм.

– *физический песок* – сумма частиц крупнее 0,01 мм.

Частицы, включающие камни и гравий, т.е. имеющие размер крупнее 1 мм, называются *скелетом*.

Физические, химико-минералогические, физико-химические и другие свойства почв во многом обусловлены теми или иными фракциями, участвующими в формировании гранулометрического состава почв. Наиболее существенные различия в свойствах фракций лежат на границе около 0,001 мм. У частиц, мельче этого размера, т.е. у илестых частиц и коллоидных, в силу высокой дисперсности и особого химико-минералогического состава (в них преобладают глинистые минералы, а также гумусовые вещества) ярко выражена поглотительная способность, способность к коагуляции с образованием агрегатов, что обуславливает создание благоприятных физических свойств почвы в целом. Однако при существовании в почве илестых частиц вне агрегатов наблюдается резкое снижение ее воздухо- и водопроницаемости.

Во фракциях крупнее 0,001 мм поглотительная способность практически не выражена, так как они представлены обломками первичных минералов и содержат ничтожное количество гумуса (за исключением фракции мелкой пыли размером 0,005–0,001 мм, содержащей некоторое количество гумуса и примесь глинистых минералов).

Фракции крупной и средней пыли в интервале от 0,05 до 0,005 мм обуславливает способность почв к распылению в сухом состоянии и к сплыванию во влажном. При значительном содержании этих фракций вне агрегатов создаются неблагоприятные водно-физические свойства почв.

Песчаные фракции размером 1–0,05 мм целиком представлены обломками пород и минералов. Они совершенно лишены поглотительной способности, однако при значительном содержании обеспечивают хорошую воздухо- и водопроницаемость.

8.3. Классификация почв по гранулометрическому составу

Существует несколько классификационных схем для определения гранулометрического состава почв и грунтов в зависимости от соотношения фракций механических элементов

(элементарных механических частиц). В России принята классификация, разработанная Н.М. Сибирцевым и впоследствии уточненная Н.А. Качинским. Эта классификация основана на соотношении физической глины (сумма частиц размером менее 0,01 мм) и физического песка (сумма частиц размером более 0,01 мм) (табл. 10).

Таблица 10 – Классификация почв по гранулометрическому составу (по Качинскому, 1965)

Краткое название почвы по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (частицы <0,01 мм), %		
	Подзолистый тип почвообразования	Степной тип почвообразования, красноземы желтоземы	Солонцы и сильносолонцеватые почвы
Песок рыхлый	0–5	0–5	0–5
Песок связный	5–10	5–10	5–10
Супесь	10–20	10–20	10–15
Суглинок легкий	20–30	20–30	15–20
Суглинок средний	30–40	30–45	20–30
Суглинок тяжелый	40–50	45–60	30–40
Глина легкая	50–65	60–75	40–50
Глина средняя	65–80	75–85	50–65
Глина тяжелая	>80	>85	>65

За рубежом принята иная классификация почв по гранулометрическому составу, разработанная американскими почвоведом и основанная на соотношении трех фракций: песка (частицы размером 2,0–0,06 мм), пыли (частицы размером 0,06–0,002 мм) и глины (частицы размером <0,002 мм).

В почвоведении принято давать не только краткое название почв по гранулометрическому составу (например, суглинок легкий), но и полное, с указанием двух преобладающих по содержанию групп фракций мелкозема: песчаной (1–0,05 мм), крупнопылевой (0,05–0,01 мм), пылевой (0,01–0,001 мм) или иловой (<0,001 мм). На втором месте после основного названия гранулометрического состава принято указывать название группы с наибольшим процентным содержанием (например, суглинок легкий иловато-крупнопылеватый, из двух

преобладающих групп фракций – ила и крупной пыли – последняя доминирует). Для полного названия супеси прибавляют название только одной преобладающей группы фракций, кроме песчаной, поскольку супесь всегда песчаная, например супесь пылеватая. Для полного названия по гранулометрическому составу песка рыхлого или связного к краткому названию добавляют название преобладающей фракции песка, например, песок рыхлый крупнозернистый.

По соотношению крупных и тонких фракций почвы принято делить на «легкие» и «тяжелые». К «легким» относятся почвы, в гранулометрическом составе которых преобладают крупные фракции (это песчаные и супесчаные почвы), к «тяжелым» – почвы с преобладанием в их составе тонких фракций, особенно ила (это тяжелосуглинистые и глинистые почвы). Первые в агрономической практике называют теплыми, а вторые – холодными, поскольку тяжелые почвы медленнее нагреваются солнцем.

8.4. Агрономическое и экологическое значение гранулометрического состава почв

Гранулометрический состав определяет такие важные свойства почвы как содержание гумуса и элементов питания растений, поглонительную способность почв, фильтрационную и водоудерживающую способность и многие другие, влияя на плодородие почв в целом. Чем тяжелее гранулометрический состав, тем больше элементов питания, активнее гумусоаккумулятивный процесс и структурообразование, выше поглонительная способность, влагоемкость, ниже водо- и воздухопроницаемость и т.д. Гранулометрический состав влияет на скорость и направление почвенных процессов, формирование морфологических особенностей профилей и режимов почв (водный, воздушный, тепловой, пищевой). В связи с этим при регулировании водного режима при оросительных или осушительных мелиорациях почв обязательно учитывается их гранулометрический состав.

От гранулометрического состава почв зависит скорость их просыхания, сопротивление воздействию почвообрабатывающих орудий, так как плотность и липкость песчаных и глинистых почв разная. Таким образом, гранулометрический состав определяет сроки проведения полевых работ, затраты топлива на обработку почв и земляные работы.

Существенную роль играет гранулометрический состав в тепловом режиме почв: как правило, легкие почвы более «теплые», т.е. быстрее оттаивают и прогреваются.

Почвы легкого гранулометрического состава имеют свободный внутренний дренаж, если они не подстилаются тяжелыми и уплотненными слоями и находятся вне капиллярной каймы грунтовых вод. В тяжелых почвах дренаж более затруднен, поэтому они более склонны к развитию восстановительных процессов и внутрипочвенному оглеению даже при отсутствии близких к поверхности грунтовых вод.

Наиболее благоприятные свойства и режимы почв складываются при легко- и среднесуглинистом гранулометрическом составе, однако на фоне хорошей оструктуренности, например черноземов, более плодородными будут тяжелосуглинистые почвы. В агрономической практике существуют различные приемы, позволяющие регулировать (оптимизировать) гранулометрический состав почв: на песчаных почвах проводится глинование, на глинистых – пескование.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под механическими элементами почвы и как их классифицируют? 2. Какие свойства почв обуславливают разные фракции гранулометрического состава? 3. Как классифицируют почвы по гранулометрическому составу? Какие почвы относятся к «легким» и «тяжелым»? 4. В чем заключается агрономическое и экологическое значение гранулометрического состава почв?

Глава 9 Минералогический состав почв

Основная доля вещественного состава почв (кроме торфяных) и рыхлых почвообразующих пород представлена минеральными частицами, подразделяемыми на две группы: 1) первичные минералы, 2) вторичные минералы. *Первичные* перешли в мелкозем почв из разрушенных плотных изверженных, метаморфических или осадочных пород. *Вторичные* минералы представляют собой продукты трансформации первичных минералов или новообразованы в ходе выветривания и почвообразования (это тонкодисперсные частицы, главным образом, глинистых минералов).

9.1. Первичные минералы

Первичные минералы почти целиком сосредоточены в крупных гранулометрических фракциях размером более 0,001 мм. На их долю приходится 90–98% массы мелкозема в песках, 50–80% в суглинках и 10–12% в глинах. Наиболее распространенными первичными минералами в почвах и породах являются кварц, полевые шпаты, амфиболы, пироксены и слюды, составляющие основную массу магматических пород.

Наиболее устойчивые и медленно выветривающиеся кварц и полевые шпаты крупнозернисты и сосредоточены в основном в песчаных и пылеватых частицах. Легко выветривающиеся амфиболы, пироксены и многие слюды в рыхлых породах и почвах содержатся в небольших количествах в виде мелких кристаллов.

Ионы в кристаллах минералов расположены в виде геометрически правильной пространственной решетки, которая называется кристаллической. Благодаря такому строению кристаллы минералов имеют форму геометрически правильных многогранников. Для каждого минерала характерны своя кристаллическая решетка и определенная форма кристаллов.

Неустойчивыми к выветриванию минералами являются апатиты, биотит, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы,

пироксены, хлориты. Подвергаясь выветриванию, они служат источником элементов питания: фосфором богат апатит, калием – биотит и калиевые полевые шпаты, кальцием – плагиоклаз, железом – пироксены, биотит, хлорит.

Устойчивые к выветриванию минералы, представленные рядом силикатов, а также оксидами железа, титана, некоторых других групп (анатаз, гранаты, ильменит, магнетит, мусковит, рутил, сфен, турмалин, циркон) содержатся в почве в очень ограниченном количестве.

Устойчивость минералов к процессам разрушения во многом зависит от условий выветривания: одни и те же минералы в одной кислотнo-щелочной обстановке могут быть устойчивыми к выветриванию, а в другой – менее устойчивыми. Так, например, в кислых подзолистых почвах наиболее устойчив к выветриванию кварц, а в засоленных почвах со щелочной реакцией среды более устойчивыми оказываются калиево-натриевые полевые шпаты.

Первичные минералы целиком наследуются почвами от почвообразующей породы. Для рыхлых почвообразующих пород (моренных отложений, лёссов, покровных и лессовидных суглинков, флювиогляциальных песков и супесей) характерно преобладание кварца и полевых шпатов. Почвы на элювии плотных пород отличаются присутствием в составе первичных минералов большого количества полевых шпатов при пониженной доле кварца. В почвах на элювии плотных пород основного состава (базальтов, долеритов, туфов) в составе первичных минералов доминируют средние и основные плагиоклазы, пироксены, вулканические стекла, в почвах на элювии магматических кислых пород (гранитов, гранодиоритов) – полевые шпаты, кварц, биотит, роговая обманка, в почвах на элювии кристаллических сланцев часто преобладают слюды и хлориты, в почвах на элювии карбонатных пород (известняков, мергелей) – тонкообломочный материал карбонатных пород, кальцит и доломит при высокой доле тонкодисперсных гидрослюд и глинистых минералов.

9.2. Вторичные минералы

Вторичные минералы практически целиком сосредоточены в тонких гранулометрических фракциях размером менее 0,001 мм (ил, коллоиды) и представлены глинистыми минералами, минералами оксидов железа и алюминия, аллофанами и минералами простых солей.

Глинистые минералы названы так потому, что определяют минералогический состав глин, они составляют основную часть вторичных минералов. Глинистые минералы играют важнейшую роль в почвообразовании, поскольку обладают поглотительной способностью и обуславливают емкость поглощения почв, в связи с чем наряду с гумусом они являются основным источником элементов минерального питания растений.

К главнейшим глинистым минералам относятся следующие группы минералов:

- минералы группы каолинита,
- минералы группы гидрослюд,
- минералы группы монтмориллонита,
- смешаннослойные минералы,
- минералы группы хлорита.

Все они характеризуются общими свойствами: имеют слоистое кристаллическое строение, высокую дисперсность и поглотительную способность. Ниже приводится краткая характеристика основных минералов этих групп.

Минералы группы каолинита относятся к слоистым алюмосиликатам с низкой поглотительной способностью. Емкость поглощения каолинита не превышает 20–25 мг-экв/100 г, минерал не впитывает воду в межпакетное пространство (т.к. двухслойная кристаллическая решетка не расширяющаяся, межпакетное пространство постоянное) и поэтому не обладает способностью к набуханию. Вследствие этого почвы, содержащие в значительном количестве каолинит, характеризуются низкой емкостью поглощения, однако в связи с низкой набухаемостью имеют хорошую водопроницаемость и небольшую липкость. Содержание каолинита в почве обычно

незначительно, за исключением почв субтропической и тропической зон, а также почв на древних корках выветривания (в ферраллитных корках каолинит является основным глинистым минералом). К группе каолинита относится минерал галлуазит, отличающийся значительным содержанием межслоевой воды и большей емкостью поглощения (40–60 мг-экв/100 г). К этой же группе относятся диккит и накрит.

Минералы группы гидрослюд, или группы иллита, представляют собой алюмосиликаты с трехслойной нерасширяющейся решеткой и переменным химическим составом. Они образуются преимущественно из слюд и полевых шпатов. Связь между пакетами кристаллической решетки прочная, вода в них не проникает. Емкость поглощения составляет 45–50 мг-экв/100 г. Гидрослюды содержат значительное количество калия (до 6–8% K_2O), частично усвояемого растениями. Обменный калий находится на краях разрушенной кристаллической решетки. Минералы этой группы широко распространены в осадочных породах и присутствуют почти во всех почвах (особенно часто в подзолистых и сероземах). К минералам группы гидрослюд относятся гидромусковит, гидробиотит и др.

Минералы монтмориллонитовой группы, или минералы группы смектита, характеризуются трехслойным строением с сильно расширяющейся при увлажнении кристаллической решеткой, в связи с этим они способны к поглощению воды и значительному набуханию. Гидрофильность обусловлена также и высокой дисперсностью. Емкость поглощения составляет 80–120 мг-экв/100 г. К минералам монтмориллонитовой группы относятся монтмориллонит, смектит, сапонит, бейделлит, нонтронит. Они чаще свойственны почвам, имеющим нейтральную и слабощелочную реакцию – черноземам, каштановым почвам, солонцам. Особенно много монтмориллонита в слитых почвах, формирующихся на иловато-глинистых породах, и, наоборот, мало или совсем нет в ферраллитных почвах.

Водно-физические свойства минералов рассматриваемой группы малоблагоприятны: они содержат большое количество воды, недоступной растениям (максимальная гигроскопичность у монтмориллонита достигает 30%), во влажном состоянии сильно набухают, в сухом уплотняются и растрескиваются, обладают значительной липкостью, слабо водопроницаемы, образуют корку. В сочетании с гуминовыми кислотами минералы образуют водопрочные агрегаты, поэтому на фоне высокого содержания гумуса в почвах, богатых минералами монтмориллонитовой группы, водно-физические свойства значительно улучшаются.

К монтмориллону по свойствам близок минерал вермикулит, характеризующийся расширяющейся кристаллической решеткой и большой емкостью поглощения (до 100 мг-экв/100 г и более).

Группа смешаннослойных минералов в большей степени характерна для почв умеренного и холодного гумидного, а также арктического поясов, где глинистые минералы на 30–80% представлены этой группой. Смешаннослойные минералы состоят из слоев различных индивидуальных минералов и обозначаются составными названиями, например: гидрослюда–монтмориллонит, хлорит–вермикулит. В зависимости от характера переслаивания и доли участия индивидуальных минералов смешаннослойные образования могут иметь различные характеристики химических и физических свойств, емкость поглощения.

Глинистые минералы *группы хлорита* по своему происхождению могут быть, как первичными, так и вторичными. Кристаллическая решетка их четырехслойная, ненабухающая. Хлориты представляют собой алюмосиликаты, содержащие железо, магний, реже хром и никель.

Ко вторичным минералам относятся *минералы гидроксидов железа и алюминия*, среди которых наибольшее значение имеют гематит (Fe_2O_3) и гётит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) из минералов группы железа и гиббсит (гидраргилит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Al}(\text{OH})_3$) и бёмит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) из минералов группы алюминия. Эти

минералы встречаются в иллювиальных горизонтах подзолистых почв, желтоземах и красноземах, в значительных количествах гётит и гиббсит присутствуют в ферраллитных и железистых почвах, где они образуются из аморфных гидратов оксидов железа и алюминия при их кристаллизации. Минералы этой группы способны связывать в малоподвижных формах значительное количество фосфорной кислоты, снижая количество доступного фосфора для растений.

Самостоятельную группу вторичных минералов образуют *аллофаны*, образующиеся в результате взаимодействия кремнекислоты и гидроксидов алюминия, освобождающихся при разрушении первичных и вторичных минералов, а также из золы растительных остатков. Присутствие в почве аллофанов способствует повышению емкости поглощения, увеличению гидрофильности, липкости и набухаемости.

Минералы простых солей, или минералы–соли, присутствуют в почвах главным образом в виде примесей к глинистым минералам. Встречаются они в основном в почвах аридных и семиаридных зон. Значительная часть минералов-солей при высокой влажности почвы растворяется, насыщая почвенный раствор, а при высыхании они выпадают в осадок, формируя твердую фазу почвы.

Наиболее широко распространены следующие минералы–соли:

Карбонаты: кальцит, люблинит, арагонит – CaCO_3 ; доломит – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$; сода – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Сульфаты: гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; ангидрит – CaSO_4 ; мирабиллит – $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$; тенардит – Na_2SO_4 .

Хлориды: галит – NaCl , иногда встречаются CaCl_2 и MgCl_2 .

Большое количество солей характерно для соленосных почвообразующих пород (приморские отложения, древние морские осадки) и засоленных почв (солончаков, солонцов и др.).

9.3. Минеральные преобразования в почвах

Минералогический состав почв довольно разнообразен и зависит от большого количества факторов:

- минералогического и химического состава исходной почвообразующей породы,
- биоклиматической обстановки почвообразования,
- соотношения величины рН и окислительно-восстановительного потенциала среды,
- условий дренажа,
- присутствия катионов в среде,
- возраста выветривания и почвообразования,
- присутствия органических соединений.

Разнообразие указанных условий дает разнообразие минеральных ассоциаций в почвах и в отдельных горизонтах почвенного профиля. Кроме этого минералы перемещаются в пределах почвенного профиля (вместе с восходящими и нисходящими потоками) и в сопряженных ландшафтах с водными и эоловыми потоками. В связи с этим практически во всех почвах можно обнаружить почти все группы минералов, хотя и в разных соотношениях.

Существуют определенные типы почв, характеризующиеся специфическим минералогическим составом, к ним относятся следующие:

- а) вулканические почвы (андосоли) – содержат большое количество первичного вулканического стекла и вторичных аллофанов;
- б) вертисоли – в илистой фракции преобладает монтмориллонит;
- в) ферраллитные почвы, в частности красноземы – состоят почти нацело из трех компонентов: кварца, каолинита и минералов группы оксидов железа и алюминия;
- г) болотные почвы – преобладают вивианит и оксиды железа,
- д) окисленные маршевые и мангровые почвы – содержат ярозит;

е) солончаки – обогащены минералами-солями, состав которых определяется типом засоления.

От минералогического состава почв зависят многие свойства почв, определяющие их плодородие: резерв питательных элементов, водно-физические свойства, поглотительная способность, наличие доступных элементов питания растений и т.д.

Контрольные вопросы

1. Какие минералы называют первичными и вторичными? 2. Назовите первичные минералы и охарактеризуйте их. 3. Какими группами минералов представлены вторичные минералы? 4. Какую роль в почвообразовании играют глинистые минералы? Назовите их группы и охарактеризуйте. 5. От каких факторов зависит минералогический состав почв?

Глава 10 Химический состав почв

10.1. Валовой химический состав почв, его связь с гранулометрическим и минералогическим составом

Почва, являясь верхней частью коры выветривания литосферы, в общих чертах наследует ее химический состав (табл. 11). Одновременно почва представляет собой продукт воздействия на литосферу живого вещества, поэтому она отличается от коры выветривания по содержанию ряда элементов. В литосфере и в почве около половины составляет кислород; второе место занимает кремний (на его долю приходится почти четвертая часть всех элементов); следующую по порядку содержания группу, примерно десятую часть, образуют алюминий и железо, еще меньшую долю (несколько процентов) составляют кальций, магний, натрий, калий; на все остальные элементы, исключая углерод, приходится менее одного процента. В природной «живой» почве, кроме этого, всегда присутствуют органическое вещество, вода и газы. Наиболее резко химический состав почвы отличается от химического состава литосферы по содержанию углерода и азота, которых в почве больше в 20 и 10 раз соответственно, что

обусловлено влиянием биогенных факторов. В почвах значительно больше кислорода и водорода, входящих в состав воды, несколько меньше содержание алюминия, железа, кальция, магния, калия и натрия, что связано с превращениями и миграцией этих элементов в процессе почвообразования.

Поскольку основная часть почвенной массы (за исключением гумуса и органических остатков) представлена минеральными частицами, валовой химический состав почвы определяется, главным образом, составом и количественным соотношением формирующих ее минералов.

По отдельным гранулометрическим фракциям химические элементы распределяются неравномерно, так как имеются различия в их минералогическом составе. Во фракциях размером $>0,25$ мм наиболее высоко содержание кремния, так как эта фракция обогащена обломочным кварцем. В более тонких фракциях увеличивается доля полевых шпатов и других первичных, особенно железосодержащих, минералов, в связи с чем растет содержание алюминия, железа и других элементов.

Минералогический состав илистой и отчасти тонкопылевой фракций отличается преобладанием вторичных глинистых минералов, относительно обогащенных алюминием и железом, поэтому содержание SiO_2 в этих фракциях уменьшается, а Al_2O_3 и Fe_2O_3 увеличивается. Таким образом, в зависимости от гранулометрического состава почвообразующих пород и почв меняется их валовой химический состав, который в значительной мере является функцией гранулометрического и минералогического состава.

В разных генетических горизонтах почвы химический состав неодинаков. На основании различий химического состава в почвенных горизонтах и почвообразующей породе судят о химических преобразованиях породы и дифференциации профиля в ходе почвообразовательного процесса. Наиболее существенные различия в составе горизонтов наблюдаются в почвах с элювиально-иллювиально дифференцированным профилем: элювиальные горизонты относительно обеднены

Al_2O_3 и Fe_2O_3 и обогащены SiO_2 , а иллювиальные – наоборот, обогащены полуторными оксидами.

Таблица 11 – Среднее содержание химических элементов в земной коре и почвах (по А.П. Виноградову, 1950)

Элемент	Средний весовой процент		Элемент	Средний весовой процент	
	В земной коре	В почвах (на сырую навеску)		В земной коре	В почвах (на сырую навеску)
O	47,2	55,00	Ra	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-12}$
H	0,15	5,00	P	$7,8 \cdot 10^{-2}$	0,08
C	0,10	5,00	Cl	$4,8 \cdot 10^{-2}$	0,10
N	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,10	S	0,05	0,04
Si	27,6	20,00	Br	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Al	8,80	7,00	B	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$
Fe	5,00	2,00	J	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Ti	0,60	0,40	F	$2,7 \cdot 10^{-2}$	0,01
Mn	0,09	0,06	Ni	0,01	$3 \cdot 10^{-3}$
Ca	3,50	2,00	Co	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Na	2,64	1,00	Cu	0,01	$5 \cdot 10^{-4}$
K	2,50	1,00	Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ba	$3,9 \cdot 10^{-2}$	0,01	Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Sr	0,04	0,02	Mo	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Rb	0,03	$1 \cdot 10^{-3}$	Se	$6 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Li	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$			

10.2. Содержание и соединения в почвах основных химических элементов

Содержание отдельных химических элементов в почве определяется присутствием их в составе разнообразных минеральных и органических соединений.

Кислород. Содержание этого элемента в почвах составляет 55%. Кислород входит в состав гумуса, большинства первичных и вторичных минералов, солей, кислот и воды.

Водород. Среднее содержание в почвах 5%, присутствует в форме воды, в составе гумуса, многих вторичных минералов, в органических остатках растений и животных.

Кремний. Содержание этого элемента определяется главным образом присутствием в почве кварца и в меньшей мере первичных и вторичных силикатов и алюмосиликатов. В ряде случаев может присутствовать, в том числе и в больших количествах, аморфный кремнезем в виде опала или халцедона, генезис и накопление которых в почве связаны с биогенными (опаловые фитолитарии, спикулы губок, скелеты диатомей и т.п.) или гидрогенными (окремнение почв) процессами. Валовое содержание SiO_2 в почве колеблется от 40–70% в глинистых почвах, до 90–98% в песчаных, в ферраллитных почвах тропиков может быть намного ниже. Растворенный кремнезем поглощается корнями растений.

Алюминий. Содержание алюминия в почвах обусловлено главным образом присутствием полевых шпатов и глинистых минералов и отчасти некоторых других богатых алюминием первичных минералов (слюд, эпидотов, граната, корунда). Может присутствовать и свободный глинозем в виде разнообразных гидроксидов алюминия (диаспор, бемит, гидраргиллит) в аморфной или кристаллической форме. Валовое содержание Al_2O_3 в почвах обычно колеблется от 1–2 до 15–20%, а в ферраллитных почвах тропиков и бокситах может превысить 40%. В ионной форме алюминий участвует в обменных реакциях.

Железо. Этот элемент присутствует в почвах в составе как первичных, так и вторичных минералов, являясь компонентом магнетита, гематита, титаномагнетита, глауконита, роговых обманок, пироксенов, биотита, хлоритов, глинистых минералов, минералов группы оксидов железа. Много в почвах содержится и аморфных соединений железа, особенно разнообразных гидроксидов (гетит, гидрогетит и др.). Общее содержание в почве Fe_2O_3 колеблется в очень широких пределах: от 0,5–1,0% в кварцево-песчаных почвах и 3–5% в почвах на лёссах до 8–10% в почвах на элювии плотных ферромагнезиальных пород и 20–50% в ферраллитных почвах и латеритах тропиков. В почвах также часто наблюдаются железистые конкреции и прослои. Железо в почвах может находиться как в трехвалентном

состоянии, так и в двухвалентном. В процессе выветривания этот элемент выделяется в форме гидроокиси, образующей в воде коллоидные растворы.

Кальций. Содержание СаО в бескарбонатных суглинистых почвах составляет 1–3% и определяется в основном присутствием глинистых минералов тонкодисперсных фракций, а также гумусом и органическими остатками, поэтому наблюдается тенденция к биогенному накоплению кальция в верхней органо-аккумулятивной части профиля. Однако в ряде случаев повышенное содержание кальция может быть обусловлено присутствием обломков карбонатных пород и первичных кальцийсодержащих минералов (кальцита, гипса, основных плагиоклазов). В почвах сухостепной и аридной зон повышенное содержание кальция обусловлено образованием и накоплением вторичного кальцита или гипса в процессе почвообразования. Много кальция может накапливаться в почве гидрогенным путем, вплоть до образования известковых или гипсовых кор.

Магний. Валовое содержание MgO в почве обычно близко к содержанию СаО и обусловлено главным образом присутствием глинистых минералов, особенно монтмориллонита, вермикулита, хлорита. В крупной фракции магний содержится в обломках доломитов, роговых обманок, в пироксенах. В почвах аридной зоны много магния аккумулируется при засолении почв в виде хлоридов и сульфатов.

Калий. Содержание K₂O составляет в почвах 2–3%. Присутствует калий чаще в глинистых минералах тонкодисперсных фракций (особенно в гидрослюдах), в составе первичных минералов крупной фракции (биотит, мусковит, калиевые полевые шпаты), в поглощенном состоянии и в виде простых солей (хлоридов, нитратов, сульфатов, карбонатов, фосфатов). Соли калия хорошо растворяются в воде и в соответствующих условиях могут выноситься в грунтовые воды. Наряду с кальцием калий относится к числу органогенов, необходимых для развития растений.

Натрий. Валовое содержание в почве Na_2O обычно около 1–3%. Он присутствует в составе первичных минералов, преимущественно в натрийсодержащих полевых шпатах. Содержание его в отдельных составляющих крупной фракции может достигать 5–6%, тогда как в илистой фракции не превышает 0,5–1%. В засоленных почвах аридных зон в значительных количествах может присутствовать в виде хлоридов или входить в поглощающий комплекс почв, в этом случае содержание натрия может возрасти до нескольких процентов. Присутствие натрия в повышенных количествах в составе подвижных соединений обуславливает наличие у почв неблагоприятных физических и химических свойств.

Сера. Содержание SO_3 в почве обычно не превышает нескольких десятых долей процента. Присутствует сера в составе гумуса и различных органических соединений. В засоленных почвах при наличии значительных количеств сульфатов валовое содержание серы может возрасти до нескольких процентов. Повышенное содержание серы в виде подвижных соединений может наблюдаться при загрязнении почв промышленными отходами (сера может выпадать с осадками газообразных выбросов). В крупных фракциях почвы сера присутствует в составе сульфидов (пирит), гипса, вторичных соединений железа двухвалентного, образующихся при болотном процессе.

Углерод, азот, фосфор. Эти элементы принадлежат к числу важнейших органогенов. Присутствие их в почве (особенно первых двух) обязано воздействию живого вещества и процессам почвообразования.

Углерод в почве содержится главным образом в составе гумуса, а также органических остатков. Много этого элемента может находиться в составе карбонатов. Содержание углерода в почве колеблется от долей процента в бедных органическим веществом песчаных почвах, до 3–5 и даже 10% и более в богатых гумусом черноземах и лугово-черноземных почвах (в торфянистых и торфяных горизонтах гидроморфных почв – до десятков процентов). Значительная часть почв, используемых в

земледелии, нуждается во внесении углерода в виде органического вещества.

Азот, также как и углерод, почти целиком связан в почве с ее органической частью (гумусом) и составляет 1/10 – 1/20 часть от содержания углерода. Несмотря на небольшое количество (0,3–0,5% и менее), азот играет важнейшую роль в плодородии почв, так как жизненно необходим растениям, для которых он доступен только в форме нитратного и аммонийного ионов. Большинство культурных почв нуждается в систематическом внесении этого элемента. В естественных условиях пополнение в почве запасов азота в доступных для растений формах осуществляется азотофиксирующими бактериями.

Фосфор присутствует в почве в очень незначительных количествах, валовое содержание P_2O_5 составляет не более 0,1–0,2%. Фосфор жизненно важен для растений, но в большинстве почв, особенно песчаных, находится в резком дефиците, в связи с чем необходимо систематическое внесение этого элемента в почвы при использовании их в сельскохозяйственном производстве. Фосфор присутствует в составе гумуса, органических остатков, а также в минеральной части почв (является компонентом апатита, вторичного болотного минерала вивианита) и в поглощенном состоянии. Минеральные фосфорные соединения находятся в виде кислых, средних и основных солей фосфорной кислоты, преимущественно кальция, железа и алюминия. Также как углерод и азот, фосфор накапливается в верхних горизонтах почвы.

10.3. Микроэлементы в почвах

В почвах в очень небольших количествах присутствуют *микроэлементы*, которые очень важны для жизнедеятельности растений и необходимы им в ничтожно малых количествах. Отсутствие или недостаток их в почве отрицательно сказывается на развитии растений и качестве урожая. К микроэлементам относятся марганец, медь, цинк, кобальт, бор, молибден, йод. Почвы являются источником микроэлементов для всех

организмов суши. Валовое содержание этих элементов связано с содержанием в почве первичных минералов, отчасти глинистых минералов и органического вещества, а также находятся в почве в обменной форме и в виде водорастворимых соединений.

Марганец. Содержание MnO составляет в почве лишь несколько десятых или даже сотых долей процента и обусловлено присутствием марганцовистых конкреций, образовавшихся в результате микробиологической деятельности. В рассеянном виде марганец может входить в состав некоторых первичных минералов (оливинов, пироксенов, эпидота). В почвах глинистого гранулометрического состава, богатых гумусом и известью, содержание марганца больше, чем в почвах супесчаных и песчаных. Доступность марганца растениям зависит от реакции среды и окислительно-восстановительных условий почвы: в обстановке с нейтральной и щелочной реакцией и хорошей аэрации часто обнаруживается марганцевое голодание растений, при кислой реакции содержание подвижного марганца избыточно.

Медь. Среднее содержание составляет 0,002%. Накапливается в гумусовых горизонтах в виде органо-минеральных комплексов и в поглощенном состоянии, а также присутствует в составе первичных и вторичных минералов. Увеличение кислотности почв сопровождается повышением подвижности меди. На нейтральных и щелочных почвах отмечается недостаток этого элемента для растений.

Цинк. Среднее содержание 0,005%. Накапливается в гумусовых горизонтах в составе сложных органических веществ, адсорбируется минеральными коллоидами, присутствует в первичных и вторичных минералах. Подкисление почвы способствует увеличению подвижности цинка и доступности его растениям.

Кобальт. Среднее содержание 0,0003%. Входит в состав первичных и вторичных алюмосиликатов, находится в поглощенном состоянии и в органо-минеральных комплексах. В кислой среде подвижность кобальта и доступность его растениям выше, чем в нейтральной.

Бор. Среднее содержание 0,001%. Накапливается в гумусовых горизонтах в виде борорганических соединений, входит в состав некоторых алюмосиликатов. Подвижность и доступность растениям этого элемента снижаются в условиях щелочной и нейтральной реакций среды.

Молибден. Среднее содержание около 0,0003%. Входит в состав ряда минералов, находится в поглощенном состоянии и в органическом веществе почвы. Наиболее активно аккумулируется бобовыми растениями. Менее подвижен в кислых почвах, по сравнению с марганцем, медью, цинком и кобальтом. Подвижность молибдена увеличивается при подщелачивании почв.

Йод. Среднее содержание 0,0005%. Накапливается в верхнем наиболее гумусированном слое почвы. В песчаных почвах этого элемента меньше, чем в глинистых. Кислые почвы беднее йодом по сравнению с нейтральными, поскольку кислая реакция способствует вымыванию йода из почвы. Недосток этого элемента в растительных продуктах ведет к заболеваниям животных и человека.

В почвах разных регионов России наблюдаются значительные колебания (в десятки и сотни раз) содержания отдельных микроэлементов. В связи с этим выделяют биогеохимические провинции с нормальным, избыточным и недостаточным содержанием того или иного микроэлемента.

10.4. Основные питательные элементы для растений. Регулирование питательного режима почв

Химический состав почв оказывает чрезвычайно большое влияние на их плодородие. С одной стороны, может наблюдаться дефицит тех или иных элементов питания растений, например фосфора, азота, калия, железа, некоторых микроэлементов; с другой стороны в почвах может наблюдаться токсичный для растений избыток тех или иных элементов, как в случае засоления почв.

В процессе почвообразования происходят весьма существенные преобразования химического состава исходных почвообразующих пород, а именно:

1) переход химических элементов из одних соединений в другие в связи с минеральными преобразованиями;

2) поступление элементов из атмосферы с осадками и в результате импультверизации;

3) вынос элементов нисходящим движением воды в грунтовые воды и далее в гидрографическую сеть, в конечном счете в океан;

4) принос элементов с грунтовыми водами;

5) циклическое вовлечение элементов в биологический круговорот веществ и др.

В связи с этим почвенный профиль всегда дифференцирован в той или иной степени по химическому составу в отличие от исходных почвообразующих пород. Особой спецификой состава отличаются верхние гумусо-аккумулятивные, а также гидрогенноаккумулятивные горизонты разных почв.

В почвах, как известно, присутствуют практически все известные химические элементы, однако для питания растений необходимы следующие 19 элементов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, калий, кальций, магний, железо, марганец, медь, цинк, молибден, бор, хлор, натрий, кремний, кобальт. Большинство из них (исключая С, Н, О, N) являются минеральными; углерод, водород, кислород и азот называют органогенными элементами, так как из них в основном состоит организм растений. На долю углерода приходится в среднем 45% от сухой массы тканей растений, кислорода – 42, водорода – 6,5, азота – 1,5%. В сумме они составляют 95%, остальные 5% представлены зольными элементами: P, S, K, Ca, Mg, Fe, Si, Na и др., названными так потому, что преобладают в золе растений.

Валовой химический состав растений существенно отличается от валового состава почвы, так как растения избирательно поглощают отдельные элементы. Так, в растениях всегда больше азота, фосфора и калия.

В естественных биоценозах питательные растения, поглощенные живыми организмами, снова возвращаются в почву после завершения их жизненного цикла, в связи с чем обеднения почвы элементами питания не происходит, устанавливается относительное природное равновесие, характерное для разных типов почв. В агроценозах после уборки урожая в почву возвращается только некоторая часть (с корневыми и стерневыми остатками) поглощенных растениями элементов, а при тереблении льна не возвращается почти ничего. В связи с этим в пахотные почвы необходимо вносить удобрения, что позволяет возратить в почву не только отчужденные с урожаем элементы питания растений, но и сбалансировать их по количеству и соотношению для последующих культур, тем самым обеспечить получение запланированного урожая.

Обеспеченность почв усвояемыми питательными элементами принято выражать по отношению к разным сельскохозяйственным культурам, поскольку они поглощают неодинаковое их количество. По этому признаку все культуры делят на следующие три группы:

- 1) культуры невысокого выноса питательных элементов (к ним относятся зерновые);
- 2) культуры повышенного выноса (кормовые культуры картофель);
- 3) культуры большого выноса (овощные, некоторые технические культуры, чайный куст, цитрусовые, виноград).

Азот и зольные элементы растения поглощают из почвенных растворов и твердой фазы почв в виде ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , NO_3^- , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , SiO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} и др.).

Питательные вещества растения извлекают избирательно из почвенного раствора физико-химической адсорбцией их на внешней поверхности корней или в результате контактного ионного обмена с твердой фазой почвы.

В течение вегетационного периода содержание элементов питания в доступной для растений форме изменяется в

зависимости от температуры, влажности, концентрации CO_2 в почвенном воздухе, биологической активности почв.

Важнейшим средством регулирования питательного режима почв является внесение органических и минеральных удобрений, а также приемы обработки почвы, активно воздействующие на режим влажности и содержание почвенного воздуха. Большое значение имеют мелиоративные мероприятия, направленные на регулирование реакции почвенного раствора (известкование кислых почв, гипсование щелочных), в результате которых изменяются величины катионной и анионной обменной поглотительной способности почв, подвижность макро- и микроэлементов, направленность биологических и биохимических процессов и т.д.

Увеличить емкость поглощения почв можно путем внесения природных адсорбентов (цеолитов, бентонитов, вермикулита), глинованием песчаных почв, проведением мероприятий по предупреждению водной и ветровой эрозии почв.

С целью получения высоких и устойчивых урожаев необходимо создание комплекса благоприятных свойств почвы для обеспечения растений всеми необходимыми факторами роста и развития, к которым относятся свет, тепло, вода, воздух, элементы питания. Нельзя ограничиваться только регулированием пищевого режима, так как свойства почв взаимосвязаны и оказывают друг на друга прямое и косвенное влияние. Например, влажность почвы оказывает существенное влияние на аэрацию и температурный режим корнеобитаемого слоя; от аэрации, температуры и влажности почвы зависят жизнедеятельность микроорганизмов и создание в почве усвояемых форм пищи, т.е. зависит питательный режим и т.п. Для получения гарантированных урожаев необходимо также качественно осуществлять комплекс агротехнических мероприятий по обработке почв, борьбе с сорняками, вредителями и болезнями растений; посев должен проводиться в лучшие сроки, когда почва достигает состояния физической спелости, а климатические показатели оптимальны для прорастания семенного материала, семена должны быть

качественными, а уборка урожая должна быть своевременной и проводиться без потерь.

10.5. Радиоактивность почв

Естественная радиоактивность почвы обусловлена содержанием радиоактивных химических элементов (радионуклидов), которые могут быть как естественного, так и искусственного (антропогенного) происхождения. В связи с этим принято различать естественную и искусственную радиоактивность почв, выражающуюся количеством ядерных распадов в единицу времени и измеряемую в беккерелях (1 Бк = 1 распад/с) или единицах активности – кюри (1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк).

10.5.1. Естественная радиоактивность почв

Естественная радиоактивность связана с двумя группами радиоактивных элементов: *первичными* (унаследованными от материнских пород) и *космогенными* (образующимися при взаимодействии космического излучения с ядрами стабильных элементов и поступающими в почву из атмосферы). К группе первичных радиоактивных элементов относятся уран (^{238}U , ^{235}U), торий (^{232}Th), радий (^{226}Ra), радон (^{222}Rn , ^{220}Rn), изотопы калия (^{40}K), рубидия (^{87}Rb), кальция (^{48}Ca), циркония (^{96}Zr) и др. Космогенные радиоактивные элементы представлены тритием (^3H), бериллием (^7Be , ^{10}Be) и углеродом (^{14}C). Все естественные радионуклиды являются долгоживущими, имеют период полураспада 10^8 – 10^{16} лет и испускают альфа- и бета-частицы и гамма-лучи.

В почвах радиоактивные элементы присутствуют в очень малых количествах, в рассеянном состоянии (например, уран – $3 \cdot 10^{-6}$ – $5,1 \cdot 10^{-4}\%$, радий – $1 \cdot 10^{-12}$ – $1,7 \cdot 10^{-10}\%$). Несколько больше их содержится в почвах, развитых на продуктах выветривания кислых горных пород, меньше – на породах основного и ультраосновного состава. Почвы тяжелого гранулометрического состава содержат больше радионуклидов, чем почвы легкого.

Более высокой радиоактивностью отличаются суглинистые дерново-луговые почвы речных пойм, а наименее низкой – торфяно-болотные почвы (в торфяниках верховых болот тория $(4-8) \cdot 10^{-6}\%$, радия $(0,8-2,2) \cdot 10^{-12}\%$).

Чаще всего радионуклиды распределяются по почвенному профилю равномерно, иногда отмечается аккумуляция их в иллювиальных и глеевых горизонтах. Таким образом, тип почвообразования определяет характер распределения радиоактивных элементов. Такие почвенные процессы как оподзоливание, осолоднение, лессиваж, осолонцевание сопровождаются выносом естественных радионуклидов из элювиальной части профиля в иллювиальную.

В почвенном воздухе присутствуют газообразные продукты распада радиоактивных элементов – эманации, к ним относятся изотопы радона – радон ^{222}Rn , торон ^{220}Rn и актинон ^{219}Rn , являющиеся инертными радиоактивными газами. Эманации растворимы в воде.

10.5.2. Искусственная радиоактивность почв

Искусственная радиоактивность почв связана с загрязнением их отходами атомной промышленности, в результате термоядерных взрывов, аварий на АЭС, внесения фосфорных удобрений, содержащих изотопы урана, зольными выбросами тепловых электростанций, работающих на угле и горючих сланцах, имеющих примеси урана, радия, тория, полония.

При атомных взрывах в результате деления тяжелых ядер урана и плутония образуется большое количество новых радиоизотопов с периодом полураспада от долей секунды до многих лет. Образующиеся радиоактивные вещества переносятся воздушным потоком, дождевыми и талыми водами на большие расстояния, расширяя зону радиоактивного загрязнения почвенного покрова, природных вод. Включаясь в биологический круговорот, радионуклиды попадают в живые организмы, подвергая их радиоактивному облучению. Наибольшую опасность для человека представляют ^{90}Sr и ^{137}Cs ,

что связано с большим периодом полураспада (у стронция 28 лет, у цезия – 33), высокой энергией излучения, способностью легко включаться в биологический круговорот (цезий является аналогом калия, а стронций – кальция) и попадать в организм человека. Основное количество этих элементов, поступившее в растения, аккумулируется в надземной их части, а остальные радионуклиды – в корнях. Стронций поступает в растения более интенсивно, чем цезий, что объясняется разной степенью их закрепления в почве (последний способен поглощаться необменно). Кальциелюбивые растения поглощают больше стронция, чем растения, бедные кальцием. Больше всего этот элемент накапливается бобовыми культурами, меньше корнеплодами и клубнеплодами и еще меньше злаковыми. Растения, содержащие больше калия, интенсивнее поглощают цезий.

Радиоактивные элементы не изменяют уровень почвенного плодородия, но накапливаются в урожае, поэтому на продукты питания для человека и корма для животных установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) радионуклидов.

Контрольные вопросы

1. Как валовой химический состав почв связан с гранулометрическим и минералогическим составом? 2. В виде каких соединений присутствуют основные химические элементы в почве и в каком количестве? 3. Назовите важнейшие микроэлементы в почве. Какую роль в жизни растений они играют? 4. В какой форме растения поглощают элементы питания? 5. Назовите пути регулирования питательного режима почв. 6. В чем выражается и измеряется радиоактивность почв? 7. Охарактеризуйте естественную радиоактивность почв. 8. Чем вызывается искусственная радиоактивность почв? 9. Какое экологическое и агрономическое значение имеет радиоактивность почв?

Глава 11 Органическая часть почвы

Органическое вещество почвы и процессы его трансформации играют важнейшую роль при формировании основных признаков и свойств почв. В 19 веке органическое вещество почвы изучали Шпренгель в Германии, Берцелиус в Швеции, Герман в России, Мульдер в Голландии. С развитием генетического почвоведения В.В. Докучаева внимание ученых к гумусу резко возросло. Особенно большое значение имели исследования П.А. Костычева, направленные на изучение роли микроорганизмов в синтезе гумусовых веществ. Гумус исследовали В.Р. Вильямс, С. Оден, А.А. Шмук. Оригинальная концепция о природе гумуса была высказана американским микробиологом С. Ваксманом, считавшим, что главная масса гумуса представлена лигнино-протеиновым комплексом.

В настоящее время отечественными и зарубежными учеными изучены состав и свойства гумуса разных типов почв, исследуется роль гумуса в почвообразовании и плодородии почв, информационная и другие функции гумусовых веществ (И.В. Тюрин, М.М. Кононова, Л.Н. Александрова, В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова, В. Фляйг, Ф. Дюшофур, М. Шнитцер, Д.С. Орлов, Л.А. Гришина, И.С. Кауричев, М.И. Дергачева, А.Д. Фокин, Е.Ю. Милановский и многие другие).

11.1. Источники органических веществ почв. Химический состав органических остатков

В состав органической части почвы входят:

- а) органические остатки в виде корешков и наземного опада;
- б) неспецифические органические вещества (белки, углеводы, липиды, лигнин, низкомолекулярные кислоты и др.);
- в) гумус, представляющий собой систему специфических высокомолекулярных азотсодержащих гумусовых кислот.

Источниками образования гумуса в почве служат продукты разложения органических остатков растительного, животного и микробного происхождения.

Характер поступления органических остатков в почву у разных групп организмов неодинаков. Так, основная часть ежегодно отмирающей и подвергающейся разложению органической массы древесных растений и кустарников, представлена наземным опадом из листьев, хвои, фрагментов коры, шишек и т.д. Корневая система их многолетняя и не участвует в годичном цикле превращения органических остатков, в связи с этим основным источником формирования гумуса в почвах под лесом является лесная подстилка. Хорошо развитая корневая система травянистых растений, наоборот, отмирает ежегодно и дает большое количество материала для образования гумуса. Другие группы организмов (микроорганизмы и почвенные животные) развиваются в основном в толще почвы, и остатки их там же разлагаются.

Количество органических остатков, поступающих в почву под различными растительными группировками в разных природных зонах, неодинаково. Для тундры характерна небольшая масса органических остатков (около 1 т/га). Количество опада в лесу зависит от типа леса, возраста, густоты и состава древостоя и колеблется чаще всего в пределах 3–7 т/га сухого вещества. Общая биомасса в луговых травянистых ценозах на суходольных лугах в таежно-лесной зоне составляет чаще всего 10–15 т/га, из которых на надземную массу приходится 1–2 т. В степных травянистых фитоценозах черноземных степей общее количество надземной и внутрипочвенной массы составляет 20–30 т/га сухого вещества, из которых на долю корней приходится 15–25 т. В области пустынь общая биомасса растений снижается до 2–3 т/га, а в субтропических и тропических лесах вновь возрастает, достигая более 20 т/га. Количество микроорганизмов, ежегодно отмирающих и подвергающихся разложению, составляет 1–2 т/га сухого вещества. Количество остатков животного происхождения еще меньше – 0,1–0,2 т/га сухого вещества.

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

В агроценозах важным источником образования гумуса являются вносимые в почву органические удобрения и остающиеся после уборки корни и пожнивные остатки сельскохозяйственных культур (зерновые культуры оставляют 2–5 т/га корней и 1–2 т/га пожнивных остатков, многолетние травы – 12–25 т/га корней).

Химический состав органических остатков довольно сложный и разнообразный. Основная часть их массы (75-90%) представлена водой, меньшая – сухим веществом, в состав которого входят 3 группы соединений:

- 1) безазотистые соединения – углеводы, лигнин, воски, смолы, дубильные вещества и другие.
- 2) азотистые соединения – белки, аминокислоты.
- 3) зольные элементы (Ca, Mg, K, Fe, Cu, S, Cl и др.).

Соотношения между группами соединений в органических остатках различно. Так, основная масса сухого вещества древесины и хвои представлена лигнином, смолами и дубильными веществами при низком содержании белков, а бактерий, наоборот, белками. Скорость разложения растительных остатков в значительной степени определяется их химическим составом. Остатки бобовых трав, богатые белками, разлагаются быстро, а древесные остатки – медленно.

Содержание зольных элементов зависит от характера органических остатков, условий обитания растений и других факторов. В среднем оно составляет 5% массы сухого вещества растительных остатков, но в травянистых растениях может достигать 10% и более, а в древесине зольность, напротив, очень низкая. В состав золы входят макроэлементы (калий, кальций, кремний, фосфор, сера, железо, алюминий и многие другие), а также микроэлементы (бор, цинк, медь и др.).

Органические удобрения (навоз, компосты, торф) содержат 15–30% сухого вещества, в составе которого находится азот (1–3%), зольные элементы (7–20%) и органические вещества (75–90%).

11.2. Процессы превращения органических остатков в почве и образование гумуса

Органические остатки, поступая в почву, подвергаются различным процессам превращения: механическому измельчению почвенными животными, биохимическим и физико-химическим реакциям под влиянием микроорганизмов, мезо- и микрофауны почвы. Основные направления таких превращений следующие:

– *минерализация* органического вещества – распад органических остатков до конечных продуктов (CO_2 , H_2O , простых солей);

– *гумификация* – сложные биохимические, химические и физико-химические процессы трансформации органических остатков в гумусовые вещества;

– *консервация* – накопление органических остатков на стадии полуразложения или мумификации, как например в форме торфа при избытке воды, низких температурах и неблагоприятном составе опада.

Процессы гумификации совершаются в почве при участии микроорганизмов, животных, кислорода воздуха и воды. Остатки зеленых растений, попадающие в почву или находящиеся на ее поверхности, разлагаются микроорганизмами и используются ими как источник энергии и питания. Под влиянием выделяемых микроорганизмами ферментов, представляющих собой структурированные белки, несущие множество функциональных групп, осуществляющих катализ, нарушается анатомическое строение остатков, а сложные органические соединения (белки, углеводы и др.), образующие ткани органических остатков, распадаются на более простые. Выполняя роль катализаторов, ферменты в миллионы раз ускоряют течение химических реакций распада и синтеза органических веществ. Источником ферментов являются живые организмы, населяющие почву: бактерии, актиномицеты, беспозвоночные животные и растения. При помощи ферментов белки расщепляются на аминокислоты, углеводы – на

моносахариды, моносахара и уроновые кислоты, лигнин – на фенолы и т.д. Эти более простые соединения растворимы в воде, подвижны и называются промежуточными продуктами разложения органических остатков – это *неспецифические органические вещества почвы*, которые участвуют в процессе гумусообразования. Среди веществ неспецифической природы выделяют следующие группы:

1. *Белковые вещества (протеины)* – содержатся в растительных остатках в количестве от 0,6 до 15%, в тканях грибов и бактерий – до 50–80%. Кроме углерода, водорода и кислорода в составе белков присутствует азот (около 16%), сера (0,3–2,4%), фосфор (до 0,8%). При гидролизе белковых веществ образуются аминокислоты – азотистые органические соединения, содержащие амидную группу $-\text{NH}_2$ и карбоксильную группу $-\text{COOH}$.

2. *Углеводы* – органические вещества, преобладающие в тканях всех растений (до 50%). Большая часть их представлена целлюлозой (клетчаткой $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_x$), а также крахмалом и различными сахарами (моносахаридами $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$ и полисахаридами $(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})$). Углеводы легко и быстро разлагаются микроорганизмами, являясь для них одним из важнейших источников энергии.

3. *Липиды* – это жиры и жироподобные вещества, обладающие более высоким запасом энергии, чем углеводы. Их содержание в тканях растений колеблется от 1–3 до 20–30%.

4. *Лигнин* – органическое вещество, участвующее в формировании одревесневших клеток растений. Содержание его в тканях растений колеблется от 10 до 30%. Имеет ароматическое строение, характерно наличие метаксильных групп $(-\text{OCH}_3)$. Стойкость лигнина против разложения и его ароматическое строение дали основание ряду исследователей считать лигнин основным компонентом почвенного гумуса, наследуемым при разложении растительного органического вещества без существенных изменений (одна из гипотез образования гуминовых кислот из лигнина предложена Фляйгом).

5. *Воска* – эфиры ненасыщенных карбоновых кислот с высшими одноатомными спиртами в смеси со свободными кислотами и часто углеводами.

6. *Смолы* – смесь более ста различных соединений ароматического характера. Воска и смолы являются обязательными компонентами почвенного органического вещества и в различных типах почв составляют от 2 до 14% органического вещества.

7. *Органические кислоты* – в почве образуются и накапливаются разнообразные низкомолекулярные органические кислоты, являющиеся продуктами жизнедеятельности растений и низших организмов: щавелевая, янтарная, муравьиная, уксусная, лимонная, бензойная и др.

8. *Дубильные вещества* – разнообразные соединения, являющиеся производными многоатомных фенолов, образуют с белками и аминокислотами прочные соединения. Содержание дубильных веществ в растениях колеблется от 5 до 25%, особенно много их в коре древесных растений.

В состав органических веществ входят зольные элементы, содержание которых у растительных организмов колеблется от 2–3 до 50–52%. Максимальная зольность характерна для галофитных растений. В золе установлено присутствие не менее 60 элементов.

Неспецифические вещества, подвергаясь превращению в почве, служат материалом для процессов гумусообразования, источником почвенного гумуса. Одна их часть разлагается микроорганизмами с образованием конечных продуктов распада (H_2O , CO_2 , NO_3), т.е. минерализуется; другая – используется гетеротрофными бактериями для питания и построения плазмы и тем самым снова превращается в сложные соединения (происходит синтез вторичных белков, жиров, углеводов и других веществ); третья часть промежуточных продуктов разложения превращается в специфические сложные высокомолекулярные вещества – гумусовые кислоты. Этот процесс называется гумификацией, его агентами являются кислород воздуха, вода, ферменты микроорганизмов.

Ранее было выдвинуто несколько концепций процесса гумификации.

1. *Конденсационная, или полимеризационная, концепция* (А.Г. Трусов, М.М. Кононова, В. Фляйг). Согласно этой концепции, процесс гумификации состоит из следующих трех звеньев:

1) образование исходных структурных единиц для образования гумусовых кислот. Эти структурные единицы представлены продуктами распада растительных тканей, отмерших микроорганизмов и т.д.;

2) конденсация структурных единиц, осуществляемая путем окисления фенолов ферментами (типа фенолоксидаз) до хинонов и взаимодействие последних с аминокислотами и пептидами;

3) поликонденсация (процесс образования высокомолекулярных соединений из молекул более простых веществ, сопровождающийся отщеплением ряда низкомолекулярных продуктов) и полимеризация (процесс образования высокомолекулярных соединений из более простых без отщепления низкомолекулярных продуктов) – это химические процессы, составляющие заключительное звено процесса гумификации.

2. *Концепция биохимического окисления И.В. Тюрина, Л.Н. Александровой.* Согласно этой концепции, гумификация рассматривается как сложный биофизико-химический процесс превращения высокомолекулярных промежуточных продуктов распада органических остатков (белков, лигнина, полиуглеводов, дубильных веществ и др.) в гумусовые вещества. Главное значение в этом процессе придается реакциям медленного биохимического (ферментативного) окисления, в результате которого и образуются высокомолекулярные гумусовые кислоты. В последующем они подвергаются постепенной ароматизации, т.е. возрастанию в них доли ароматических компонентов за счет отщепления неустойчивых компонентов в периферической части молекул новообразованных гумусовых кислот.

Далее, согласно Л.Н. Александровой, происходит взаимодействие гумусовых кислот с минеральными соединениями почвы и зольными продуктами минерализации органических остатков. При этом образуются разные фракции гумусовых веществ: более высокомолекулярные вещества представлены гуминовыми кислотами, а более дисперсные и менее сложные – фульвокислотами.

3. *Биологическая концепция гумификации*, сторонником которой является В.Р. Вильямс, рассматривает гумусовые вещества как продукт синтеза различных микроорганизмов. Микробиологи экспериментально доказали, что различные группы микроорганизмов способны образовывать темноокрашенные гумусоподобные соединения.

Позже М.И. Дергачевой (1984) было показано, что гумус является саморегулирующейся системой гумусовых веществ, все компоненты которой взаимосвязаны между собой и с минеральной частью почвы. В настоящее время разрабатывается представление о гумусе с позиций супрамолекулярной химии (Piccolo, 2001).

Состав уже сформировавшихся гумусовых веществ постоянно обновляется за счет включения в них органических соединений в виде отдельных фрагментов. Такой процесс изменения гумусовых веществ назван А.Д. Фокиным *фрагментарным обновлением гумуса*.

Процесс формирования гумуса как системы взаимосвязанных между собой и с минеральной частью почвы специфических сложных высокомолекулярных веществ (гумусовых кислот) называется *гумусообразованием* (Дергачева, 1984). Это специфический почвенный процесс, т.к. протекает только в почве, в отличие от процесса гумификации, который может протекать в других объектах, где есть органическое вещество (на дне морей, озер, океанов и т.д.). Таким образом, гумусовые кислоты могут образовываться не только в почвах, но и в других органических средах, а гумус как система, состоящая из разных компонентов, взаимосвязанных друг с

другом и с минеральными соединениями, формируется только в почве.

11.3. Ферментативная активность почв. Характеристика почвенных ферментов

Ферменты представляют собой продукты биосинтеза всех живых почвенных организмов (растений, микроорганизмов, простейших, животных) и выполняют функцию катализаторов химических реакций. Существует очень большое количество ферментов (в настоящее время известно более 900), которые делят на следующие 6 классов:

1. *Оксиредуктазы* – катализируют окислительно-восстановительные реакции.

2. *Трансферазы* – катализируют реакции межмолекулярного переноса различных химических групп.

3. *Гидролазы* – катализируют реакции гидролитического расщепления внутримолекулярных связей.

4. *Лиазы* – катализируют реакции присоединения групп по двойным связям и обратные реакции отрыва таких групп.

5. *Изомеразы* – катализируют реакции изомеризации.

6. *Лигазы* – катализируют химические реакции с образованием связей за счет аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ).

После завершения жизненного цикла и перегнивании остатков живых организмов часть ферментов разрушается, а часть сохраняет свою активность и способствует ускорению многих протекающих в почве химических реакций. Таким образом, ферменты играют важную роль в процессах почвообразования и в формировании основного признака почвы – плодородия.

Ферментативные комплексы – это уравновешенные саморегулирующиеся системы. Основную роль в этом играют микроорганизмы и растения, которые, являясь короткоживущими, постоянно пополняют почвенные ферменты. Количество ферментов в почве обуславливает ее

ферментативную активность, которая зависит от химической природы реагирующих веществ (субстрата и фермента), а также от условий среды, в которой происходит взаимодействие (реакции среды, температуры, химического состава почвенного раствора, действия ингибиторов и активаторов и др.).

Наибольшее значение в почвообразовании, а именно в процессах превращения азот- и фосфорсодержащих органических веществ, соединений углеводного характера и гумусообразования в целом, имеют ферменты классов *гидролаз* (инвертаза, уреазы, фосфотаза, протеазы) и *оксиредуктаз* (каталаза, пероксидаза, полифеноксидаза). Активность этих ферментов является важным показателем плодородия почвы. Ниже приводится их характеристика.

Инвертаза – это фермент, катализирующий реакции гидролитического расщепления сахарозы на глюкозу и фруктозу и воздействующий на другие углеводы с образованием молекул фруктозы, являющихся энергетическим продуктом для жизнедеятельности микроорганизмов. Этот фермент лучше других отражает уровень почвенного плодородия и биологической активности почв.

Уреазы – фермент, катализирующий реакции гидролитического расщепления мочевины на аммиак и диоксид углерода. Чем более плодородна почва, тем выше активность уреазы, последняя достигает максимума в периоды наибольшей биологической активности почв (июль–август).

Фосфотаза – фермент, катализирующий гидролиз фосфорсодержащих органических соединений с образованием ортофосфата. Активность фосфотазы находится в обратной зависимости от обеспеченности растений подвижным фосфором, в связи с чем её можно использовать как дополнительный показатель для установления потребности внесения в почву фосфорных удобрений.

Протеазы – это ферменты, участвующие в расщеплении белков до полипептидов и аминокислот, которые далее гидролизуются до аммиака, диоксида углерода и воды. Таким образом, с протеазами связаны изменение состава органических

веществ и динамика усвояемых растениями форм азотных соединений.

Каталаза – фермент, участвующий в расщеплении перекиси водорода, являющейся токсичной для живых организмов, на воду и свободный кислород. Более высокой каталазной активностью отличаются почвы под растениями с мощной корневой системой. Активность этого фермента мало изменяется по профилю, имеет прямую связь с температурой и обратную – с влажностью.

Полифенолоксидаза и *пероксидаза* – ферменты, играющие важнейшую роль в процессах гумусообразования. Полифенолоксидаза участвует в окислении полифенолов в хиноны в присутствии свободного кислорода воздуха, пероксидаза – в присутствии перекиси водорода или органических перекисей. В дальнейшем, согласно М.М. Кононовой (1963), происходит конденсация хинонов с аминокислотами и пептидами с образованием первичных молекул гуминовых кислот, способных усложняться при повторных конденсациях.

Наибольшая интенсивность ферментативных реакций отмечается в верхних гумусированных и биологически активных горизонтах. Отмечается сезонная динамика ферментативной активности почвы, связанная с биологическими ритмами: как правило, она выше в июле–августе и меньше – весной и осенью.

11.4. Почвенный гумус, его групповой и фракционный состав. Типы гумуса

Гумус почв представляет собой систему высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений кислотной природы и включает гуминовые кислоты, фульвокислоты и негидролизуемый остаток (гумин).

Гуминовые кислоты (ГК) хорошо растворяются в щелочных растворах, слабо растворяются в воде и не растворяются в кислотах. Они имеют темно-коричневый, темно-бурый или

черный цвет, среднюю плотность 1,6 г/см³. Элементный состав ГК представлен (в процентах по массе): С – 50-62; Н – 2,8-6,6; О – 31-40; N – 2-6, а также зольными элементами. Наибольшее содержание углерода в составе ГК характерно для черноземов, в почвах более гумидных и более аридных климатических областей оно снижается.

Гуминовая кислота имеет сложное строение, в котором выделяется ядро и периферийная часть. Ядро составляют ароматические компоненты (бензолполикарбоновые кислоты, ароматические и гетероциклические кольца типа бензола, фурана, пиридина и др.), соединенные непосредственно через углерод ($-C-C-$, $-C=C-$) или мостиками ($-O-$, $-N-$, $-H-$, $-CH_2-$) в рыхлую сетку. Степень уплотненности ароматических компонентов увеличивается по мере зрелости ГК, что сопровождается уменьшением их подвижности.

Периферийная часть гуминовой кислоты представлена цепями боковых радикалов неароматического строения, состоящими из углеводных, аминокислотных и углеводородных компонентов. Рыхлое «губчатое» строение гуминовых кислот обуславливает их способность к набуханию и адсорбции. Ядро обладает гидрофобными свойствами, а периферические цепочки – гидрофильными. Важной частью ГК являются функциональные группы (карбоксильные, фенолгидроксильные, метоксильные, карбонильные, амидные), наличие которых обуславливает их кислотные свойства, емкость поглощения, способность образовывать органоминеральные соединения.

Фульвокислоты (ФК) – это высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты, отличающиеся от гуминовых кислот светлой окраской, более низким содержанием углерода, меньшей молекулярной массой, растворимостью в кислотах, большей гидрофильностью и способностью к кислотному гидролизу, комплексообразованию и миграции. Плотность их равна 1,43–1,61 г/см³. Элементный состав ФК (в % по массе) представлен углеродом (41–46), водородом (4–5), азотом (3–4), кислородом (содержание этого элемента зависит от количества углерода, его больше, чем в ГК). Эта группа

гумусовых веществ преобладает в составе гумуса подзолистых почв, бурых лесных, сероземов, красноземов и некоторых других почв.

Строение ФК имеет принципиально однотипную природу с ГК: в их составе также имеются ароматические и гетероциклические кольца, аминокислотные, углеводные и углеводородные компоненты. Однако, в отличие от ГК, в ФК лучше выражена периферическая часть – доминируют алифатические структуры, аминокислотные и углеводные компоненты, что обуславливают большую гидрофильность ФК по сравнению с ГК.

Наряду с гуминовыми и фульвокислотами в групповом составе гумуса выделяют негидролизуемый остаток, или *гумин*, который представляет собой совокупность ГК и ФК, прочно, но обратимо, связанных между собой и с глинистыми минералами. Эта группа гумусовых веществ при обычной температуре не экстрагируется из почвы кислотами и щелочами, т.е. является нерастворимым остатком после экстракции фульво- и гуминовых кислот.

Гумусовые кислоты (ГК и ФК) являются гетерогенными и полидисперсными, их можно разделить на ряд фракций, имеющих различную молекулярную массу, элементный и компонентный состав, но сохраняющих принцип строения и функциональные группы гумусовых кислот. Таким образом, наряду с групповым составом гумуса, включающим ГК, ФК и гумин, принято различать фракционный. В составе гуминовых кислот выделяют 3 фракции:

фракция 1 – бурые гуминовые кислоты (свободные или непрочно связанные с полуторными оксидами);

фракция 2 – черные гуминовые кислоты, связанные с кальцием (гуматы кальция);

фракция 3 – ГК, прочно связанные с полуторными оксидами и почвенными минералами.

Наибольшую ценность представляет фракция ГК-2 (гуматы кальция), т.к. играет важнейшую роль в образовании водопрочной структуры.

В составе ФК выделяют 4 фракции:

фракция 1a – свободные, так называемые «агрессивные», ФК;

фракция 1 – ФК, предположительно связанные с ГК фракции 1;

фракция 2 – ФК, предположительно связанные с ГК фракции 2;

фракция 3 – ФК, предположительно связанные с ГК фракции 3.

Наиболее важную роль в почвообразовании играют извлекаемые из почвы 0,1 н. серной кислотой и непосредственной обработкой 0,1 н. NaOH фракции ФК-1a и ФК-1, поскольку они обладают высокой реакционной способностью.

По отношению углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, в соответствии с грациями Л.А. Гришиной и Д.С. Орлова (1978), различают следующие *типы гумуса*:

– фульватный ($C_{гк}:C_{фк} < 0,5$),

– гуматно-фульватный ($C_{гк}:C_{фк} = 0,5-1,0$),

– фульватно-гуматный ($C_{гк}:C_{фк} = 1,0-1,5$)

– гуматный ($C_{гк}:C_{фк} > 1,5$).

Кроме группового и фракционного состава гумуса, органическое вещество почв принято разделять на лабильную (мобильную) и стабильную части, играющие специфические роли в формировании почвенного плодородия.

Лабильную часть составляют подвижные формы гумусовых веществ: водорастворимые и слабо закрепленные минеральными соединениями. Эти вещества являются эффективным источником элементов питания растений, которые относительно быстро переходят в усвояемое состояние при ускоренной минерализации лабильного органического вещества по сравнению со стабильным гумусом. Мобильная группа органического вещества является важнейшим источником энергии и пищи для почвенной биоты.

Стабильная часть органического вещества представлена гумусовыми веществами, прочно связанными с минеральными

соединениями (гумин, гуматы кальция, гуминово-глинистые комплексы и др.). Эта часть устойчива, медленно минерализуется, время полного её обновления составляет сотни и тысячи лет. Стабильный гумус является потенциальным резервом элементов питания для растений и микроорганизмов. Агрономическое значение его заключается в формировании благоприятных физических, физико-механических, водно-воздушных свойств, в выполнении санитарно-гигиенических функций почвы, в противозерозионной устойчивости почв.

При недостатке лабильных форм гумусовых веществ происходит разложение стабильной части (*процесс дегумификации*). В связи с этим на пахотных почвах необходимо систематически восполнять содержание свежего органического вещества, повышать объем и скорость его круговорота, способствовать сохранению основной массы гумуса.

11.5. Влияние экологических условий почвообразования на характер гумусообразования

Процессы трансформации органических остатков и превращение их в гумус протекает по-разному в зависимости от многих факторов: температуры, влажности, аэрации почвы, гранулометрического состава, физико-химических и химических свойств, характера поступления и химического состава органических остатков, видового состава и интенсивности жизнедеятельности микроорганизмов.

Лучше всего разложение органических остатков, как установлено опытами П.А. Костычева, происходит при температуре почвы 35–37°C и влажности, равной 60–80% от полной влагоемкости. Наряду с процессами синтеза гумусовых веществ в таких условиях активно идут процессы минерализации, как органических остатков, так и образовавшегося ранее гумуса. При этих условиях в почве накапливается много элементов зольного и азотного питания растений, но мало гумуса (например, в сероземах и других почвах субтропиков).

Значительное повышение или понижение температуры сопровождается снижением интенсивности, как минерализации, так и гумификации органических остатков, что связано с понижением микробиологической активности почвы. Длительное переувлажнение почвы также негативно сказывается на процессах гумусообразования, так как приводит к созданию анаэробных условий, в которых органические остатки разлагаются анаэробными бактериями, и в составе промежуточных продуктов разложения образуются низкомолекулярные органические кислоты и восстановленные газообразные продукты (CH_4 , H_2 и др.), угнетающие жизнедеятельность микроорганизмов. В результате гумификация идет слабо, органические остатки разлагаются очень медленно и накапливаются в неразложившемся или полуразложившемся состоянии, образуя торф.

Длительное иссушение почвы также неблагоприятно сказывается на процессе гумусообразования, так как разложение органических остатков при недостатке влаги тормозится.

Гумусовые вещества лучше всего накапливаются в условиях благоприятного водного, воздушного и температурного режимов при периодически повторяющемся иссушении почвы. При этом происходит постепенное разложение органических остатков, достаточно энергичная гумификация их и закрепление образующихся гумусовых веществ минеральной частью почвы. Именно такой режим складывается в наиболее плодородных почвах – черноземах.

На процессы гумусообразования большое влияние оказывают химический состав растительных остатков и свойства почвы. Так, кислая реакция почвенного раствора угнетает деятельность растений и разлагающих органические остатки бактерий, стимулирует развитие грибов и синтез фульвокислот. Кроме этого, образующиеся гумусовые вещества (типа ФК) не закрепляются в почве в кислой среде из-за недостатка кальция и в значительной степени вымываются вниз по профилю.

На интенсивность гумусообразовательных процессов влияет гранулометрический состав почвы. В легких (песчаных и супесчаных) почвах создается хорошая аэрация, они быстро прогреваются, в связи с этим разложение органических остатков идет быстро и значительная часть их минерализуется полностью, а образовавшиеся гумусовые вещества плохо закрепляются на поверхности песчаных частиц и быстро минерализуются. В более тяжелых (глинистых и суглинистых) почвах процесс разложения органических остатков протекает медленнее, гумусовые вещества образуются в большем количестве, они хорошо закрепляются на поверхности тонких минеральных частиц и постепенно накапливаются в почве.

Химический и минералогический состав почвы также влияет на гумусообразование, поскольку определяет количество питательных веществ для биоты, реакцию среды и условия для закрепления гумусовых веществ в почве. Особенно важную роль играет кальций: почвы, насыщенные этим элементом, характеризуются нейтральной реакцией, а гуминовые кислоты образуют с ним нерастворимые в воде соли (гуматы кальция), что способствует закреплению гумуса. Закреплению гумуса в почве способствуют и глинистые минералы типа монтмориллонита и вермикулита.

Большое влияние на направление и скорость гумусообразования кроме химического состава разлагающихся остатков оказывает и характер их поступления в почву. Остатки травянистой растительности, представленные в основном корнями и обогащенные белками, углеводами и зольными элементами, разлагаются в почве в присутствии кальция и других оснований, при этом образуется «мягкий» (муллевый) гумус, равномерно пропитывающий почвенный мелкозем. Муллевый гумус образуется также в почвах, развитых под лиственными и смешанными лесами с интенсивной деятельностью почвенной фауны, которая перемешивает лиственный опад с минеральной частью почвы, и разложение его происходит непосредственно в толще почвы.

Остатки древесной растительности (хвоя, древесина) бедны белками, содержат мало зольных элементов и много лигнина, восков, смол, дубильных веществ. Они поступают главным образом на поверхность почвы, образуя подстилку, и разлагаются в условиях сквозного промывания её осадками. Подстилка разлагается в основном грибной микрофлорой, при этом образуется большое количество органических кислот, нейтрализация которых затруднена в связи с интенсивным выщелачиванием оснований. Кислая реакция снижает разложение растительных остатков и активность процессов гумификации, вследствие чего на поверхности почвы формируется «грубый» (модер) гумус, содержащий много полуразложившихся остатков.

Важным для процессов гумусообразования и гумусонакопления является активность микроорганизмов. Таежные подзолистые почвы характеризуются небольшим содержанием микроорганизмов и низкой биологической активностью. По направлению к югу численность их увеличивается, видовой состав становится более разнообразным, жизнедеятельность резко возрастает. Сопоставление запасов гумуса в различных почвах с количеством микроорганизмов в них свидетельствует о том, что как слабая, так и высокая биогенность почвы не способствует накоплению гумуса. Наибольшее количество гумуса накапливается в почвах с некоторой средней численностью микроорганизмов, приходящейся на единицу содержания азота. Так, в подзолистых почвах при запасе гумуса в метровой толще около 99 т/га на 1 мг азота приходится в среднем 70 млн. микроорганизмов, в черноземах – 550-700 т/га гумуса и 600-750 млн. микроорганизмов на 1 мг азота, в сероземах – 82 т/га гумуса и 2000-2400 млн. микроорганизмов. Приведенные данные показывают, что как низкая численность микроорганизмов, так и высокая не приводят к накоплению большого запаса гумуса.

11.6. Гумусное состояние почв и влияние на него различных приемов земледелия

Гумусное состояние почв – это совокупность различных форм, химического состава и процессов трансформации и миграции органического вещества в генетическом профиле почв (Гришина, 1978). Оценка гумусного состояния почв проводится на основе предложенных Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной (1978) и в последствии уточненных Д.С. Орловым с соавторами (2004) показателей, характеризующих содержание и распределение по профилю гумуса, его качественный состав, запасы, обогащенность азотом, тип гумуса, степень гумификации органического вещества и др. Основные показатели гумусного состояния почв и критерии их оценки приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Некоторые показатели гумусного состояния почв (по Д.С. Орлову, О.Н. Бирюковой, М.С. Розановой, 2004)

Признак	Уровень, характер признака	Пределы величин
Мощность гумусового горизонта, см	Очень маломощный	0–5
	Маломощный	0–10
	Слабо-среднемощный	0–15
	Среднемощный	0–20
	Средне типичный	0–30
	Типичный	0–40
	Типичный мощный	0–50
	Высоко мощный	0–60
	Глубокий	0–70
	Сверхмощный	0–80 и более
Содержание гумуса в генетических горизонтах почвенного профиля, %	Сверхвысокое	Более 20
	Очень высокое	12–20
	Высокое	8–12
	Среднее	6–8
	Ниже среднего	4–6
	Низкое	2–4
	Малое	1–2
	Очень малое	Менее 1
Запасы гумуса в почвенном слое (0–100 см), т/га (для торфяных почв следует понимать «запасы	Сверхвысокие	Более 1000
	Очень высокие	600–1000
	Высокие	400–600
	Выше среднего	300–400

органического вещества»)	Средние	200–300
	Низкие	100–200
	Очень низкие	Менее 100
Распределение гумуса по профилю	Резко убывающее	–
	Постепенно убывающее	–
	Медленно убывающее	–
	Равномерное	–
	Медленно нарастающее	–
	Бимодальное	–
	Полимодальное	–
Обогащенность гумуса азотом, C:N	Очень высокая	Менее 5
	Высокая	5–8
	Средняя	8–11
	Низкая	11–14
	Очень низкая	Более 14
Степень гумификации органического вещества, $C_{гк}/C_{фк} \times 100\%$	Сверхвысокая	Более 50
	Очень высокая	40–50
	Высокая	30–40
	Средняя	20–30
	Слабая	10–20
	Очень слабая	5–10
	Сверхслабая	0–5
Тип гумуса, $C_{гк}:C_{фк}$	Чисто гуматный	Более 2,0
	Гуматный	1,5–2,0
	Фульватно-гуматный	1,0–1,5
	Гуматно-фульватный	0,75–1,0
	Фульватный	0,5–0,75
	Очень фульватный	0,25–0,5
	Чисто фульватный	Менее 0,25
Доля «свободных» гуминовых кислот, % от суммы ГК	Очень высокая	Более 80
	Высокая	60–80
	Средняя	40–60
	Низкая	20–40
	Очень низкая	10–20
	Крайне низкая	0–10
Доля ГК, связанных с кальцием, % от суммы ГК	Очень высокая	Более 80
	Высокая	60–80
	Средняя	40–60
	Низкая	20–40
	Очень низкая	10–20
	Крайне низкая	0–10
Доля прочносвязанных с	Высокая	Более 20

минеральной основой ГК, % от суммы ГК	Средняя	10–20
	Низкая	Менее 10
Содержание водорастворимых органических веществ ($C_{\text{вод}}$), % от $C_{\text{общ}}$	Сверхвысокое	Более 5,0
	Очень высокое	2,0–5,0
	Высокое	1,0–2,0
	Выше среднего	0,5–1,0
	Среднее	0,2–0,5
	Низкое	0,1–0,2
	Очень низкое	Менее 0,1
Содержание свободных ФК (фракция ФК-1а), % от $C_{\text{общ}}$	Сверхвысокое	Более 50
	Очень высокое	25–50
	Высокое	15–25
	Среднее	5–15
	Низкое	2–5
	Очень низкое	Менее 2
рН водной вытяжки	Очень сильнощелочная	Более 10,6
	Сильнощелочная	9,6–10,5
	Щелочная	8,1–9,5
	Слабощелочная	7,1–8,0
	Нейтральная	7,0
	Слабокислая	5,6–6,9
	Кислая	3,6–5,5
	Сильнокислая	2,1–3,5
	Очень сильнокислая	Менее 2,0
Период биологической активности, дни	Очень длительный	Более 170
	Длительный	150–170
	Продолжительный	130–150
	Средней продолжительности	110–130
	Непродолжительный	90–110
	Короткий	60–90
	Очень короткий	40–60
	Неустойчивый	Менее 40

Показатели гумусного состояния применимы как к естественным почвам, так и к почвам агроценозов.

На гумусное состояние пахотных почв значительное влияние оказывают севооборот (набор и чередование культур), агротехника возделывания сельскохозяйственных культур (обработка почвы, применение удобрений), мелиоративные мероприятия (осушение, орошение, гипсование, известкование и

др.).

Наиболее благоприятное влияние на режим органического вещества и баланс гумуса оказывают многолетние травы, в период вегетации которых в почву поступает органическое вещество в форме корневых выделений и отмирающих корневых волосков, а после их уборки остается большая биомасса корневых остатков. Под многолетними травами, особенно обогащающими азотом почву бобовыми культурами, как правило, складывается бездефицитный (или положительный) баланс гумуса. С урожаем зерновых культур (зерно, солома) отчуждается большая доля созданного ими органического вещества, в связи с чем в почвах наблюдаются потери гумуса, не восполняемые за счет гумификации их остатков. Еще более высокие потери гумуса отмечаются под пропашными культурами, которые оставляют небольшое количество послеуборочных остатков, а характер их возделывания сопровождается активизацией процессов минерализации гумуса. Наиболее высокие потери гумуса характерны для почв, находящихся под чистым паром, где практически отсутствует поступление растительных остатков (за исключением сорных растений, отмершей фауны, водорослей, микроорганизмов), а периодическая механическая обработка почвы приводит к усилению минерализации гумусовых веществ. Как показывает практика сельского хозяйства, сокращение частоты и уменьшение обработок почвы снижают потери гумуса.

Существенное влияние на режим органического вещества оказывает применение удобрений. С органическими удобрениями (навозом, торфо-компостами, сидератами, соломой) вносится довольно значительное количество органического вещества, что положительно сказывается на балансе гумуса. Воздействие минеральных удобрений является косвенным и выражается в увеличении создаваемой растениями биомассы и активизации процессов превращения поступающих в почву органических остатков.

С минеральными удобрениями и химическими

мелиорантами при известковании и гипсовании в почву поступают основания (кальций, магний), которые положительно влияют на процессы гумификации и закрепление образующихся гумусовых веществ. Однако в некоторых случаях применение минеральных удобрений может иметь и негативное последствие. Например, систематическое внесение кислых удобрений приводит к подкислению почвы, повышению подвижности гумуса и увеличению скорости его минерализации.

Таким образом, виды сельскохозяйственных культур, характер их чередования, механическая обработка почвы, применение органических и минеральных удобрений и химических мелиорантов оказывают существенное влияние на интенсивность процессов гумификации, темпы минерализации органических остатков и, как следствие, на гумусное состояние окультуренных почв.

11.7. Значение гумуса и органических веществ в почвообразовании и плодородии почв

Гумус играет ведущую роль в почвообразовательном процессе, определяя многие стороны развития почв. В то же время количество гумуса, его групповой и фракционный состав являются важнейшими показателями агрономической оценки почв, поскольку влияют на их плодородие.

Гумусовые вещества и промежуточные продукты превращения органических остатков активно участвуют уже на первом этапе почвообразования – биологическом выветривании минералов и разрушении горных пород, выходящих на дневную поверхность. Наиболее энергично минералы разлагаются под действием фульвокислот, так как водные растворы их обладают сильноокислой реакцией. Интенсивно разлагаются минералы и под действием ряда низкомолекулярных продуктов разложения органических остатков, а именно: органических кислот (муравьиной, яблочной, молочной, уксусной и др.), фенолов, аминокислот и т.д. При этом из минералов извлекаются необходимые для организмов элементы питания.

Гумусу и особенно его качественному составу принадлежит огромная роль в формировании почвенного профиля: в тех почвах, где образуется много гуминовых кислот, накапливающихся на месте своего образования, формируется хорошо выраженный гумусово-аккумулятивный горизонт мощностью до 50-70 см и более. В почвах, обогащенных кальцием, гуминовые кислоты образуют гуматы кальция, участвующие в создании водопрочной зернистой структуры, обуславливающей наиболее благоприятные водно-воздушные свойства и, как следствие, благоприятный питательный режим. Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам в таких почвах больше 1 (например, в черноземах). Если в составе гумуса много фульвокислот, что характерно для почв с избыточным увлажнением и промывным типом водного режима, то происходит их обеднение кальцием, магнием, калием и другими основаниями, так как фульвокислоты образуют с ними растворимые соли, мигрирующие вниз по профилю с нисходящими токами влаги. Реакция почвы становится кислой. В таких условиях под воздействием ФК и низкомолекулярных органических кислот развивается процесс подзолообразования, сопровождающийся глубоким разрушением минеральной части почвы. Отношение гуминовых кислот к фульвокислотам в таких почвах значительно меньше 1 (например, в подзолистых почвах).

Гумус является носителем и источником элементов питания для растений. В нем содержатся основные элементы питания растений: азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, микроэлементы, которые при постепенной минерализации гумуса переходят в доступные для растений формы и усваиваются ими. При разложении гумуса и органических остатков выделяется много углекислого газа, который поступает в припочвенные слои атмосферы и служит источником углеродного питания растений.

Гумус, обладая большой обменной поглотительной способностью, поглощает из почвенного раствора и удерживает от вымывания в нижнюю часть профиля или в грунтовые воды

различные катионы, необходимые как для питания растений, так и для создания благоприятных химических и физических свойств почвы.

Гумус, являясь клеящим веществом почвы, цементирует механические элементы, участвуя в формировании водопроочной структуры и тем самым косвенно влияя на водно-воздушный режим почвы.

Велико значение и водорастворимых форм гумуса, которые в незначительном количестве непосредственно усваиваются растениями и играют роль стимуляторов их роста и развития.

Гумус выполняет санитарно-гигиеническую роль, поглощая попадающие в почву токсические вещества и тяжелые металлы и препятствуя вымыванию их в грунтовые воды.

В генезисе почвы и развитии её плодородия огромная роль принадлежит не только гумусовым веществам, но и неразложившимся органическим остаткам и промежуточным низкомолекулярным продуктам их разложения, которые также содержат значительное количество элементов, освобождающихся при минерализации и используемых растениями и микроорганизмами в качестве источника энергии и пищи.

Таким образом, гумус играет огромную роль в почвообразовательном процессе и выполняет следующие важнейшие функции в биосфере:

1. *Аккумулятивную* функцию, которая заключается в накоплении в форме гумусовых веществ важнейших элементов питания живых организмов, органических соединений, аккумулировавших в себе в виде химических связей энергию.

2. *Транспортную* функцию – в составе гумуса наряду с ГК имеются и ФК, которые представляют собой растворимые соединения и осуществляют транспорт веществ в геохимическом ландшафте.

3. *Регуляторную* функцию, которая заключается в регулировании практически всех важнейших почвенных свойств и режимов (структуры, теплового режима, минерального

питания растений, ионно-солевой и кислотно-основной буферности, емкости катионного обмена и т.д.).

4. *Протекторную* функцию – гумусовые вещества являются почвенным компонентом, защищающим и сохраняющим почвенную биоту в случае экстремальных ситуаций (гумусированные почвы лучше противостоят засухе и переувлажнению, меньше подвергаются эрозии и дефляции, выдерживают более высокие техногенные нагрузки, уменьшают токсическое действие тяжелых металлов, пестицидов и других загрязняющих веществ за счет прочного связывания их гумусовыми веществами, выполняют санитарную роль, а также предохраняют грунтовые воды от поступления в них токсикантов).

5. *Физиологическую* функцию, которая включает два аспекта: прямое физиологическое действие гумусовых веществ, а также их роль как носителей незаменимых аминокислот, витаминов, антибиотиков (гумусовые вещества активизируют нуклеиновый и белковый обмен, повышают устойчивость растений к неблагоприятным воздействиям, стимулируют урожай).

Контрольные вопросы

1. Из чего состоит органическая часть почв? 2. Назовите источники образования гумуса. 3. Какой химический состав имеют органические остатки? 4. Назовите основные направления трансформации органических остатков в почве. 5. Какие соединения называются промежуточными продуктами разложения органических остатков и как они образуются? Назовите их. 6. В чем заключается сущность процессов гумификации и гумусообразования? 7. Назовите основные почвенные ферменты. Какую функцию они выполняют? 8. Охарактеризуйте групповой и фракционный состав гумуса. 9. Как определяются типы гумуса? 10. Что понимается под лабильной и стабильной частями гумуса? Какую роль они выполняют? 11. Как влияют экологические условия почвообразования и свойства почв на характер гумусообразования в них? 12. Какими показателями характеризуют гумусное состояние почвы. Назовите приемы его регулирования. 13. В чем заключается значение гумуса и органических веществ в почвообразовании и плодородии почв? 14. Какие функции выполняет гумус в биосфере?

Глава 12 Аллелопатические свойства почв

12.1. Определение понятия аллелопатии

Аллелопатия (в переводе с греческого языка «взаимное страдание») – это химическое ингибирующее взаимовлияние растений и почвенных микроорганизмов в результате выделения ими физиологически активных органических соединений или появляющихся в процессе гниения их остатков. В связи с этим аллелопатия – важнейшее свойство живой фазы и фактор плодородия почвы. К сожалению, взаимное влияние растений, микроорганизмов и других почвенных обитателей в агрономической практике учитывается недостаточно. Как правило, угнетение одних растений другими объясняется конкуренцией за факторы жизни (воду, элементы питания, свет и др.), а также развитием вредителей, возбудителей болезней, ухудшением физических и физико-химических свойств почвы и т.д. Изучение аллелопатии расширяет возможности повышения урожайности сельскохозяйственных культур и является очень важным в экологическом аспекте. Наиболее изучено взаимовлияние растений и микроорганизмов, для характеристики которого Г. Грюммер предлагает пользоваться определенными терминами для обозначения ингибиторов (тормозителей) аллелопатической природы.

Фитонцидами называют ингибиторы, продуцируемые высшими растениями и действующие на микроорганизмы.

Антибиотиками называют ингибиторы химических процессов, продуцируемые микроорганизмами и действующие на микроорганизмы.

Маразминами называют выделяемые микроорганизмами соединения, ингибирующие биохимические процессы растений.

Колины – химические ингибиторы, синтезируемые высшими растениями и действующие на высшие растения.

Однако может наблюдаться иная направленность действия

ингибиторов. Так, некоторые антибиотики оказывают токсичное действие на высшие растения, ряд фитонцидов также могут ингибировать их рост и развитие, а многие колины и маразмины подавляют деятельность микроорганизмов.

12.2. Химический состав ингибиторов аллелопатической природы

В настоящее время частично установлены основные пути биосинтеза аллелопатических веществ и их химический состав. Они представлены различными простыми и сложными органическими соединениями (фитонцидами, антибиотиками, колинами, маразминами), которые, согласно Э. Райсу (1978), можно разделить на следующие 14 групп:

1. Простые водорастворимые органические кислоты, спирты, алифатические альдегиды и кетоны.
2. Простые ненасыщенные лактоны.
3. Жирные кислоты с длинной цепью.
4. Нафтохиноны, антрахиноны и сложные хиноны.
5. Терпеноиды и стероиды.
6. Простые фенолы, бензойная кислота и их производные, галловая и протокатеховая кислоты.
7. Коричная кислота и ее производные.
8. Кумарины.
9. Флавоноиды.
10. Конденсированные и гидролизуемые танины.
11. Аминокислоты и полипептиды.
12. Алкалоиды и циангидрины.
13. Сульфиды и гликозиды горчичного масла.
14. Пурины и нуклеозиды.

Кроме этого, существуют вещества аллелопатической природы, которые не подходят ни к одной из этих групп, в связи с чем их выделяют в 15-ю группу. Сюда включены: фенилуксусная и 4-фенилмасляная кислоты (присутствуют среди токсинов разлагающихся остатков ржи), фенилэтиловый спирт, триптофол, летучий ингибитор этилен ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$),

абсцизовая кислота, агропирен и др.

Аллелопатические вещества не только выделяются в среду растениями, но и содержатся в их корнях, стеблях, листьях, цветках, плодах и семенах. Попадая в почву, они включаются в состав органического вещества, адсорбируются твердой фазой почвы, содержатся в почвенных растворах и воздухе.

Аллелопатические вещества могут накапливаться в почве и разрушаться. В настоящее время установлено, что фенольные токсины подавляют рост проростков, алкалоиды и кумарины – прорастание семян, горчичные масла крестоцветных растений – жизнедеятельность микроорганизмов и прорастание семян, танины являются мощными ингибиторами процессов нитрификации в почвах.

Механизм действия соединений аллелопатической природы направлен на угнетение фотосинтеза, деления клеток, подавление дыхания, синтеза белка, роста и развития, степень раскрытия устьичных щелей, затруднение поглощения организмами элементов питания, на изменение проницаемости клеточных мембран, на ингибирование ферментов (каталазы, целлюлазы, инвертазы, протеазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, фосфатазы, уреазы и др.), на уменьшение устойчивости растений к тем или иным болезням.

12.3. Проявление аллелопатии в естественных и агроценозах. Агрономические мероприятия, снижающие аллелопатическое влияние на растения

Аллелопатия влияет на смену одних биоценозов другими (сукцессия) в результате воздействия токсинов, продуцируемых живыми организмами. Сукцессии чаще всего происходят при изменении внешних условий (климата, гидрологической обстановки, антропогенного воздействия и др.), а также в результате изменения условий под воздействием жизнедеятельности организмов, входящих в состав данного биоценоза. Аллеопатия может быть причиной возникновения, развития и смены растительных сообществ.

Антропогенная деятельность, в частности земледельческая, сопровождается сменой естественных биоценозов агробиоценозами, направленности почвообразования, что связано с применением комплекса агротехнических воздействий. В результате этого в пахотных почвах складываются новые аллелопатические взаимоотношения между разными группами организмов. Так, например, после освоения лесных дерново-подзолистых почв под пашню наблюдается уменьшение аллелопатического ингибирования азотобактера и нитрифицирующих бактерий. На пахотных угодьях проявляется аллелопатическое влияние, как у культурных растений на сорняки (у льна, ржи, гречихи, нута и др.), так и у сорняков на культурные растения. Например, полынь обыкновенная снижает всхожесть семян фасоли и прорастание семян гороха; бодяк угнетает овес; молочай и рыжик льняной – лен; донник – кукурузу.

Ярким примером проявления аллелопатии при возделывании монокультуры, может служить явление *почвоутомления*. Это выражается в том, что, произрастая на одном и том же месте в течение длительного времени и выделяя в почву токсины, растения сами себя уничтожают, несмотря на достаточный запас элементов питания и отсутствие заражения почвы патогенными микроорганизмами и другими вредителями. Почвоутомление отмечается при длительном возделывании на одном поле гороха, люцерны, огурца, свеклы и других сельскохозяйственных культур, а также встречается у плодовых деревьев и кустарников.

Наличие в семенах сорняков антимикробных аллелопатических веществ обуславливает сохранение их в почве от гибели в течение многих лет, а присутствие таннинов в культурных растениях повышает их устойчивость к заражению.

Очень важно учитывать аллелопатическое влияние разлагающихся пожнивных остатков на культурные растения при использовании их в качестве мульчирующего материала, т.к. токсины содержатся как в самом растительном материале

мульчи, так и вырабатываются микроорганизмами, разлагающими пожнивными остатками.

Учитывать аллелопатические взаимовлияния необходимо и в садоводстве. Известно, что грецкий орех выделяет токсин, повреждающий и убивающий яблони. Высокой аллелопатической активностью отличаются роза, сирень, барбарис, калина, пихта, токсины которых накапливаются в почве и ингибируют соседние растения. В междурядьях молодых яблоневых садов не рекомендуется выращивать картофель, т.к. это может привести к накоплению в почве токсинов, что сопровождается снижением содержания азота в корнях и ветвях, изменением состава белков в коре яблонь и нарушением процесса фотосинтеза.

Важную роль явление аллелопатии играет и в лесном хозяйстве, т.к. многие виды древесных растений оказывают ингибирующее влияние на другие породы, а иногда и на растения того же вида.

Таким образом, аллелопатическое проявление живой фазы почвы часто снижает уровень почвенного плодородия, в связи с чем возникает необходимость в проведении ряда мероприятий, направленных на её снижение. Некоторые из них следующие:

1) возделывание культурных растений только в условиях севооборота;

2) отказ от длительного бесменного возделывания какой-либо культуры на одном поле (отказ от монокультуры);

3) борьба с сорняками;

4) тщательный подбор растений для смешанных посевов и посадок;

5) внесение в почву адсорбентов, снижающих количество подвижных токсических соединений;

6) известкование кислых почв для нейтрализации органических кислот аллелопатической природы;

7) правильный подбор овощных культур (например, сельдерей предохраняет цветную капусту от налета капустной белянки, морковь и лук защищают друг друга от поражения морковной и луковой мухой и т.д.);

8) регулирование травостоя естественных лугов и пастбищ.

Взаимовлияния аллелопатического характера наблюдаются не только между растениями и микроорганизмами. К проявлению аллелопатии относится наличие токсичных соединений в грибах, что делает их несъедобными для человека, а также ядовитые травы, не поедаемые животными.

Взаимовлияния живых организмов в результате выделения ими тех или иных химических веществ могут иметь не только отрицательный характер, но и положительный, в связи с чем некоторые исследователи предлагают понимать аллелопатию в более широком смысле, а не только как ингибирующее воздействие биохимически активных веществ.

Контрольные вопросы

1. Что называется аллелопатией? 2. Назовите группы ингибиторов аллелопатической природы. 3. Какое действие оказывают аллелопатические соединения на растения? 4. Приведите примеры проявления аллелопатии в естественных и агроценозах. 5 В чем сущность явления почвоутомления. 6. Перечислите агрономические мероприятия, направленные на снижение аллелопатического влияния на растения.

Глава 13 Вода в почвах и водный режим почв

Роль почвенной воды в природе определяется ее двойственным положением: с одной стороны, вода является особой физико-химической активной системой, обеспечивающей многие физические и химические процессы в природе, с другой – это мощная транспортная геохимическая система, способствующая перемещению веществ в пространстве.

Вода играет важнейшую роль в почвообразовании: процессы выветривания и новообразования минералов, гумусообразование и химические реакции совершаются только в водной среде. Вода в почве выступает и как терморегулирующий фактор, поскольку определяет тепловой баланс почвы и ее температурный режим. Исключительно велико значение воды в плодородии почвы: именно почва

является главным источником воды для произрастающих на ней растений.

Источником воды в почве являются атмосферные осадки, грунтовые воды (при близком их залегании к поверхности), конденсация водяных паров из атмосферы, поливные воды. Водообеспеченность растений определяется не только количеством поступающей в почву влаги, но и водными свойствами почвы, которые при равной абсолютной влажности могут содержать разное количество доступной воды, что зависит от гранулометрического состава, оструктуренности, содержания гумуса и других почвенных свойств.

Состояние воды в почве, законы ее передвижения и доступность растениям, процессы водопотребления растениями, водно-физические свойства почв и их водный режим изучаются в рамках самостоятельного раздела почвоведения – почвенной гидрологии и гидрофизики, большой вклад в развитие которых внесли А.А. Измаильский (1851–1914), Г.Н. Высоцкий (1865–1940), А.Ф. Лебедев (1882–1936), А.Г. Дояренко (1874–1958), С.И. Долгов (1905–1977), Н.А. Качинский (1894–1976), А.А. Роде (1897–1979) и другие ученые.

13.1. Категории (формы) почвенной влаги и их характеристики

Почвенная вода неоднородна, разные ее порции имеют неодинаковые физические свойства (удельный объем, химический состав, термодинамический потенциал, теплоемкость, плотность, осмотическое давление, вязкость, подвижность молекул и т.д.), что обусловлено характером взаимного расположения и взаимодействия молекул воды между собой и другими фазами почвы – твердой, газовой, жидкой. Порции почвенной воды, обладающие одинаковыми свойствами, называются *категориями*, или *формами*, *почвенной воды*.

Существует много классификаций категорий почвенной воды, наиболее полной из которых является классификация,

разработанная А.А. Роде (1965). Согласно этой классификации в почвах различают следующие пять категорий (форм) почвенной воды: твердая, химически связанная, парообразная, физически связанная (сорбированная) и свободная.

Твердая вода в почве – это лед, являющийся потенциальным источником жидкой и парообразной воды, в которую он переходит в результате таяния и испарения.

Химически связанная вода включает конституционную и кристаллизационную. *Конституционная вода* представлена гидроксильной группой ОН химических соединений (гидроксиды железа, алюминия, марганца; органические и органоминеральные соединения; глинистые минералы), *кристаллизационная* – целыми водными молекулами кристаллогидратов, главным образом солей (например, гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Конституционную и кристаллизационную воду иногда объединяют понятием *гидратной* или *кристаллогидратной* воды.

Химически связанная вода входит в состав твердой фазы почвы и не является самостоятельным физическим телом, не способна передвигаться и не обладает свойствами растворителя.

Парообразная вода содержится в почвенном воздухе порового пространства в форме водяного пара. Количество паров воды, поглощенное одной и той же почвой из атмосферного воздуха, может быть различным и зависит от упругости пара: чем она больше, т.е. чем ближе припочвенный воздух к состоянию насыщения водяным паром, тем больше количество парообразно поглощенной воды. В большинстве случаев, почвенный воздух практически всегда близок к насыщению парами воды, а небольшое понижение температуры почвы приводит к его насыщению и конденсации пара, в результате чего парообразная вода переходит в жидкую; при повышении температуры наблюдается обратный процесс.

Парообразная вода в почве передвигается в ее поровом пространстве от участков с высокой упругостью водяного пара к участкам с более низкой упругостью (активное движение), а также вместе с током воздуха (пассивное движение).

Физически связанная, или сорбированная, вода представлена водой, сорбированной на поверхности почвенных частиц, обладающих поверхностной энергией за счет сил притяжения. При соприкосновении почвенных частиц с молекулами воды последние притягиваются частицами, образуя вокруг них пленку. Молекулы воды удерживаются силами сорбции. Вода может сорбироваться почвой, как из парообразного, так и из жидкого состояния.

Молекулы воды представляют собой диполи, т.е. частицы с двумя полюсами, несущими заряды противоположного знака. В силу этого они способны притягиваться не только поверхностью почвенных частиц, но и вступать в связь друг с другом, притягиваясь полюсами противоположного знака. Все молекулы сорбированной воды находятся, таким образом, в строго ориентированном положении. Прочность фиксации молекул воды наибольшая вблизи поверхности почвенных частиц, по мере удаления от них она постепенно убывает.

В зависимости от прочности удержания воды сорбционными силами физически связанную воду подразделяют на прочносвязанную и рыхлосвязанную. *Прочносвязанная вода* – это вода, поглощенная почвой из парообразного состояния. Свойство почвы сорбировать парообразную воду называют *гигроскопичностью почв*, а поглощенную таким образом воду – *гигроскопической*. Таким образом, прочносвязанная вода – это вода гигроскопическая, она удерживается у поверхности почвенных частиц очень высоким давлением (порядка $(1\div 2)\cdot 10^9$ Паскалей) и образует вокруг почвенных частиц тончайшие пленки (толщиной примерно в 2 слоя молекул воды). Гигроскопическая вода неподвижна, по физическим свойствам приближается к твердым телам. Плотность ее достигает 1,5–1,8 г/см³, она не замерзает, не растворяет электролиты, отличается повышенной вязкостью и не доступна растениям.

Количество сорбируемого почвой водяного пара зависит от относительной влажности воздуха, с которым соприкасается почва: чем больше влажность воздуха, тем большее количество воды сорбируется почвой. Максимальное количество воды,

которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха, близкой к 100%, называется *максимальной гигроскопической водой* (обозначается МГ). При влажности почвы, равной максимальной гигроскопичности, толщина пленки из молекул воды достигает 3–4 слоев.

Гигроскопичность почвы и максимальная гигроскопичность выше в почвах, обогащенных илистыми частицами, коллоидной фракцией и гумусом. Максимальная гигроскопичность колеблется от 0,5–1% в слабогумусированных почвах и супесях до 15–16% в сильногумусированных суглинках и глинах (в торфах может достигать 30–50%).

Почва не может сорбировать парообразную воду сверх максимальной гигроскопичности, но жидкую воду может сорбировать и в большем количестве. Вода, удерживаемая в почве сорбционными силами сверх максимальной гигроскопичности, называется *рыхлосвязанной, или пленочной*. Сила, с которой она удерживается в почве, измеряется значительно меньшим давлением по сравнению с прочносвязанной водой (порядка $(1 \div 10) \cdot 10^5$ Па). Рыхлосвязанная вода также представлена пленкой из молекул воды вокруг почвенных частиц. Толщина ее может достигать нескольких десятков и даже сотен диаметров молекул воды.

Рыхлосвязанная вода по своему физическому состоянию неоднородна, это обусловлено различной прочностью связи молекул различных слоев. Она находится в вязкожидкой форме, т.е. занимает промежуточное положение между прочносвязанной и свободной водой. Рыхлосвязанная вода может передвигаться в жидкой форме от почвенных частиц с более толстыми водяными пленками к частицам, у которых она тоньше, т.е. передвижение происходит под влиянием некоторого градиента влажности. Такое передвижение очень медленное, скорость составляет несколько десятков сантиметров в год.

Содержание пленочной воды в почве зависит от гранулометрического состава и содержания гумуса. Для большинства почв содержание её составляет 7–15%, в

глинистых почвах может увеличиваться до 30–35% и в песчаных почвах снижаться до 3–5%.

Свободная вода – это вода, которая содержится в почве сверх рыхлосвязанной и уже не подчиняется силам притяжения со стороны почвенных частиц (т.е. силам сорбции). Эта категория воды характеризуется отсутствием ориентировки молекул воды вокруг почвенных частиц и присутствует в почвах в формах *капиллярной* и *гравитационной*.

Капиллярная вода удерживается в почве под действием капиллярных (менисковых) сил в порах малого диаметра (капиллярах). Менисковые силы начинают проявляться в порах с диаметром менее 8 мм, но особенно велика их сила в порах с диаметром от 100 до 3 мкм. В порах крупнее 8 мм капиллярные свойства не выражены, так как мениски здесь не образуются (т.к. большая часть поверхности остается плоской, искривление ее наблюдается только у стенок), а поры мельче 3 мкм заполнены связанной водой и мениски здесь также не образуются.

Капиллярная вода характеризуется жидким состоянием, высокой подвижностью, способностью растворять различные вещества и перемещать растворимые соли, коллоиды и тонкие суспензии.

Капиллярная вода подразделяется на следующие виды:

- капиллярно-подвешенную,
- капиллярно-подпертую,
- капиллярно-посаженную.

Капиллярно-подвешенная вода заполняет капиллярные поры при увлажнении почвы сверху (после дождя или полива), при этом под мокрым слоем всегда имеется сухой, т.е. гидростатическая связь увлажненного горизонта с постоянным или временным горизонтом подпочвенных вод отсутствует. Вода, находящаяся в промоченном слое как бы «висит» в почвенной толще над сухим слоем, не стекая вниз, в связи с чем она называется подвешенной. Разновидностью капиллярно-подвешенной воды является *стыковая капиллярно-подвешенная*, которая встречается главным образом в песчаных почвах.

Возникновение этой воды связано с тем, что в почвах легкого гранулометрического состава преобладают поры, размер которых превышает размер капилляров. В этом случае вода присутствует в виде разобщенных скоплений в местах соприкосновения – стыка – твердых частиц в форме двояковогнутых линз («манжеты»), удерживаемых капиллярными силами.

Капиллярно-подпертая вода образуется в почвах при подъеме воды снизу вверх от горизонта грунтовых вод по капиллярам на некоторую высоту, т.е. это вода, которая содержится в слое почвы непосредственно над водоносным горизонтом и гидравлически с ним связана, она подпирается водами этого водоносного горизонта. Слой почвы или грунта, содержащий капиллярно-подпертую воду непосредственно над водоносным горизонтом, называют *капиллярной каймой*. Капиллярная кайма обычно больше (от 2 до 6 метров) в почвах тяжелого гранулометрического состава и меньше (40–60 см) – в легких песчаных.

Капиллярно-посаженная вода (подперто-подвешенная) образуется в слоистой почвенно-грунтовой толще в мелкозернистом слое при подстилании его слоем более крупнозернистым, над границей смены этих слоев. В слоистых почвах из-за изменения размеров капилляров на поверхности раздела тонко- и грубодисперсных горизонтов возникают дополнительные нижние мениски, что способствует удержанию некоторого количества капиллярной воды, которая как бы «посажена» на эти мениски.

В категории свободной воды кроме формы капиллярной выделяется вода *гравитационная*. Основным признаком свободной гравитационной воды является передвижение ее под действием силы тяжести (она находится вне влияния сорбционных и капиллярных сил почвы). Гравитационная вода характеризуется жидким состоянием, высокой растворяющей способностью и возможностью переносить в растворенном состоянии соли, коллоидные растворы и тонкие суспензии. Гравитационную воду принято делить на просачивающуюся

гравитационную и воду водоносных горизонтов (подпертая гравитационная вода).

Просачивающаяся гравитационная вода передвигается по порам и трещинам почвы сверху вниз. *Вода водоносных горизонтов* представлена грунтовыми, почвенно-грунтовыми и почвенными (верховодка) водами, которые насыщают почвенно-грунтовую толщу до состояния, когда все поры и промежутки в почве заполнены водой (за исключением пор с заземленным воздухом). Эти воды могут быть либо застойными, либо стекающими в направлении уклона водоупорного горизонта. Удерживаются они в грунте вследствие малой водопроницаемости подстилающих грунтов.

Большое количество свободной гравитационной воды свидетельствует о неблагоприятной обстановке – о временном или постоянном избыточном увлажнении, что способствует созданию в почвах анаэробных условий и развитию глеевого процесса. С целью уменьшения запасов свободной гравитационной воды в почвах проводятся осушительные мелиоративные мероприятия.

13.2. Водные свойства почв

Почвы характеризуются различными водными свойствами, наиболее важными из которых являются следующие:

- водоудерживающая способность,
- влагоемкость,
- водоподъемная способность,
- водопроницаемость.

Водоудерживающая способность – это способность почвы удерживать содержащуюся в ней воду от стекания под влиянием силы тяжести. Количественной характеристикой водоудерживающей способности почвы является ее влагоемкость.

Влагоемкость – это способность почвы поглощать и удерживать определенное количество воды. Принято различать следующие виды влагоемкости почвы:

- максимальная адсорбционная влагоемкость,
- максимальная молекулярная влагоемкость,
- капиллярная влагоемкость,
- наименьшая (полевая) влагоемкость,
- полная влагоемкость.

Максимальная адсорбционная влагоемкость (МAB) – это наибольшее количество воды, которое может быть удержано сорбционными силами на поверхности почвенных частиц. Соответствует прочносвязанной (адсорбированной) воде, содержащейся в почве.

Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ) – характеризует верхний предел содержания в почвах рыхлосвязанной (пленочной) воды, т.е. воды, которая удерживается силами молекулярного притяжения на поверхности почвенных частиц.

При влажности, близкой к ММВ, растения начинают проявлять признаки устойчивого завядания, не исчезающие даже после помещения растений в благоприятные условия. Такую влажность называют *влажностью завядания* (ВЗ). Процентное содержание ВЗ примерно соответствует максимальной гигроскопичности (в %), умноженной на коэффициент 1,34 (согласно рекомендации гидрометеослужбы) или 1,5 (согласно рекомендации Н.А. Качинского).

ММВ зависит главным образом от гранулометрического состава почвы: в глинистых она может достигать 25–30%, в песчаных – не превышает 5–7%. Увеличение запасов воды в почве сверх максимальной влагоемкости сопровождается появлением подвижной капиллярной или даже гравитационной воды.

Капиллярная влагоемкость (КВ) – это наибольшее количество капиллярно-подпертой воды, которое может удерживаться в слое почвы, находящемся в пределах капиллярной каймы. КВ зависит от скважности (порозности) почв, а также расстояния, на котором находится слой насыщенной влаги от зеркала грунтовых вод (чем больше это расстояние, тем меньше КВ). При близком залегании грунтовых

вод (1,5–2,0 м), когда капиллярная кайма смачивает толщу до поверхности, капиллярная влагоемкость наибольшая (30–40% для 1,5 м слоя среднесуглинистых почв). КВ непостоянна, так как находится в зависимости от уровня грунтовых вод.

Наименьшая влагоемкость (НВ) – это наибольшее количество капиллярно-подвешенной влаги, которое может удерживать почва после стекания избытка влаги при глубоком залегании грунтовых вод. Термину наименьшая влагоемкость соответствуют термины *полевая влагоемкость* (ПВ), *общая влагоемкость* (ОВ) и *предельная полевая влагоемкость* (ППВ). Последний термин наиболее широко применяется в агрономической практике и в мелиорации, а термин полевая влагоемкость – в иностранной литературе, особенно американской. НВ определяется в основном гранулометрическим составом почв, их оструктуренностью и плотностью (сложением). В тяжелых, хорошо оструктуренных почвах НВ составляет 30–35%, в песчаных она не превышает 10–15%.

С величиной НВ связано понятие *дефицит влаги в почве*, которое представляет собой величину, равную разности между наименьшей влагоемкостью и фактической влажностью почвы. Оптимальной влажностью почвы считается влажность, составляющая 70–100% от наименьшей влагоемкости.

Полная влагоемкость (ПВ) – это наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения ею всех пор, за исключением пор с заземленным воздухом, последние составляют, как правило, не более 5–8% от общей порозности. Следовательно, полная влагоемкость численно соответствует порозности (скважности) почвы. При влажности, равной ПВ, в почве содержатся максимально возможные количества всех видов воды: связанной (прочно и рыхло) и свободной (капиллярной и гравитационной). Таким образом, полная влагоемкость характеризует водовместимость почвы, в связи с чем эту величину называют также *полной водовместимостью*. Определяется она, как и наименьшая влагоемкость, гранулометрическим составом,

оструктуренностью и порозностью почвы. ПВ колеблется в пределах 40–50%, иногда возрастает до 80% или опускается до 30%. Состояние полного насыщения водой характерно для горизонтов грунтовых вод.

МАВ, ММВ, ВЗ, НВ, ПВ являются важнейшими гидрологическими (или водно-физическими) константами.

Водопроницаемость почв – это способность почв и грунтов впитывать и пропускать через себя воду, поступающую с поверхности. В процессе поступления воды в почву выделяется два этапа:

1) поглощение воды почвой и прохождение ее от слоя к слою в ненасыщенной водой почве;

2) фильтрацию воды сквозь насыщенную водой толщу почвы.

Первый этап представляет собой *впитывание* почвы и характеризуется коэффициентом впитывания. Второй этап – это собственно *фильтрация*, которая характеризуется коэффициентом фильтрации. В природных условиях выделить эти два этапа практически невозможно. Чаще всего идет впитывание воды почвой, фильтрация же имеет место в случае выпадения очень большого количества осадков, при орошении большими нормами и при интенсивном снеготаянии. Границей между впитыванием и фильтрацией считается момент установления постоянной скорости фильтрации.

Водопроницаемость почв измеряется объемом воды, который проходит через единицу площади поперечного сечения в единицу времени и зависит от гранулометрического состава и химических свойств почвы, оструктуренности, порозности, плотности, влажности и длительности увлажнения. В тяжелых почвах она всегда меньше, чем в легких. Сильно снижает водопроницаемость почв наличие набухающих коллоидов, особенно насыщенных натрием или магнием, так как при увлажнении такие почвы быстро набухают и становятся практически водонепроницаемыми. Почвы оструктуренные, рыхлые характеризуются большими коэффициентами впитывания и фильтрации.

Водоподъемная способность – это свойство почвы вызывать восходящее передвижение содержащейся в ней воды за счет капиллярных сил. Высота подъема воды в почвах и скорость ее передвижения зависят в основном от гранулометрического состава, структурности и порозности почв: чем они тяжелее и менее структурны, тем больше потенциальная высота подъема воды, но скорость подъема ее меньше. В опесчаненных почвах высота капиллярного подъема снижается, а скорость движения воды увеличивается. Однако это правило нарушается в глинистых бесструктурных почвах и грунтах. Объясняется это тем, что капиллярная вода передвигается не во всем объеме пор, а лишь в действующем их просвете. При малом размере пор (1 мкм и менее) весь их внутренний просвет заполнен связанной пленочной водой, и капиллярного подъема происходить не может.

На скорость подъема воды влияет и степень минерализации грунтовых вод. Высокоминерализованные воды характеризуются меньшей высотой и скоростью подъема.

13.3. Доступность почвенной влаги растениям

Плодородие почв в значительной степени определяется количеством воды, доступной для растений, которые в процессе жизни потребляют очень много влаги, расходуя главную ее массу на транспирацию и лишь небольшую долю на создание биомассы. Почвенная влага по доступности растениям, согласно А.А. Роде, подразделяется на следующие категории:

1. *Недоступная* для растений – это вся прочносвязанная вода, составляющая в почве так называемый мертвый запас воды. Недоступность этой воды объясняется тем, что всасывающая сила корней намного меньше сил, которые удерживают эту воду на поверхности почвенных частиц. *Мертвый запас воды* соответствует приблизительно максимальной адсорбционной влагоемкости или немного выше ее.

2. *Весьма труднодоступная* для растений – эта категория представлена в основном рыхлосвязанной (пленочной) водой. Трудная доступность этой воды обусловлена её низкой подвижностью, в силу чего вода не успевает подтекать к точкам ее потребления, т.е. к корневым волоскам. Количество весьма труднодоступной воды в почвах характеризуется диапазоном влажности от максимальной адсорбционной влагоемкости до влажности завядания. Содержание воды в почве, соответствующее ВЗ, является нижним пределом продуктивной влаги.

3. *Труднодоступная* вода лежит в пределах между влажностью завядания и влажностью разрыва капилляров. Влажность разрыва капилляров (ВРК) – это гидрологическая константа, соответствующая влажности, при которой подвижность капиллярной воды в процессе снижения влажности резко уменьшается, вода остается лишь в мельчайших порах и в углах стыка частиц. В этом интервале влажности растения могут существовать, но продуктивность их снижается.

4. *Среднедоступная* вода соответствует диапазону влажности от ВРК до НВ. В этом интервале вода обладает значительной подвижностью, и растения могут бесперебойно снабжаться ею. Разность между наименьшей влагоемкостью и влажностью завядания – это *диапазон физиологически активной воды* в почве.

5. *Легкодоступная, переходящая в избыточную* вода соответствует диапазону влажности от наименьшей влагоемкости до полной влагоемкости. Заполнение водой большей части пор затрудняет поступление в почву воздуха и может быть причиной затрудненного дыхания и изменения окислительно-восстановительной среды в сторону развития восстановительных процессов и создания анаэробной обстановки. В связи с этим воду, содержащуюся в почве (за исключением песчаных почв) сверх значения НВ, считают избыточной.

13.4. Водный режим почв и пути его регулирования

Водным режимом почв называется совокупность всех явлений, связанных с поступлением влаги в почву, ее передвижением, расходом и изменением состояния. В понятие «водный режим почв» входит не только поведение влаги в самой почве, но и обмен влагой между почвой и другими природными телами: атмосферой, грунтом, живыми организмами, грунтовыми водами. Количественной характеристикой водного режима является *водный баланс почв*, определяемый количеством влаги, поступившей в почву за определенный период, и величиной расхода её за тот же период.

А.А. Роде предложил следующее уравнение водного баланса:

$$V_1 = V_0 + (O_c + K + \text{ГрП}) - (D + \text{Исп} + \text{ПС} + \text{ВПС} + \text{ГрС}),$$

где V_1 и V_0 – запас влаги в почвенной толще в конце и в начале периода наблюдения;

O_c – сумма осадков за период наблюдения;

K – величина конденсации влаги;

ГрП – количество влаги, поступившей в почву из грунтовых вод (грунтовый приток);

D – величина десукции;

Исп – величина физического испарения;

ПС – величина поверхностного стока;

ВПС – величина внутрипочвенного бокового стока;

ГрС – величина грунтового стока.

Перечисленные источники поступления воды (O_c , K , ГрП) в почву неравноценны. Основным источником являются атмосферные осадки. На почвах с высоким уровнем грунтовых вод потребности растений могут удовлетворяться грунтовой водой, поднимающейся по почвенным порам в корнеобитаемый слой. Поступление такой воды зависит от уровня грунтовых вод, гранулометрического состава почвы, ее строения и структуры (чем тяжелее почвы, тем с большей глубины могут подниматься грунтовые воды в корнеобитаемый слой).

Меньшее значение в приходной части баланса имеет конденсация водяных паров воздуха, происходящая вследствие разницы температуры почвы и атмосферного воздуха. Этот процесс выражен в районах континентального климата, где наблюдается резкая смена температуры дня и ночи, и гранулометрический состав почвы грубый.

Основными расходными статьями водного баланса являются сток и испарение. Различают поверхностный, внутрпочвенный и грунтовый сток.

Если влага движется в водосборную сеть по поверхности, то говорят о поверхностном стоке, если она просачивается в грунтовые воды и передвигается в водоносной толще по уклону водоупора, то говорят о грунтовом стоке. Внутрпочвенный сток является как бы промежуточным между поверхностным и грунтовым. Это почвенные воды, которые скапливаются в пределах почвенного профиля и существуют в периоды года с высоким количеством осадков (*верховодка*). Почвенные воды залегают на относительно водоупоре, обладающем меньшей водопроницаемостью, чем вышележащие слои. В зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения внутрпочвенный сток отсутствует или имеет ограниченное значение, в зоне избыточного увлажнения роль его возрастает.

Важной статьёй расхода влаги является испарение, которое вычисляется как разность между осадками и стоком. *Суммарное испарение (эвапотранспирация)* – это расход воды за счет транспирации и испарения поверхностью почвы (последнее называется *физическим испарением*). В течение вегетационного периода испарение поверхностью почвы составляет приблизительно $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$ часть от испарения растениями, в течение года почва испаряет влаги примерно столько же, сколько и растения.

Итак, качественная характеристика процессов накопления и расходования влаги определяется водным режимом почв. Одна из первых классификаций типов водного режима была предложена Г.Н. Высоцким. Он выделил 4 типа водного режима: промывной, периодически промывной, непромывной и

выпотной. Дальнейшее развитие классификация типов водного режима получила в работах А.А. Роде, который выделяет 6 типов, отличающихся характером промачивания почвы, соотношением осадков и испаряемости, величинами возврата влаги в атмосферу и инфильтрацией.

1. *Мерзлотный тип водного режима* характерен для областей вечной мерзлоты. Многолетнемерзлый слой служит водоупором. Зимой почвенный профиль промерзает почти полностью, а летом большая его часть насыщена водой. Этот тип характерен для мерзлотно-таежных, палевых, тундровых глеевых, тундрово-болотных почв.

2. *Промывной тип водного режима* формируется в гумидных областях (таежно-лесная зона, влажные тропики и субтропики), где осадки превышают испаряемость ($K_{увл} > 1$). Почвы характеризуются сквозным промачиванием почвенного профиля до грунтовых вод. Часто весной и осенью в таких почвах формируется верховодка, влажность почв довольно высокая. Для почв с таким режимом (подзолистых, красноземов, желтоземов) характерен вынос значительной части продуктов почвообразования за пределы почвенной толщи.

3. *Периодически промывной водный режим* формируется на границе влажных (гумидных) и полувлажных (семигумидных) областей ($K_{увл} 0,8-1,2$), где промачивание атмосферными осадками почвенно-грунтовой толщи до уровня грунтовых вод наблюдается не регулярно, а только в отдельные наиболее влажные годы, т.е. один раз в несколько лет. Для этих почв (серых лесных, черноземов оподзоленных и выщелоченных) характерен заметный вынос продуктов почвообразования за пределы почвенной толщи или в нижнюю часть почвенного профиля.

4. *Непромывной тип водного режима* формируется в полувлажных (семигумидных) и полусухих (семиаридных) областях ($K_{увл} 1,0-0,33$). Почвенная толща промачивается в пределах 1–2,5 м, между промачиваемой толщей и капиллярной каймой грунтовых вод существует горизонт с постоянной в течение всего года низкой влажностью, близкой к влажности

завядания. Горизонт с такой постоянной низкой влажностью Г.Н. Высоцкий назвал мертвым горизонтом. Для этих почв (черноземов степной зоны (обыкновенных и южных), каштановых) характерно накопление продуктов почвообразования в почвенном профиле.

5. *Выпотной тип водного режима* складывается в почвах семиаридного и аридного климата ($K_{увл} < 0,55$) при неглубоком залегании грунтовых вод, капиллярная кайма которых поднимается к поверхности почв, при этом влага испаряется, а растворенные в ней соли накапливаются в поверхностных горизонтах. Так формируются гидроморфные солончаки и солончаковатые почвы. Выпотной тип подразделяется на собственно выпотной и периодически выпотной.

6. *Ирригационный тип водного режима* создается при искусственном орошении, при этом почва промачивается часто глубже корнеобитаемого слоя, уровень грунтовых вод в связи с поливами повышается и частично восстанавливается в межполивной и зимний период.

В настоящее время выделяют дополнительные типы водного режима, характеристика которых приводится ниже.

Аридный (сухой) тип водного режим – формируется в аридных областях ($K_{увл} < 0,33$). В течение всего года влажность в почвах (бурых полупустынных, серо-бурые пустынных) приближается к ВЗ и только после выпадения осадков несколько повышается.

Десуктивно-выпотной водный режим – формируется в почвах семиаридного и аридного климата ($K_{увл} < 0,55$), но при более глубоком залегании грунтовых вод, чем у почв с выпотным режимом. В связи с этим капиллярная кайма не достигает поверхности почвы, но охватывает зону распространения корневых систем и испаряется не физически, а десуктивно – т.е. через посредство растений. В таких почвах (это полугидроморфные почвы: лугово-черноземные, лугово-каштановые и др.) чередуются периоды с нисходящими (рано весной) и восходящими (летом) токами влаги. Водорастворимые

соли скапливаются не в поверхностных горизонтах, а на верхней границе капиллярной каймы.

Паводковый водный режим – характерен для речных пойм и дельт, где поверхность почвы ежегодно или раз в несколько лет подвергается затоплению паводковыми водами. В межпаводковые периоды паводковый водный режим сменяется другим типом водного режима в зависимости от природной зоны и положения в рельефе.

Амфибиальный водный режим – формируется при постоянном или длительном затоплении почв водой (морские и озерные мелководья, речные плавни).

Застойный водный режим – характерен для болотных почв атмосферного и грунтового увлажнения при плохом дренаже. В течение большей части года влажность почвы сохраняется в пределах полной влагоемкости (все поры почвы заполнены водой) и лишь в засушливые периоды несколько снижается.

Осушительный водный режим – создается при искусственном осушении болотных и заболоченных почв и может существенно различаться в зависимости от норм и типа осушения, глубины залегания грунтовых вод после осушения и водного режима природной зоны.

В каждой почвенно-климатической зоне формируются почвы с тем или иным типом водного режима, который в зависимости от особенностей возделываемых культур требует соответствующих мероприятий по его регулированию.

В зонах избыточного увлажнения (например, таежно-лесной) используют такие агротехнические приемы, направленные на уменьшение влажности почвы, как грядование, гребневание, профилирование, нивелировка микро- и мезопонижений, а при необходимости проводят осушительные мелиоративные мероприятия путем обвалования, кольматажа, устройства открытых каналов или закрытой дренажной сети. Избыточное увлажнение пахотного слоя можно устранить рыхлением подпахотного горизонта, что обеспечивает повышение влагоемкости почв, и просачивание воды в нижние слои.

В лесостепной и степной зонах с неустойчивым и

недостаточным увлажнением почв мероприятия по регулированию водного режима сводятся к накоплению и сохранению влаги выпадающих осадков. С этой целью уменьшают поверхностный сток, проводят снегозадержание, уменьшают физическое испарение воды из почвы. Важным приемом в этом случае является зяблевая обработка почвы, обеспечивающая рыхлое состояние пахотного слоя, способствующая более полному поглощению дождевых и талых вод, уменьшающая поверхностный сток и снижающая потери влаги на физическое испарение. В результате улучшается влагообеспеченность культурных растений и повышается их урожай.

В засушливых районах Заволжья, Западной Сибири рекомендуется создавать кулисные пары, способствующие увеличению запасов продуктивной влаги в метровом слое до 50 мм и более. В периоды засухи применяются поливы посевов способом дождевания.

Весеннее боронование, поверхностное рыхление почвы после дождей позволяют уменьшить потери влаги на физическое испарение, предупреждают коркообразование, а внесение органических и минеральных удобрений способствует более экономному использованию влаги растениями. Эффективным приемом сохранения влаги в почве является мульчирование.

В наиболее засушливых *пустынно-степных и пустынных зонах* основной способ регулирования водного режима почв – орошение (главным образом поливы по бороздам, напуском по полосам, затопление по чекам).

Во всех почвенно-климатических зонах необходимо проводить мероприятия, направленные на оптимизацию водно-физических свойств почвы, их структурного состояния, что способствует улучшению влагообеспеченности растений.

Контрольные вопросы

1. Назовите категории почвенной влаги, согласно классификации А.А. Роде. Охарактеризуйте их. 2. От каких параметров почвы зависит гигроскопичность и количество пленочной воды? 3. Какими свойствами

обладают капиллярная и гравитационная вода? 4. Перечислите основные водные свойства почвы и охарактеризуйте их. 5. От каких параметров почвы зависят водные свойства почвы? 6. Что понимается под влажностью завядания, дефицитом влаги в почве, диапазоном физиологически активной воды и мертвым запасом воды в почве? 7. На какие категории делится почвенная вода по доступности растениям? 8. Дайте определение понятий «водный режим» и «водный баланс» почв. 9. Назовите приходные и расходные статьи водного баланса почв. Охарактеризуйте их. 10. Дайте характеристику основным типам водного режима почв. 11. Какие мероприятия по регулированию водного режима почв проводятся в зонах избыточного и недостаточного увлажнения?

Глава 14 Почвенный раствор

Почвенный раствор представляет собой жидкую фазу почвы, включающую почвенную воду, содержащую растворенные соли, органоминеральные и органические соединения, газы и тончайшие коллоидные золи. Изучение состава и динамики почвенных растворов связано с именами К.К. Гедройца, А.Г. Дояренко, А.А. Шмука, С.А. Захарова, А.А. Роде и других исследователей.

14.1. Источники почвенного раствора

Основным источником почвенных растворов являются атмосферные осадки. Грунтовые воды также могут участвовать в их формировании. В зависимости от типа водного режима почвы участие грунтовых вод в формировании почвенных растворов может быть систематическим (при выпотном или застойном типе водного режима) и периодическим (при периодически выпотном режиме). В условиях орошения дополнительным резервом влаги для почвенных растворов становятся поливные воды.

Поступающие в почву атмосферные осадки, грунтовые и поверхностные воды, росы изменяют свой состав при взаимодействии с твердой и газообразной фазами почвы, с корневыми системами растений и живыми организмами,

населяющими почву. Образующийся почвенный раствор играет важнейшую роль в питании растений и микроорганизмов, принимает активное участие в процессах трансформации минеральных и органических соединений в почвах, в их передвижении по профилю.

Содержание влаги в почвах, а, следовательно, и количество почвенного раствора изменяются в очень широких пределах: от десятков процентов (когда вода занимает практически всю порозность почвы) до единиц или долей процентов (когда в почве находится лишь адсорбированная вода). Прочносвязанная вода, включающая гигроскопическую и отчасти максимальную гигроскопическую представляет собой нерастворяющийся объем почвенной воды, поэтому она не входит в состав почвенного раствора. В силу быстрого просачивания через почвенные горизонты по крупным трещинам и ходам корней не успевают стать почвенным раствором и гравитационные воды. Таким образом, почвенный раствор включает все формы капиллярной, рыхло- и относительно прочносвязанной воды в почве.

14.2. Состав, концентрация и динамика почвенного раствора

Состав почвенных растворов определяется количеством и качеством атмосферных осадков, составом твердой фазы почвы, количеством и качественным составом живого и мертвого растительного материала в надземных и подземных ярусах биогеоценоза, жизнедеятельностью мезофауны и микроорганизмов.

На состав почвенных растворов существенным образом влияет жизнедеятельность высших растений: их корни изымают из почвы определенные ионы и соединения и возвращают различные вещества с корневыми выделениями.

В почвенном растворе минеральные, органические и органоминеральные вещества, входящие в состав жидкой фазы почвы, находятся в форме истинно растворенных или коллоидно-растворимых соединений. Последние представлены золями кремнекислоты и полуторными оксидами железа и

алюминия, органическими и органоминеральными соединениями.

Важнейшими катионам почвенного раствора являются следующие: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} . Среди анионов преобладают HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} . Железо, алюминий и многие микроэлементы (хром, медь, никель и другие) содержатся в почвенных растворах в виде комплексных органоминеральных соединений, органическая часть которых представлена гумусовыми и низкомолекулярными органическими кислотами, полифенолами и другими органическими веществами.

Концентрация почвенных растворов обычно невысокая, изменяется в пределах от десятков миллиграммов до нескольких граммов вещества на литр раствора. Однако в засоленных почвах содержание растворенных веществ может достигать десятков и даже сотен граммов на литр.

Наличие в почвенном растворе свободных кислот и оснований, кислых и основных солей определяют *актуальную реакцию почвенного раствора* – важнейшее для жизнедеятельности растений и процессов почвообразования свойство. Реакция почвенного раствора определяется активностью свободных водородных (H^+) и гидроксильных ионов (OH^-) и измеряется рН – отрицательным логарифмом активности водородных ионов. В разных типах почв рН почвенного раствора колеблется от 2,5 в кислых сульфатных почвах до 8–9 и выше в карбонатных и засоленных почвах и достигает максимума (10–11 единиц) в щелочных солонцах и содовых солончаках.

Наиболее низкие концентрации и кислая реакция почвенного раствора характерны для почв таежной зоны – подзолистых и болотных. Концентрация их составляет несколько десятков миллиграммов на 1 л раствора при рН от 4 до 6. Содержание органического углерода достигает нескольких десятков миллиграммов на 1 л. Под хвойными лесами растворенное органическое вещество представлено главным образом фульвокислотами. С глубиной количество органического

вещества в жидкой фазе почвы постепенно уменьшается, что связано с закреплением мигрирующих водорастворимых веществ в почвенном профиле. Вместе с органическим веществом мигрирует и железо в двух- и трехвалентной форме.

В степных почвах (черноземах, каштановых и др.) концентрация почвенных растворов повышается до сотен миллиграммов и 1–3 г/л. Вследствие высокой биологической активности почв существенно увеличивается концентрация гидрокарбонатного иона (HCO_3^-), в связи с чем реакция становится нейтральной или слабощелочной. Поскольку в почву поступает большое количество высокозольного опада, то увеличивается и содержание других катионов и анионов (кальция, магния, хлора, сульфат-иона).

В солодях и особенно в солонцах резко возрастает количество иона натрия, появляется ион CO_3^{2-} , что обуславливает щелочную реакцию почвенного раствора.

Максимальным содержанием солей (до десятков и сотен граммов на 1 литр) отличаются солончаки. Концентрация солей в почвенных растворах этих почв в несколько раз превышает их содержание в морской воде. Если для большинства почв характерен гидрокарбонатно-кальциевый состав почвенных растворов, то в солончаках преобладающая доля принадлежит хлоридам и сульфатам магния и натрия.

Концентрация почвенного раствора и его состав не остаются постоянными и связаны с изменениями температуры и влажности почвы, интенсивностью деятельности микрофлоры и микрофауны, метаболизмом высших растений, процессами разложения органических остатков в почве. Это определяет *суточную и сезонную динамику* почвенного раствора. В большинстве почв наблюдается постепенное возрастание концентрации почвенных растворов от весны к лету, что особенно заметно проявляется в верхних горизонтах почвы. Сезонная динамика почвенного раствора связана с концентрированием почвенной влаги за счет испарения и транспирации и увеличением интенсивности разложения органических остатков в теплое время года.

Однако в некоторых почвах из-за своеобразия почвенных режимов эта общая закономерность нарушается. Например, в тундровых мерзлотных почвах наибольшее возрастание концентрации почвенных растворов отмечается в верхних горизонтах в конце зимы, что связано с криогенным подтягиванием растворов из нижних горизонтов почвы к более холодному фронту промерзания. Таяние снега и летние дожди вызывают некоторое промывание почвы и разбавление растворов.

Химический состав почвенного раствора наиболее динамичен в верхних горизонтах, поскольку здесь наиболее высоко содержание микроорганизмов, а, следовательно, и выше интенсивность биохимических процессов. Здесь же наиболее контрастны температурные условия и режим увлажнения.

Почвенные растворы подвержены не только сезонной динамике, но и суточной. Как показывают исследования на черноземах, наиболее резкому колебанию подвержена активность ионов кальция, максимум концентрации которых приходится на дневные часы, минимум – на ночные. Это связано с более активным выделением днем углекислоты почвенной биотой, смещением гидрокарбонатно-кальциевого равновесия в сторону растворения кальция и вытеснения его из почвенного поглощающего комплекса. Суточная динамика нитрат-ионов в

верхних горизонтах черноземов противоположна динамике кальция. Наибольшая концентрация их наблюдается в ночные часы, ранним утром и вечером, тогда как днем, в период интенсивной фотосинтетической деятельности высших растений, она минимальна. Таким образом, почвенный раствор динамичен в суточном цикле, что тесно связано с функционированием всей экосистемы в целом.

14.3. Влияние культурных растений на состав почвенных растворов и пути его регулирования

Состав почвенных растворов изменяется под влиянием сельскохозяйственных растений в связи с их питанием. Как правило, в июле–августе в растворах повышается содержание элементов питания растений и усиливается поглотительная способность корневых систем. Это обусловлено тем, что в этот период процессы нитрификации в почве достигают наибольшей интенсивности, повышаются активность фосфатазы и концентрация углекислого газа в почвенном воздухе. В результате в почвенных растворах становится больше нитритного и аммонийного азота, фосфора. Кроме этого, к середине лета в почвах отмечается накопление кислотных продуктов, что сопровождается возрастанием кислотности почвенных растворов, вытеснением иона кальция из почвенного поглощающего комплекса и повышением обменной кислотности. В дальнейшем, благодаря регуляторной роли растений, количество иона кальция в растворах уменьшается, а иона калия увеличивается, что отражается на расширении соотношения $K^+ : Ca^{2+}$. От последнего зависит поступление питательных веществ в корни растений: чем оно больше в растворе и меньше в растении, тем сильнее проявляется поглотительная способность корней.

В практике сельского хозяйства с целью регулирования почвенного раствора используется довольно широкий набор приемов. К ним относятся:

1. Внесение органических и минеральных удобрений,

направленное на создание в почвенных растворах оптимальных количеств элементов питания растений.

2. Регулирование концентрации углекислого газа в почвенном воздухе с помощью органических удобрений, что сопровождается улучшением ионного состава почвенных растворов как среды для питания растений.

3. Внесение в почву адсорбентов (бентонитовых глин, цеолитов и др.), регулирующих катионную и анионную емкости поглощения, ионное равновесие между почвенным раствором и твердой фазой почв.

4. Регулирование влажности почв путем механических обработок, орошения, осушения, мульчирования и т.д.

5. Известкование кислых почв, гипсование и кислование щелочных почв.

6. Промывка засоленных почв.

Контрольные вопросы

1. Назовите источники почвенного раствора. 2. От чего зависит состав почвенного раствора, какие компоненты в него входят? 3. Какие концентрации и величины pH характерны для почв разного генезиса? 4. Охарактеризуйте суточную и сезонную динамику почвенного раствора. 5. Как влияют культурные растения на состав почвенных растворов? 6. Перечислите приемы регулирования почвенного раствора.

Глава 15 Почвенный воздух

Почва является пористой системой, в которой в том или ином количестве всегда присутствует воздух, состоящий из смеси газов. Количество и состав почвенного воздуха влияют на развитие растений и деятельность микроорганизмов, растворимость и миграцию химических соединений в почвенном профиле, интенсивность и направленность почвенных процессов.

15.1. Формы почвенного воздуха

Газы и летучие органические соединения, входящие в состав почвенного воздуха, находятся в следующих формах (физических состояниях):

а) собственно почвенный воздух – свободный и заземленный,

б) адсорбированные газы,

в) растворенные газы.

Свободный почвенный воздух представляет собой смесь газов и летучих органических соединений, свободно перемещающихся по системе почвенных пор и сообщающихся с воздухом атмосферы. Эта форма почвенного воздуха обеспечивает аэрацию почв и газообмен между почвой и атмосферой.

Заземленный почвенный воздух представляет собой воздух, находящийся в порах, со всех сторон изолированных водными пробками. Чем больше тонкодисперсных частиц в почве и компактней их упаковка, тем больше содержание заземленного воздуха (в почвах суглинистого гранулометрического состава количество заземленного воздуха может достигать более 12% от общего объема почвы).

Заземленный воздух характеризуется неподвижностью, не участвует в газообмене между почвой и атмосферой, препятствует фильтрации воды в почве, может вызывать разрушение почвенной структуры при колебаниях температуры, атмосферного давления и влажности.

Адсорбированный почвенный воздух представлен газами и летучими органическими соединениями, адсорбированными почвенными частицами на их поверхности. Чем выше дисперсность почвы, тем больше она содержит адсорбированных газов. Количество сорбированного воздуха зависит от минералогического состава почв, содержания органического вещества и влажности. Так, песок поглощает воздуха в 10 раз меньше, чем тяжелый суглинок (соответственно

0,75 и 6,99 см³/г), мелкодисперсный кварц сорбирует СО₂ в 100 раз меньше, чем гумус (соответственно 12 и 1264 см³/г).

Растворенный воздух представляет собой газы, растворенные в почвенной воде. Эта форма воздуха ограниченно участвует в аэрации почвы, так как диффузия газов в водной среде затруднена. Тем не менее, растворенные газы играют важную роль в обеспечении физиологических потребностей растений, микроорганизмов, почвенной фауны, а также в физико-химических процессах, протекающих в почвах.

15.2. Содержание и состав почвенного воздуха

Состав земной атмосферы, согласно В.И. Вернадскому, имеет биогенную природу, причем огромную роль в формировании атмосферы играет газообмен между ее приземным слоем и почвой. Основную массу атмосферного воздуха создают три газа: азот (N₂ – 78,08%), кислород (O₂ – 20,95%), аргон (Ar – 0,93%). Остальные газы, присутствующие в его составе, содержатся в незначительных количествах: СО₂ – 0,03%, все остальные – гелий, метан, озон, водород и другие – 0,04%.

Попадая в почву, атмосферный воздух изменяется, что связано с процессами жизнедеятельности микроорганизмов, дыханием корней растений и почвенной фауны, окислением органического вещества почвы. Так, парциальное давление диоксида углерода (СО₂) увеличивается в десятки, сотни и более раз и становится более динамичным, чем в атмосферном воздухе.

В почвенном воздухе различают макрогазы и микрогазы. К *макрогазам* относятся азот, кислород, диоксид углерода.

Содержание *азота* в почвенном воздухе примерно такое же, как и в атмосферном. Более динамичными являются сопутствующие ему микрогазы – N₂O, NO₂.

Концентрация *кислорода* в почвенном воздухе в разные сезоны года колеблется в широких пределах: от десятых долей процента до 21,0%. Достаточное содержание кислорода

обеспечивает необходимый уровень микробиологической деятельности, дыхания корней и почвенных животных, при этом в почве преобладают процессы окисления. Дефицит кислорода сопровождается угнетением развития корневых волосков, вызывает массовую гибель всходов растений, провоцирует развитие болезнетворных микроорганизмов, вызывающих корневую гниль.

Диоксид углерода (CO₂) атмосферы, по мнению некоторых исследователей, на 90% имеет почвенное происхождение. Запасы углекислого газа в атмосфере постоянно пополняются в результате процессов дыхания и разложения, которые непрерывно протекают в почвах. Диоксид углерода имеет большое биологическое значение. Он обеспечивает ассимиляционный процесс растений (искусственное повышение концентрации CO₂ в атмосфере теплиц вызывает увеличение скорости фотосинтеза и даёт 50–100%-ный прирост урожая). Однако избыток этого газа в составе почвенного воздуха (более 3%) угнетает развитие растений, замедляет прорастание семян, сокращает интенсивность поступления воды в растительные клетки. Оптимальные уровни концентраций CO₂ в составе почвенного воздуха колеблются в пределах 0,3–3,0%.

Диоксид углерода выполняет важную почвенно-химическую и геохимическую роль. Вода, насыщенная углекислым газом, растворяет многие труднорастворимые соединения (кальцит CaCO₃, доломит CaCO₃·MgCO₃, магнезит MgCO₃, сидерит FeCO₃), что вызывает миграцию карбонатов в почвенном профиле и в сопряженных геохимических ландшафтах. Процесс выноса (выщелачивания) карбонатов под действием увеличивающейся концентрации CO₂ в почвенном воздухе и в почвенном растворе называется *декарбонизацией*. Концентрация CO₂ в почвенном воздухе колеблется обычно от 0,05 до 10–12%.

Одной из составляющих почвенного плодородия является биологическая активность почв, оцениваемая таким показателем как «дыхание почв», которое характеризуется скоростью выделения CO₂ за единицу времени с единицы поверхности. Интенсивность «дыхания почв» колеблется от 0,01 до 1,5

г/(м²·ч) и определяется не только почвенными и погодными условиями, но и физиологическими особенностями растительных и микробиологических ассоциаций, фенофазой, густотой растительного покрова.

К *микрогазам* почвенного воздуха относятся N₂O, NO₂, CO, предельные и непредельные углеводороды (этилен, ацетилен, метан), водород, сероводород, аммиак, терпены, фосфин, спирты, эфиры, пары органических и неорганических кислот.

Происхождение микрогазов связывают с метаболизмом микроорганизмов, реакциями разложения и синтеза органических веществ в почве, трансформацией в почве удобрений и гербицидов, поступлением этих газов в почву с продуктами техногенного загрязнения атмосферы.

Концентрация микрогазов и летучих компонентов невелика и, как правило, не превышает $1 \cdot 10^{-9}$ – 10^{-12} %, однако этого может быть достаточно для ингибирующего действия на почвенные микроорганизмы и для снижения биологической активности почв.

Состав почвенного воздуха характеризуется *вертикальной стратификацией*. Вследствие активного газообмена с атмосферой в поверхностных горизонтах отличия компонентного состава почвенного воздуха от атмосферного выражены слабо. С глубиной в большинстве почв отмечается рост концентрации диоксида углерода в почвенном воздухе и снижение – кислорода.

Состав почвенного воздуха подвержен суточной и сезонной динамике, обусловленной поступлением, передвижением и трансформацией газов в пределах почвенного профиля, взаимодействием газовой фазы с твердой, жидкой и живой фазами почвы. *Суточная динамика* определяется суточным ходом атмосферного давления, температур и освещенности, а также изменениями скорости фотосинтеза. В течение суток изменения состава почвенного воздуха отмечаются лишь в верхней полуметровой толще почвы. Наиболее существенно в течение суток изменяется интенсивность почвенного дыхания. *Сезонная (годовая) динамика* определяется годовым ходом

атмосферного давления, температур и осадков, вегетационными ритмами развития растительности и микробиологической деятельности. Сезонная динамика состава почвенного воздуха отражает биологические ритмы: концентрация CO_2 максимальна в период наивысшей биологической активности, по мере затухания биологической деятельности происходит отток CO_2 за пределы почвенного профиля; концентрация O_2 имеет обратную зависимость.

15.3. Воздушные свойства почв

Воздушные (воздушно-физические) свойства почв – это совокупность ряда физических свойств почв, которые определяют состояние и поведение почвенного воздуха в профиле. Наиболее важными из них являются следующие:

- воздухоемкость,
- воздухосодержание,
- воздухопроницаемость,
- аэрация.

Общей воздухоемкостью почв называется максимально возможное количество воздуха, выраженное в процентах по объему, которое содержится в воздушно-сухой почве ненарушенного строения при нормальных условиях. Она зависит от гранулометрического состава, сложения, степени оструктуренности почв и определяется по формуле:

$$P_{o.v.} = P_{o6c} - P_{\Gamma},$$

где $P_{o.v.}$ – общая воздухоемкость, %; P_{o6c} – общая порозность почвы, %; P_{Γ} – объем гигроскопической влаги, %.

Воздухосодержание – это количество воздуха, которое содержится в почве при определенном уровне естественного увлажнения и рассчитывается по формуле:

$$P_v = P_{o6c} - P_w,$$

где P_v – воздухосодержание, %; P_{o6c} – общая порозность почв, %; P_w – объемная влажность почв, %.

Воздухопроницаемостью (газопроницаемостью) называется способность почвы пропускать через себя воздух. Воздухопроницаемость определяет скорость газообмена между почвой и атмосферой и зависит от оструктуренности почвы, объема и строения (конфигурации) порового пространства, состояния поверхности почвы (ее разрыхленности, наличия корок, трещин). В естественных условиях воздухопроницаемость изменяется в широких пределах (от 0 до 1 л/с и выше).

Аэрацией (газообменом или воздухообменом) почвы называют процессы обмена газами между воздухом и атмосферой. Воздухообмен определяется большим количеством факторов, главные из которых следующие:

1) атмосферные условия (суточная и сезонная амплитуды колебаний температур воздуха и атмосферного давления, температурные градиенты на поверхности раздела почва–атмосфера, турбулентность атмосферного воздуха, количество осадков и характер их распределения, интенсивность и объем испарения и транспирации воды);

2) физические свойства почвы (гранулометрический состав, структура, состояние поверхности, плотность, количество и качество пор аэрации, температурный режим почв и режим их влажности);

3) физические свойства газов (скорость диффузии, градиенты концентраций газов в почвенном профиле и на границе раздела почва–атмосфера, гравитационный перенос газов под действием силы тяжести, способность к сорбции–десорбции на твердой фазе, растворение в почвенных растворах и дегазация (выделение газов из раствора));

4) физико-химические реакции в почвах (обменные реакции между почвенным поглощающим комплексом–почвенным раствором–газовой фазой, реакции окисления–восстановления).

Основным механизмом массопереноса газов в почве, а также газообмена между почвой и атмосферой является *диффузия* – перемещение газов под действием градиента концентраций. Конвективный (под действием температурных градиентов),

гравитационный (под действием силы тяжести) газопереносы, а также перенос газов при изменениях атмосферного давления имеют подчиненное значение.

15.4. Воздушный режим почв и пути его регулирования

Воздушным режимом почв называется совокупность всех явлений поступления воздуха в почву, его передвижения и расхода, обмена газами между почвенным воздухом, твердой и жидкой фазами, потребления и выделения газов населяющими почву живыми организмами.

Для нормального развития культурных растений необходимо оптимизировать воздушный режим почв, особенно в условиях избыточного увлажнения. Как правило, в почвах легкого гранулометрического состава и хорошо оструктуренных суглинистых и глинистых почвах воздуха содержится в достаточном количестве (20–25% от объема почвы). В тяжелых бесструктурных почвах содержание воздуха зависит от состояния и увлажнения почвы. При влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости, количество воздуха в них может снижаться до критической величины – 15% и менее. Кроме этого на таких почвах часто образуется почвенная корка, обладающая высокой плотностью и низкой пористостью, что препятствует нормальной аэрации.

В первую очередь воздушный режим зависит от состояния влажности почвы, поэтому приемы регулирования водного режима являются одновременно и приемами регулирования воздушного режима. К ним относятся следующие:

1) окультуривание почв, оптимизация реакции среды, применение органических и минеральных удобрений, орошение и осушение, способствующие активизации биологических процессов и повышающие интенсивность дыхания при наличии доступной влаги;

2) создание глубокого пахотного слоя, рыхление подпахотного, ликвидация почвенной корки, что особенно важно для малогумусных тяжелых почв;

3) улучшение гумусного состояния и структуры почв.

Контрольные вопросы

1. Назовите формы почвенного воздуха. Какими свойствами они обладают? 2. Чем отличается состав почвенного воздуха от атмосферного и с чем это связано? 3. Охарактеризуйте макро- и микрогазы почвенного воздуха. 4. В чем заключается почвенно-химическая и геохимическая роль диоксида углерода? 5. Охарактеризуйте суточную и сезонную динамику почвенного воздуха. 6. Назовите основные воздушно-физические свойства почвы. От чего они зависят и какую роль играют в процессах почвообразования? 7. Что понимается под воздушным режимом почв и какими приемами его можно регулировать?

Глава 16 Тепловые свойства и тепловой режим почв

Важным компонентом почвенного микроклимата являются колебания температуры, оказывающие существенное влияние на многие процессы, протекающие в почве, и плодородие в целом. С тепловым режимом почв связаны начало и конец вегетационного периода, пространственное размещение растений, характер распространения корневых систем, скорость поступления к корням питательных элементов, транспирация, продуктивность растительности. Температурный режим играет важную роль в регулировании численности микроорганизмов и их активности, минеральных преобразований, процессов разложения органических остатков и трансформации почвенного гумуса, фазовых переходов в системе почва–почвенный раствор–почвенный воздух, процессов растворения солей и газов, скорости выветривания минералов.

С целью создания наиболее благоприятных условий для роста и развития культурных растений, для регулирования теплового режима необходимо знание закономерностей его формирования.

16.1. Источники тепла в почве

Тепловая энергия в почве имеет несколько источников:

- 1) лучистая энергия солнца;
- 2) атмосферная радиация;
- 3) внутренняя теплота земного шара;
- 4) энергия биохимических процессов разложения органических остатков;
- 5) радиоактивный распад.

Значение двух последних источников в формировании теплового режима почв ничтожно мало и обычно не принимается во внимание в балансовых расчетах. Внутренняя теплота земного шара также незначительна и составляет $4,19 \cdot 10^{-4}$ Дж/(см²·мин). Вклад этого источника в тепловой поток велик лишь в районах вулканической деятельности. Атмосферная радиация имеет существенное значение в балансе теплоты в районах с неустойчивой атмосферной деятельностью в периоды вторжения теплых или холодных масс.

Главным источником теплоты в почве является лучистая энергия солнца. Среднее количество теплоты, поступающей к верхней границе атмосферы Земли от Солнца (солнечная постоянная), равно 8,296 Дж/(см²·мин), но поверхности Земли достигает меньшее количество теплоты вследствие рассеивания ее в атмосфере. Кроме этого, реальное поступление солнечной тепловой энергии зависит от следующих факторов:

- географической широты,
- времени года,
- состояния атмосферы,
- экспозиции склона (от угла падения солнечных лучей на поверхность),
- характера растительного покрова,
- тепловых свойств самой почвы.

16.2. Тепловые свойства почв

Тепловыми свойствами называется совокупность свойств,

обуславливающих способность почв поглощать и перемещать в своей толще тепловую энергию. К основным из них относятся:

- 1) теплопоглощительная (теплоотражательная) способность почв,
- 2) теплоемкость,
- 3) теплопроводность,
- 4) теплоусвояемость.

Теплопоглощительная (отражательная) способность почв, или способность почв поглощать (отражать) определенную долю падающей на ее поверхность солнечной радиации, характеризуется значением альбедо (А). Альбедо – это доля коротковолновой солнечной радиации, отражаемая поверхностью почвы, выраженная в процентах от общей солнечной радиации:

$$A = (Q_{\text{отр}} : Q_{\text{общ}}) \cdot 100,$$

где А – альбедо; $Q_{\text{отр}}$ – доля солнечной радиации, отражаемой поверхностью почвы, Дж/(см²·мин); $Q_{\text{общ}}$ – общая солнечная радиация, Дж/(см²·мин).

Альбедо зависит от таких свойств почвы, как цвет, количество и качество органического вещества, гранулометрический состав, оструктуренность, состояние поверхности, влажность, а также определяется характером растительного и снежного покрова. Диапазон отражения лучистой энергии поверхностью почв изменяется в пределах от 8–10 до 30%.

Темноцветные почвы более теплые, чем светлые; оструктуренные почвы с шероховатой поверхностью более теплые, чем бесструктурные.

Теплоемкостью называют свойство почвы поглощать тепло (тепловую энергию). Теплоемкость выражается через приращение теплоты (ΔQ) в почве при изменении ее температуры (ΔT):

$$C = \Delta Q / \Delta T,$$

где С – теплоемкость почв, Дж/(г·град); Q – количество теплоты в почве, Дж/г; Т – температура почв, °С.

Различают три вида теплоемкости почв: 1) удельную, 2)

объемную и 3) эффективную.

Удельная теплоемкость – это количество тепла в джоулях (калориях), затрачиваемое для нагревания 1 г сухой почвы на 1° (Дж/г на 1°).

Объемная теплоемкость – это количество тепла в джоулях (калориях), затрачиваемое для нагревания 1 см³ сухой почвы на 1° (Дж/г на 1°).

Соотношение удельной и объемной теплоемкости почв в разных почвах и горизонтах неодинаково, что связано с разным сложением: в рыхлых, хорошо оструктуренных почвах удельная теплоемкость выше объемной; в плотных, слитых почвах объемная теплоемкость больше удельной.

Удельная и объемная теплоемкости определяются следующими факторами:

- минералогическим и гранулометрическим составом;
- содержанием органического вещества;
- характером сложения и оструктуренности;
- влажностью почв.

Удельная теплоемкость для большинства почв в абсолютно сухом состоянии колеблется в сравнительно узких пределах – 0,7123–0,838 Дж/г на 1°. По мере повышения влажности теплоемкость песчаных почв возрастает до 2,933, в глинистых – 3,352, а в торфянистых – до 3,771 Дж/г на 1°.

Эффективная теплоемкость – это теплоемкость почвы, характеризующаяся суммарным количеством теплоты, идущим на изменение температуры единицы массы почвы и фазовые превращения (испарение и конденсация влаги, кристаллизация и таяние льда, сорбция и десорбция газов, т.е. процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением теплоты).

По характеру теплоемкости почвы принято делить на почвы «холодные» и «теплые». Глинистые почвы более теплоемки, нагреваются медленнее и считаются холодными, песчаные – теплыми. Почвы, богатые органикой (болотные почвы), более теплоемки и холоднее минеральных почв. Хорошо оструктуренные почвы с высоким содержанием почвенного воздуха холоднее слитых. Влажные почвы более теплоемки и

холоднее, чем сухие.

Теплота, поступающая на поверхность почвы, перераспределяется в почвенном профиле. Процесс переноса теплоты называется *теплообменом*, а свойство почвы передавать энергию путем теплового взаимодействия соприкасающихся между собой твердых, жидких и газообразных частиц называется *теплопроводностью*. Теплопроводность измеряется количеством тепла в джоулях, которое проходит в секунду через 1 см^2 почвы слоем 1 см. На величину теплопроводности влияют следующие свойства почвы:

- химический и гранулометрический состав,
- влажность,
- содержание воздуха,
- плотность,
- температура почвы.

Наименьшую теплопроводность имеет почвенный воздух, наибольшую – минеральные частицы. В сухом состоянии почвы, богатые гумусом и обладающие высокой пористостью аэрации, очень плохо проводят тепло. Компактные, плотные почвы имеют более высокую теплопроводность, чем рыхлые, хорошо оструктуренные. Накопление значительного количества органического вещества в поверхностном горизонте препятствует передвижению теплоты, поэтому сильно заторфованные почвы северных широт способствуют подъему уровня вечной мерзлоты и передвижению ее в более южные широты. На величину теплопроводности непосредственное влияние оказывает гранулометрический состав: чем крупнее механические элементы почвы, тем больше теплопроводность.

Теплопроводность твердой фазы примерно в 100 раз превышает теплопроводность воздуха, поэтому рыхлая почва имеет более низкий коэффициент теплопроводности, чем плотная. При увеличении плотности теплопроводность возрастает, а при увеличении пористости – уменьшается. Прямое влияние на теплопроводность оказывает степень увлажнения почвы: более влажная почва характеризуется

большой теплопроводностью, чем сухая. На теплопроводность почвы влияет ее температура: повышение температуры сопровождается увеличением теплопроводности воздуха, заземленного между твердыми частичками, и, следовательно, почвы в целом.

Вследствие наличия градиентов температур в почве постоянно идет теплообмен, как с атмосферой, так и с нижележащими слоями. Летом и днем температурный поток направлен в глубь почвенного профиля, осуществляется нагревание почв; зимой и ночью поток направлен к поверхности, происходит охлаждение.

Совокупность всех видов поступления и расхода теплоты в почвах в их количественном выражении за определенный промежуток времени называется *тепловым балансом* и записывается в форме уравнения теплового баланса:

$$A = B + F,$$

где A – теплообмен почвы с деятельной поверхностью по вертикали; F – теплообмен с окружающим пространством по горизонтали; B – алгебраическая сумма изменения теплосодержания за данный период времени и затрат теплоты на фазовые переходы. Так как для среднего многолетнего периода приход и расход теплоты в почве равны между собой, а F можно пренебречь, то $A=B$.

Наибольшая часть поступающей в экосистему энергии расходуется на транспирацию и испарение воды из почвы. Кроме постоянно действующих статей теплового баланса существуют эпизодически действующие. Например, температура осадков или поливных вод отличается от температуры поверхности почв и вносит коррективы в балансовые расчеты. Так же изменяют характер теплового баланса фазовые переходы (испарение, замерзание воды, растворение, дегазация и сорбция газов).

16.3. Типы температурного режима почв и пути регулирования теплового режима

В зависимости от среднегодовой температуры и длительности промерзания почвы, согласно В.Н. Димо, принято выделять 4 типа температурного режима.

Мерзлотный тип температурного режима характерен для территорий, где среднегодовая температура почвенного профиля является отрицательной. При этом в почвах преобладает процесс охлаждения, сопровождающийся промерзанием почвенной толщи до верхней границы многолетнемерзлых пород (так называемой «вечной мерзлоты»). Этот тип температурного режима характерен для почв ряда провинций полярной и Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной областей.

Длительно сезоннопромерзающий тип температурного режима наблюдается на территориях с положительными среднегодовыми температурами почвенного профиля. Глубина проникновения отрицательных температур превышает 1 м, но смыкания сезоннопромерзающий толщи с многолетнемерзлыми породами не происходит. Длительность промерзания составляет более 5 месяцев.

Сезоннопромерзающий тип температурного режима характеризуется положительной среднегодовой температурой почвенного профиля, длительность периода промерзания не превышает 5 месяцев. В подстилающих породах мерзлота отсутствует.

На большей части территории России наблюдаются длительно сезоннопромерзающий и сезоннопромерзающий типы температурного режима.

Непромерзающий тип температурного режима характерен для территорий, где промерзание почвенного профиля и морозность отсутствуют. Это теплая южноевропейская фация и зоны субтропического пояса.

С целью обеспечения оптимальных условий роста и развития растений в агрономической практике проводятся мероприятия

по регулированию теплового режима, включающие приемы, позволяющие регулировать приток тепла солнечной радиации и ослаблять или повышать его потери за счет теплоотдачи в атмосферу. В почвах северных регионов, где высока влажность и мал приток солнечной радиации, необходимы приемы, направленные на повышение температуры почвы в летний период. В южных засушливых регионах пути регулирования теплового режима имеют обратную направленность.

Основными приемами, регулирующими приток солнечного тепла к поверхности почвы, являются следующие: затенение почвы растительностью, мульчей, некоторые виды механической обработки, гребневые и грядовые посевы, осушительные и оросительные мелиорации и др.

Затеняя поверхность почвы, *растительный покров* ослабляет приток солнечной радиации и способствует понижению температуры почвы. В связи с этим в жарких регионах табак, кофе и некоторые другие культуры возделывают под пологом древесных пород. С этой же целью создаются кулисы из высокостебельных растений, устраиваются легкие навесы. Уменьшению температуры почвы способствуют и лесные полосы, причем не только в самой лесополосе, но и в межполосном пространстве, что способствует повышению устойчивости посевов против суховея.

Мульчирование поверхности почвы различными материалами (торфом, соломой, специальной мульчбумагой и др.) также позволяет регулировать тепловой режим почв. Светлоокрашенные материалы увеличивают альбедо и ослабляют нагревание почвы, темные – наоборот, способствуют увеличению притока тепла в почву. Кроме этого, мульчирующие материалы способствуют снижению испарения, а, следовательно, расход влаги и тепла. При мульчировании температурные колебания сглаживаются.

Механическая обработка почвы, рыхление поверхностного горизонта способствуют более быстрому теплообмену. Шероховатая поверхность обработанной почвы, по сравнению с плотной поверхностью, больше поглощает солнечной энергии

днем и больше излучает тепла ночью. Рыхление является приемом, уменьшающим теплопроводность и увеличивающим лучеиспускательную способность, поэтому температура почвы днем снижается, а ночью тепло сохраняется. С целью более быстрого прогревания почвы, что наиболее важно в районах Нечерноземья, применяют гребневые и грядовые посевы.

Эффективными приемами регулирования теплового режима являются *оросительные и осушительные мелиорации*. Так, полив способствует снижению температуры почв, а осушение торфяных почв ухудшает прогревание их в весенне-летний период, что связано с улучшением аэрации и, как следствие, снижением теплопроводности.

В зимнее время года эффективными приемами регулирования теплового режима являются *снежные мелиорации*. Снегозадержание снижает отрицательные температуры в почве, уменьшает глубину их проникновения, что предупреждает повреждение и гибель озимых посевов и одновременно способствует накоплению влаги в почве.

С целью улучшения температурного режима почв в овощеводстве используется биотопливо (навоз, компосты), электрический, паровой и водяной обогревы в тепличных хозяйствах.

Контрольные вопросы

1. Какую роль играет температурный режим почв в экосистемах?
2. Назовите источники тепла в почве и охарактеризуйте их.
3. Охарактеризуйте тепловые свойства почв.
4. От каких факторов зависит величина альбедо?
5. Какие почвы относятся к теплым и холодным?
6. Дайте характеристику типам температурного режима почв.
7. какие мероприятия проводятся с целью регулирования теплового режима почв?

Глава 17 Поглощительная способность почв

Поглотительной способностью почвы называется ее свойство обменно либо необменно поглощать различные твердые, жидкие и газообразные вещества или увеличивать их концентрацию у поверхности содержащихся в почве коллоидных частиц.

Учение о поглотительной способности почв разработано в трудах К.К. Гедройца, Г. Вигнера, С. Маттсона, Е.Н. Гапона, Б.П. Никольского, Н.П. Ремезова, И.Н. Антипова-Каратаева, Н.И. Горбунова.

17.1. Почвенные коллоиды, их происхождение, состав и свойства

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) представляет собой совокупность минеральных, органических и органо-минеральных соединений высокой степени дисперсности, нерастворимых в воде и способных поглощать и обменивать поглощенные ионы.

Почва представляет собой гетерогенную полидисперсную систему, состоящую из частиц разного размера, из которых поглотительной способностью обладают коллоидная (частицы размером 0,2–0,001 мкм) и предколлоидная (частицы размером 0,2–1 мкм) фракции.

Почвенные коллоиды образуются в процессе выветривания и почвообразования в результате дробления крупных частиц или путем соединения молекулярно раздробленных веществ. В почве хорошо развита поверхность раздела между твердой фазой (которая является дисперсной фазой), жидкой и газообразной фазами (которые являются дисперсионной средой). Между ними постоянно происходят процессы взаимодействия, устанавливается динамическое равновесие.

Характерная особенность коллоидов – наличие большой суммарной и удельной (поверхность почвенных частиц в м² или см² в единице массы или объема почвы) поверхности, которая

определяет химическую активность почв, так как с увеличением дисперсности частиц их химическая активность возрастает.

Почвенные коллоиды имеют определенное строение, состав, заряд и свойства. Основу коллоидной частицы, называемой по Г. Вигнеру коллоидной мицеллой, составляет ее ядро, представляющее собой сложное соединение аморфного или кристаллического строения различного химического состава (рис.).

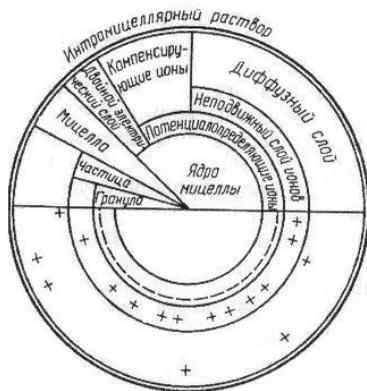


Рисунок – Схема строения коллоидной мицеллы (по Н.И. Горбунову)

На поверхности ядра расположен слой ионов, прочно удерживаемый и несущий заряд. Это слой потенциалопределяющих ионов (или потенциалопределяющий слой). Ядро мицеллы вместе со слоем потенциалопределяющих ионов называется гранулой. Между гранулой и раствором, окружающим коллоид, возникает термодинамический потенциал, под влиянием которого из раствора притягиваются ионы противоположного знака (компенсирующие ионы). Так, вокруг ядра коллоидной мицеллы образуется двойной электрический слой, состоящий из слоя потенциалопределяющих и слоя компенсирующих ионов.

Компенсирующие ионы располагаются вокруг гранулы

двумя слоями. Один – неподвижный слой – прочно удерживается электростатическими силами потенциалопределяющих ионов (слой Гельмгольца). Гранула вместе с неподвижным слоем компенсирующих ионов называется коллоидной частицей. Между коллоидной частицей и окружающим раствором возникает электрокинетический потенциал (дзета-потенциал), под влиянием которого находится второй (диффузный) слой компенсирующих ионов, обладающих способностью к эквивалентному обмену на ионы того же знака заряда из окружающего раствора. Коллоидная частица вместе с диффузным слоем компенсирующих ионов называется коллоидной мицеллой. Она является электронейтральной, основная масса ее принадлежит грануле, поэтому заряд гранулы рассматривается как заряд всего коллоида.

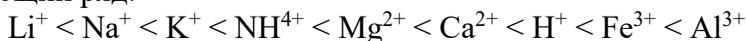
Коллоиды, имеющие в потенциалопределяющем слое отрицательно заряженные ионы и диссоциирующие в раствор H^+ -ионы, называются *ацидоидами* (кислотоподобными). Ясно выраженными кислотными свойствами обладают кремнекислота и гуминовая кислота. Коллоиды, имеющие в потенциалопределяющем слое положительно заряженные ионы и посылающие в раствор ионы OH^- , называются *базоидами*. Коллоиды гидроксидов железа, алюминия, протеины в зависимости от реакции среды ведут себя то, как кислоты (ацидоиды), то, как основания (базоиды). Коллоиды с такой двойственной функцией называются амфотерными коллоидами, или *амфолитоидами*. Основная масса почвенных коллоидов относится к ацидоидам, содержащим в диффузном слое катионы, способные к обменным реакциям.

По отношению к жидкой фазе коллоиды делятся на гидрофильные и гидрофобные. *Гидрофильные* коллоиды способны поглощать молекулы воды, которые образуют на их поверхности многослойную пленку (гидратация коллоида). *Гидрофобные* коллоиды практически не гидратируются. Мицелла многих коллоидов имеет кристаллическое строение, часть коллоидов аморфны.

Наличие электрического заряда обуславливает

электрокинетические свойства, главнейшими из которых являются коагуляция и пептизация коллоидной системы. Коллоиды могут находиться в двух состояниях: золя (коллоидного раствора) и геля (коллоидного осадка). В большинстве своем почвенные коллоиды в почве находятся в форме гелей, в которых частицы сцепляются между собой и образуют пространственную структурную сетку, в ячейках которой удерживается вода. Во влажной почве небольшое количество коллоидов может находиться в состоянии золя, частицы при этом разделены водной фазой.

При падении электрокинетического потенциала и уменьшении заряда частиц разноименно заряженные коллоиды при столкновении друг с другом склеиваются, увеличиваются в размерах и выпадают в осадок. Происходит *коагуляция* – процесс перехода коллоида из состояния золя в состояние геля. Процесс дальнейшего осаждения называется *седиментацией*. Коагуляция вызывается действием электролитов, ионы которых несут противоположный знак заряда. Ацидоиды коагулируют под влиянием катионов электролита, базоиды коагулируют при действии анионов. Коагулирующая способность электролитов неодинакова и зависит от валентности иона и его атомной массы. По способности к коагуляции катионы располагаются в следующий ряд:



Анионы по коагулирующей способности располагаются следующим образом: $\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{PO}_4^{3-}$.

Коагуляция коллоидов наблюдается также при высушивании или замораживании почвы, так как при этом происходит дегидратация (обезвоживание) гидрофильных коллоидов и повышение концентрации электролита в растворе, окружающем коллоиды. Наиболее легко коагулируют гидрофобные коллоиды, гидрофильные системы коагулируют труднее, так как на их поверхности имеются водные оболочки. Гели могут быть обратимыми и необратимыми. Обратимые гели возвращаются в состояние золя при удалении электролита.

Особым видом коагуляции является *тиксотропия* – это

явление, при котором масса геля не отделяется от дисперсионной среды, а образует студень, способный возвращаться в состояние золя при механическом воздействии. Тиксотропия широко распространена в почвах, формирующихся в условиях вечной мерзлоты.

Пептизация – это процесс перехода коллоидов из состояния геля в состояние золя, который вызывается восстановлением и повышением дзета-потенциала коллоидной системы (дзета-потенциал – это электрокинетический потенциал, который возникает между коллоидной частицей и окружающим раствором). Пептизация почвенных коллоидов происходит при удалении избытка электролита (в случае обратимых гелей) и в результате действия ионов OH^- , которые увеличивают заряд ацидоидов. Пептизация почвенных коллоидов происходит также при насыщении почвы высокогидратированными катионами.

Коллоиды, насыщенные одновалентными катионами, находятся в основном в состоянии золя; при замене одновалентных катионов двух- и трехвалентными они переходят в гель. Так, насыщение ППК натрием способствует образованию золя, распылению почвы, увеличению заряда почвенных коллоидов и их гидратации. Замещение натрия кальцием способствует коагуляции и образованию водопрочной структуры.

Коллоиды обладают адсорбционными свойствами, т.е. способны поглощать катионы, анионы и целые молекулы находящихся в почвенном растворе веществ. Различают ионную и молекулярную сорбцию. *Ионная сорбция* носит обменный характер и заключается в обменной реакции между катионами диффузного слоя мицеллы и окружающего ее раствора. *Молекулярная сорбция* – это поглощение (фиксация) на поверхности мицеллы молекул каких-либо соединений (например, молекулы воды).

Валовой химический состав почвенных коллоидов отличается от валового химического состава почвы в целом, что выражается в повышенном содержании гумуса и полуторных оксидов и пониженном – кремнезема. По происхождению

коллоиды делят на три группы: а) минеральные, б) органические, в) органоминеральные.

Минеральные коллоиды представлены глинистыми минералами, коллоидными формами кремнезема и полуторных оксидов железа и алюминия. Все глинистые минералы имеют кристаллическое строение, пластинчатую форму и относятся к ацидоидам (содержат в диффузном слое катионы). Они характеризуются высокой емкостью поглощения, которая максимальна в минералах группы монтмориллонита и вермикулита, поскольку их кристаллическая решетка подвижна, а межпакетные промежутки значительны. В этих промежутках и сорбируются катионы. Такой тип поглощения называется *интрамицеллярным*.

Минимальная емкость обменного поглощения катионов характерна для минералов группы каолинита, так как у них поглощение катионов происходит только на наружной поверхности кристаллической решетки (тип поглощения *экстрамицеллярный*).

Все глинистые минералы способны к коагуляции при воздействии 2-х и 3-х-валентных катионов и легко пептизируются с образованием зелей при подщелачивании и насыщении диффузного слоя натрием.

Органические коллоиды представлены в почве гумусовыми кислотами и их солями (гуматами, фульватами, алюмо- и железогумусовыми соединениями), относятся к ацидоидам. Являясь гидрофильными коллоидами, они легко меняют состояние – пептизируются при действии щелочных растворов и коагулируют под влиянием 2-х и 3-х-валентных катионов. В почве находятся, главным образом, в состоянии гелей. Характерной особенностью гумусовых веществ является очень высокая емкость обменного поглощения катионов. Кроме гумуса к группе органических коллоидов относятся белковые вещества, представленные плазмой микроорганизмов. Это типичные амфолитоиды: в кислой среде проявляют себя как базоиды, а в щелочной – как ацидоиды.

Органоминеральные коллоиды представляют собой комплекс

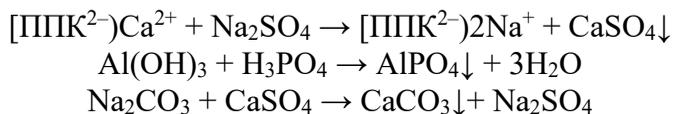
переменного состава из высокодисперсных минералов и гумусовых веществ, покрытых пленками гумусовых кислот, гуматов, фульватов алюмо- и железогумусовых солей. В состав этих коллоидов входят в основном монтмориллонит и гидрослюды, а также полуторные оксиды и кремнезем. Формирование их в почве происходит в результате процесса склеивания (адгезии) гумусовых кислот с поверхностью минеральной частицы. Органоминеральные коллоиды являются ацидоидами и характеризуются относительно высокой емкостью обменного поглощения катионов, величина которой зависит от количества гумусовых веществ.

17.2. Виды поглощительной способности почв

Основными видами поглощительной способности почв являются следующие: механическая, химическая, биологическая, физическая и физико-химическая (обменная).

Механическая поглощительная способность – это свойство почв поглощать поступающие с водным или воздушным потоком твердые частицы, размеры которых превышают размеры почвенных пор. Вода, проходящая сквозь толщу почвы, очищается от взвешенных веществ. Эта способность почв используется для очистки сточных и питьевых вод, при строительстве оросительных систем для заиливания дна и стенок каналов в целях уменьшения потерь воды на фильтрацию (кольматирование каналов и водохранилищ).

Химическая поглощительная способность – это способность почв образовывать труднорастворимые соединения в результате происходящих в ней химических реакций. Катионы и анионы, поступающие в почву с атмосферными, грунтовыми или поливными водами, могут образовывать с солями почвенного раствора нерастворимые или труднорастворимые соединения. Например:



Биологическое поглощение почв вызвано способностью живых почвообитающих организмов (корни растений, микроорганизмы) поглощать различные элементы. Этот вид поглотительной способности характеризуется большой избирательностью поглощения, что обусловлено специфической потребностью разных видов живых организмов в элементах питания.

Физическая поглотительная способность – это способность почвы увеличивать концентрацию молекул различных веществ у поверхности тонкодисперсных частиц, поверхностная энергия которых стремится к сокращению. Это реализуется или уменьшением поверхности твердой фазы (укрупнение частиц), или понижением поверхностного натяжения путем адсорбции на поверхности частиц некоторых веществ. Вещества, понижающие поверхностное натяжение, называются поверхностно-активными (это органические кислоты, алкалоиды, многие высокомолекулярные органические соединения). Они притягиваются к поверхности тонкодисперсных частиц, т.е. испытывают положительную физическую адсорбцию. Многие минеральные соли, кислоты, щелочи, некоторые органические соединения повышают поверхностное натяжение воды, вызывая явление отрицательной физической адсорбции, при этом концентрация данных веществ уменьшается по мере приближения к поверхности частицы. Понижение поверхностного натяжения достигается в данном случае избирательной адсорбцией молекул воды, а не растворенных в ней веществ.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность – это способность почвы поглощать и обменивать ионы, находящиеся на поверхности коллоидных частиц, на эквивалентное количество ионов раствора, взаимодействующего с твердой фазой почвы. Это свойство почвы обусловлено наличием в ее составе так называемого почвенного поглощающего комплекса (ППК), представленного почвенными коллоидами минеральной, органической и органоминеральной природы.

Основным механизмом физико-химической, или обменной, поглотительной способности почв является процесс сорбции. Неспецифическая, или обменная, сорбция катионов – это способность катионов диффузного слоя почвенных коллоидов обмениваться на эквивалентное количество катионов соприкасающегося с ним раствора.

Обменные катионы составляют небольшую часть от их общего содержания в почве и представлены следующими катионами: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , H^+ , Al^{3+} . К основным закономерностям обменной сорбции относятся:

1) эквивалентность обмена между поглощенными катионами почвы и катионами взаимодействующего раствора;

2) в ряду разновалентных ионов энергия поглощения возрастает с увеличением валентности иона: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} \leq \text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$;

3) энергия поглощения (относительное количество поглощения катионов почвами при одинаковой их концентрации в растворе) определяется радиусом негидратированного иона: чем меньше радиус, тем слабее связывается ион, что объясняется большей плотностью заряда, а, следовательно, и большей гидратированностью иона;

4) внутри рядов ионов одной валентности энергия поглощения возрастает с увеличением атомной массы, атомного номера.

Скорость катионного обмена определяется главным образом внутридиффузионными процессами. Катионы, обладающие большой энергией поглощения, прочнее удерживаются в поглощенном состоянии и труднее замещаются. 75–85% поглощенных катионов десорбируется за 3–5 минут, затем обмен резко замедляется и продолжается до двух-трех суток. Это связано с неоднородностью состава ППК, с наличием энергетически неравноценных центров, со строением поверхности коллоидных частиц, изменением состава ППК в процессе поглощения катионов, его агрегатного состояния.

Общее количество всех поглощенных (обменных) катионов, которые могут быть вытеснены из почвы, называется *емкостью*

поглощения или емкостью катионного обмена (ЕКО). Это понятие было введено К.К. Гедройцем и выражается в мг-экв/100 г почвы. ЕКО определяется содержанием в почве коллоидной и предколлоидной фракций, строением их поверхностей, природой ППК, реакцией среды. При увеличении степени дисперсности коллоидных частиц емкость поглощения катионов возрастает. Органическая часть ППК обладает значительно большей емкостью поглощения, чем минеральная. На величину ЕКО влияет минералогический состав. Так, при монтмориллонитовом составе ЕКО выше, что обусловлено расширением при увлажнении межплоскостных пространств кристаллической решетки и обменом расположенных в этих пространствах катионов на катионы взаимодействующих растворов. С ростом рН возрастает ионизация функциональных групп гумусовых кислот, глинистых минералов, уменьшается положительный заряд полуторных оксидов и возрастает ЕКО.

Почвы поглощают не только катионы, но и анионы, сорбция которых зависит от заряда, строения и химических свойств ППК. По способности сорбироваться на почвенных частицах анионы располагаются в следующий ряд:



Сорбция анионов возрастает при увеличении в почвенном поглощающем комплексе содержания алюминия и железа и наличия фрагментов почвенных минералов, а также при понижении реакции среды почвенного раствора. Так как анионы менее гидратированы, чем катионы, они характеризуются высокой селективностью поглощения. Анионы Cl^- и NO_3^- практически не поглощаются почвой. Большую роль в поглощении анионов играют процессы солеобразования. В результате процессов взаимодействия растворимых солей образуются новые, нерастворимые в воде соли (сульфаты, карбонаты, фосфаты), переходящие в твердую фазу почвы. Таким путем почвой интенсивно поглощаются ионы H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Механизмы поглощения ионов почвами сложны и разнообразны и изучаются самостоятельным разделом почвоведения «Химия почв».

17.3. Почвенная кислотность

Важнейшим свойством почвы, определяющим почвенное плодородие, является реакция среды, обусловленная наличием и соотношением в почвенном растворе водородных (H^+) и гидроксильных (OH^-) ионов. Она характеризуется величиной рН – отрицательным логарифмом активности водородных ионов в растворе. Почвы могут иметь нейтральную (рН 7), кислую (рН меньше 7) или щелочную (рН больше 7) реакцию.

Реакция почвы зависит от действия следующих факторов:

- а) химического и минералогического состава минеральной части почвы,
- б) наличия свободных солей,
- в) содержания и качества органического вещества,
- г) состава почвенного воздуха,
- д) влажности почвы,
- е) жизнедеятельности организмов.

Одной из наиболее распространенных в почве минеральных кислот является угольная. В зависимости от термодинамических условий и биологической активности она может поддерживать рН почвы в пределах 3,9–5,7. Концентрация углекислоты в почвах изменяется в связи с суточно-сезонными ритмами погоды, с активностью микроорганизмов.

В результате окисления сернистых металлов (сульфидов) в почвах и почвообразующих породах может образоваться серная кислота, вызывающая сильное подкисление почв (при осушении мангровых или маршевых почв величина рН может снижаться с 7–8 единиц до 2–3).

Значительное подкисление почвенного раствора вызывают ненасыщенные катионами гуминовые кислоты и фульвокислоты (рН может снижаться до 3–3,5). Малоразложившиеся остатки органического вещества лесной подстилки имеют рН 3,5–5,0, мхов – 2,5–3. В почве могут присутствовать свободные органические кислоты типа муравьиной, щавелевой, уксусной, лимонной и др., что связано с жизнедеятельностью грибов и

бактерий, разложением растительного опада, выделениями корней или почвенных животных.

Важную роль в регулировании реакции почвенного раствора играют микроорганизмы. Так, с деятельностью нитрификаторов связано появление на короткое время в почвенном растворе азотной и азотистой кислот и снижение рН до 0,5–2,0, а разложение белков под воздействием микроорганизмов сопровождается поступлением в раствор небольшого количества серной кислоты.

Кислотно-основные свойства соединений оцениваются исходя из теории кислот и оснований Бренстеда–Лоури, согласно которой:

- *кислотой* считается любое вещество, способное отдавать протон (H^+), переходя при этом в сопряженное с ней основание;
- *основанием* считается вещество, способное присоединять протон, превращаясь в сопряженную с ним кислоту.

В водных растворах кислоты отдают протоны воде, а основания принимают протон от воды:



Отдавая протон воде, уксусная кислота превращается в основание CH_3COO^- ; вода, играя роль основания и принимая протон от CH_3COOH , переходит в кислоту H_3O^+ .

Способность почвы подкислять воду и растворы нейтральных солей называется *кислотностью* почвы. Различают актуальную (активную) и потенциальную кислотность почв в зависимости от того, при каком взаимодействии она проявляется и измеряется. *Актуальная кислотность* – это кислотность почвенного раствора, а *потенциальная кислотность* характерна для твердой фазы почвы.

Актуальная кислотность почвы обусловлена наличием водородных ионов (протонов) в почвенном растворе, активность которых зависит от свойств (ионной силы) раствора, влияющих на коэффициент активности иона. Актуальная кислотность определяется наличием в почвенном растворе свободных кислот, кислых солей и степенью их диссоциации. В большинстве почв актуальная кислотность обусловлена

угольной кислотой и ее кислыми солями. Находящиеся в ППК поглощенные ионы H^+ и Al^{3+} повышают кислотность почвенного раствора.

Актуальная кислотность почвы измеряется при взаимодействии почвы с дистиллированной водой при разбавлении 1:25. Иногда рН почвы измеряют непосредственно в почве при естественной влажности, но для этого она должна быть достаточно увлажненной и гомогенной для обеспечения надежного контакта с измерительным электродом. Существуют и другие методы определения актуальной кислотности (колориметрически, титрованием).

Потенциальная кислотность – это способность почвы при взаимодействии с растворами солей проявлять себя как слабая кислота. Потенциальная кислотность, носителем которой являются обменные катионы H^+ и Al^{3+} , определяется свойствами твердой фазы почвы и имеет сложную природу.

В зависимости от характера взаимодействующего с почвой раствора различают две формы потенциальной кислотности почв – *обменную* и *гидролитическую*.

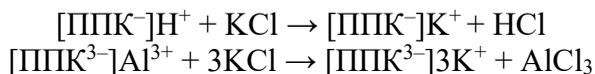
Обменная кислотность обнаруживается при взаимодействии с почвой растворов нейтральных солей. При этом происходит эквивалентный обмен катиона нейтральной соли на ионы водорода, алюминия и другие, находящиеся в почвенном поглощающем комплексе, т.е. природа обменной кислотности зависит от состава и свойств почвенных коллоидов. Для определения обменной кислотности почв обычно используют 1н раствор KCl (рН около 6,0).

Кислотность органических почвенных коллоидов (гумусовые кислоты) обусловлена главным образом обменным водородом (источником обменного водорода служат органические кислоты, включая гумусовые, и угольная кислота). При взаимодействии с коллоидами водород этих кислот внедряется в их диффузный слой, занимая место оснований, которые выщелачиваются или выпадают в осадок.

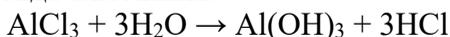
Кислотность минеральных коллоидов связана с наличием в ППК обменных ионов водорода, алюминия или железа.

Источником обменных алюминия и железа служат ионы кристаллической решетки глинистых минералов и гидроксидов.

При взаимодействии кислой почвы с раствором хлорида калия в результате обмена калия на водород в растворе появляется соляная кислота, а при обмене на алюминий – хлорид алюминия:



AlCl_3 является солью слабого основания и сильной кислоты, она гидролитически расщепляется с образованием соляной кислоты и гидроксида алюминия:



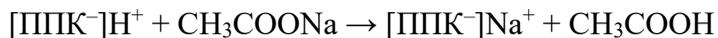
Образующаяся в растворе кислота оттитровывается щелочью (кислотность выражается в мг-экв/100 г почвы) или определяется по pH раствора, который характеризуется как солевой pH (pH_{KCl}).

По величине pH можно ориентировочно определить роль различных ионов в образовании кислотности: при pH меньше 4,0 кислотность обусловлена в основном обменным водородом, при pH от 4,0 до 5,5 – обменным алюминием. В гумусовых горизонтах наибольшее значение в формировании кислотности принадлежит иону водорода, а в минеральных горизонтах – алюминию.

Обменная кислотность в большей степени характерна для подзолистых и красноземных почв (pH 3–4). В слабокислых, нейтральных и щелочных почвах обменная кислотность не проявляется. В кислых почвах (подзолистых, серых лесных, красноземах) солевой pH всегда меньше, чем водный pH, поскольку в этих почвах имеется обменный водород и(или) алюминий.

При обработке почвы раствором нейтральной соли (в данном случае KCl) вытесняются не все поглощенные ионы водорода. Более полно выявляется потенциальная кислотность при обработке почвы раствором гидролитически щелочной соли сильного основания и слабой кислоты. Для определения гидролитической кислотности используют 1n раствор

CH_3COONa с рН, равной 8,2. При взаимодействии уксуснокислого натрия с почвой происходит следующая реакция:



Количество образующейся уксусной кислоты, определяемое титрованием, характеризует гидролитическую кислотность почвы.

При наличии в почве обменного алюминия образующийся в результате обменной реакции уксуснокислый алюминий распадается на гидроксид алюминия и уксусную кислоту.

Так как нейтральная соль (KCl) вытесняет лишь часть поглощенного водорода, а гидролитически щелочная соль – почти весь, то гидролитическая кислотность обычно больше обменной. Иногда гидролитическая кислотность оказывается меньше обменной за счет поглощения почвой анионов уксусной кислоты и вытеснения ионов OH^- , в результате чего уменьшается кислотность вытяжек.

По величине рН солевой вытяжки принято различать следующие градации кислой реакции:

- сильнокислая рН < 4,5;
- кислая рН 4,6–5,0;
- слабокислая 5,1–5,5;
- близкая к нейтральной рН 5,6–6,0.

Величину гидролитической кислотности выражают также в мг-экв/100 г почвы.

Наличие потенциальной кислотности (обменной и гидролитической) характерно для почв, бедных основаниями: чем больше почва обеднена основаниями, тем резче проявляет она кислотные свойства.

Важное значение в формировании кислых почв имеют климатические условия. Большое количество осадков и промывной тип водного режима приводят к выносу солей из почвы, что способствует выходу в раствор поглощенных кальция и магния в обмен на водородные ионы и их последующему выщелачиванию.

На характер почвенной реакции влияет и растительность.

Хвойные леса и сфагновый мох способствуют усилению кислотности благодаря кислым свойствам их органических остатков; лиственные леса и травянистая растительность, наоборот, благоприятствуют накоплению оснований.

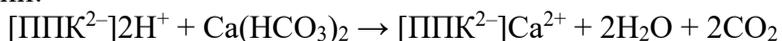
Изменение почвенной реакции связано с сельскохозяйственной деятельностью человека. Так, отчуждение урожаев с полей приводит к постепенному обеднению почв элементами, в том числе и основаниями, входящими в состав растений. Длительная обработка подзолистых почв сопровождается обеднением их кальцием и магнием. Снижение рН почвы может вызвать и внесение физиологически кислых минеральных удобрений.

Кислая реакция почв неблагоприятна для большинства культурных растений и полезных микроорганизмов. Кислые почвы обладают плохими физическими свойствами, в связи с недостатком оснований органическое вещество в них не закрепляется, почвы обедняются питательными веществами.

Степень влияния кислой реакции на растения зависит от тех элементов, которые обуславливают почвенную кислотность, т.е. водорода или алюминия. Последний оказывает на растения более токсическое действие, чем водород. Повышенное содержание обменного алюминия (10–12 мг/100 г почвы) угнетает клевер, а обменный водород может служить причиной гибели посевов озимых культур при перезимовке.

Доля участия в ППК поглощенных водорода и алюминия определяет степень насыщенности почв основаниями. *Степень насыщенности почв основаниями* – это количество обменных оснований (обычно $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), выраженное в процентах от емкости поглощения.

Основным методом снижения кислотности почв и повышения их продуктивности является известкование, при котором происходит замещение поглощенного водорода на кальций:



Количество извести, необходимое для внесения в почву, зависит от степени кислотности и гранулометрического состава

почвы и исчисляется тоннами на гектар. По нуждаемости в известковании почвы разделяются в зависимости от величины рН солевой вытяжки на:

- сильно нуждающиеся (рН меньше 4,5);
- средне нуждающиеся (рН 4,6–5,0);
- слабо нуждающиеся (рН 5,1–5,5);
- не нуждающиеся (рН более 5,5).

Для почв с величиной рН 4,6–5,5 (т.е. для почв средне- и слабо нуждающихся) необходимо также учитывать и степень насыщенности основаниями по следующей градации:

- менее 50% – сильно нуждаются;
- 50–70% – средне нуждаются;
- 70–80% – слабо нуждаются;
- более 80% – не нуждаются в известковании.

Таким образом, почвы с высокой степенью насыщенности основаниями в известковании не нуждаются.

17.4 Почвенная щелочность

Щелочная реакция почвенных растворов может быть обусловлена различными по составу соединениями:

- карбонатами и гидрокарбонатами щелочных и щелочно-земельных элементов,
- силикатами,
- алюминатами,
- гуматами натрия.

Щелочная реакция, согласно теории кислот и оснований Бренстеда–Лоури, может быть обусловлена анионами слабых кислот, которые переходят из твердой фазы почвы в почвенные растворы и могут проявлять основные свойства. Например, карбонат-ионы (CO_3^{2-}) и гидрокарбонат-ионы (HCO_3^-). Различают актуальную и потенциальную щелочность почвы.

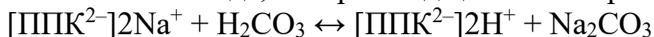
Актуальная щелочность обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), при диссоциации которых образуется в значительных количествах гидроксильный ион. При

характеристике актуальной щелочности почвенных растворов различают общую щелочность, щелочность от нормальных карбонатов и щелочность от гидрокарбонатов.

Щелочность от нормальных карбонатов является результатом обменных реакций почв, содержащих поглощенный натрий, а также проявляется в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, которые восстанавливают в анаэробных условиях и в присутствии органического вещества сернокислые соли натрия с образованием соды. Определяется щелочность от нормальных карбонатов титрованием в присутствии фенолфталеина.

Общая щелочность определяется титрованием по индикатору метиловому оранжевому и обусловлена общим содержанием гидролитически щелочных солей и анионооснований (CO_3^{2-} , HCO_3^- и др.).

Потенциальная щелочность проявляется в почвах, содержащих поглощенный натрий. При взаимодействии почвы с углекислотой поглощенный натрий в ППК замещается водородом и появляется сода, которая подщелачивает раствор:



Щелочность почвенного раствора характеризуется в мг-экв кислоты, необходимой для нейтрализации ионов OH^- раствора, обусловленных ионами HCO_3^- (щелочность от бикарбонатов), CO_3^{2-} (щелочность от нормальных карбонатов) или их суммой (общая щелочность).

Величину щелочности также выражают показателем рН почвенного раствора:

- слабощелочная реакция рН 7,2–7,5;
- щелочная рН 7,6–8,5;
- сильнощелочная рН более 8,5.

Сильнощелочная реакция неблагоприятна для большинства растений и обуславливает низкое плодородие почв, неблагоприятные физические и химические свойства. Почвы с величиной рН около 9–10 во влажном состоянии характеризуются большой вязкостью, липкостью, водонепроницаемостью, в сухом состоянии – значительной

твердостью и цементированностью.

С целью снижения щелочности почв проводится химическая мелиорация путем внесения гипса, нитратов кальция или материалов, содержащих гипс, серную кислоту, сульфат железа или серу. Сера, окисляясь до серной кислоты, взаимодействует с карбонатом кальция, содержащимся в почвах, при этом образуется сернокислый кальций, который действует на соду и поглощенный натрий, вытесняя его из почвенного поглощающего комплекса. После этого проводится промывка почвы для удаления натрия за пределы почвенного профиля.

17.5. Буферность почв

Буферная способность, или *буферность почвы* – это способность почвы противостоять изменению ее актуальной реакции под воздействием различных факторов. Различают буферность против кислотных и щелочных агентов, т.е. различают буферную способность почв против изменения реакции в сторону подкисления и буферную способность против изменения реакции в сторону подщелачивания.

Почвы с высокой степенью насыщенности основаниями (черноземы, каштановые, дерновые и др.) обладают высокой буферностью против подкисления, поскольку весь водород почвенного раствора у них обменивается на поглощенные основания, вследствие чего водородный ион оказывается связанным коллоидными частицами и не подкисляет почву.

Ненасыщенные основаниями почвы (подзолистые, красноземы и др.) характеризуются большой буферной способностью против подщелачивания, так как все ионы натрия поглощаются в обмен на водород почвенного поглощающего комплекса.

Таким образом, буферные свойства почв связаны с поглощением и вытеснением ионов, а также с процессами перехода соединений в молекулярные или ионные формы, с нейтрализацией и выпадением в осадок образующихся в почве соединений. Кислота и щелочь, появляющиеся в почвенном

растворе, вступают во взаимодействие с почвенными коллоидами, что ослабляет сдвиг реакции.

Буферность почвы определяется следующими факторами:

1) количеством почвенных коллоидов (чем больше коллоидов в почве, тем выше ее буферность; песчаные почвы почти не обладают буферностью);

2) составом почвенных коллоидов (чем выше в почвах содержание гумуса, монтмориллонита и почвенных коллоидов с широким отношением кремнезема к глинозему, тем выше их буферность по отношению к изменениям реакции, как в кислом, так и в щелочном интервале; буферность возрастает при увеличении емкости поглощения почв);

3) составом обменных катионов (наличие большого количества поглощенных кальция, магния, натрия и других оснований создает значительную буферность в кислую сторону; почвы, имеющие в составе обменных катионов водород или алюминий и способные поглощать щелочь, обнаруживают буферность в щелочную сторону).

Высокой буферностью в отношении кислот и низкой – против щелочей отличаются почвы гумусированные, маловыщелоченные и богатые углекислыми солями. Высокой буферностью против щелочных агентов обладают глинистые почвы, содержащие значительные количества обменных водорода и алюминия и кислых гумусовых соединений.

Буферная способность является одним из факторов почвенного плодородия, т.к. позволяет сохранить благоприятные для растений свойства почвы. Буферность почв необходимо учитывать при проведении химической мелиорации (при известковании и гипсовании), поскольку при повышенной кислотности или щелочности почва, обладающая буферностью, сопротивляется изменению реакции, что требует внесения повышенных доз химических мелиорантов.

17.6. Регулирование катионного состава почвенного поглощающего комплекса

Катионный состав ППК определяет кислую, нейтральную или щелочную реакцию почв и является важным показателем плодородия. Основные приемы, направленные на его регулирование, разработаны К.К. Гедройцем. К ним относятся известкование кислых почв и гипсование щелочных.

Степень кислотность или щелочности почв в агрономической практике принято характеризовать по величинам обменной кислотности и актуальной щелочности (табл. 13).

При внесении извести (CaCO_3) в кислую почву в составе почвенного поглощающего комплекса происходят изменения: поглощенные H^+ и Al^{3+} вытесняются из ППК и заменяются на Ca^{2+} , вследствие чего поглощающий комплекс насыщается кальцием, и почвенная кислотность нейтрализуется.

Таблица 13 – Агрономические уровни кислотности и щелочности почв (по Ковриго, Кауричеву, Бураковой, 2000)

pH	Почва по уровню кислотности или щелочности	Почвы с указанными уровнями кислотности или щелочности
Ниже 4,00	Очень сильнокислая	Подзолистые, красноземы, болотно-подзолистые, болотные
4,01–4,50	Сильнокислая	Подзолистые, дерново-подзолистые, болотно-подзолистые, болотные, красноземы
4,51–5,00	Среднекислая	Те же и светло-серые лесные
5,01–5,50	Слабокислая	Дерново-подзолистые и красноземы, серые лесные
5,51–6,00	Близкая к нейтральной	Серые лесные, лесостепные черноземы, окультуренные дерново-подзолистые и красноземы
6,01–7,00	Нейтральная	Серые лесные и черноземы
7,01–7,50	Слабощелочная	Каштановые, южные черноземы, бурые полупустынные, сероземы
7,51–8,50	Среднещелочная	Солонцы, солончаки, солонцеватые каштановые почвы, сероземы
Выше 8,51	Сильнощелочная	Содовые солонцы, солончаки

Необходимую для внесения дозу извести рассчитывают с

учетом гидролитической кислотности:

$$D_{\text{CaCO}_3} = H_{\text{Г}} \cdot 0,05 \cdot h d_{\text{v}},$$

где D_{CaCO_3} – доза извести, т/га; $H_{\text{Г}}$ – величина гидролитической кислотности, мг-экв/100 г почвы; 0,05 – коэффициент для пересчета на CaCO_3 (для CaO он равен 0,028); h – мощность мелиорируемого слоя, см; d_{v} – плотность сложения мелиорируемого слоя почвы, г/см³.

Обогащение почвы кальцием, который является химическим аналогом стронция (⁹⁰Sr), способствует уменьшению поступления последнего в растения, поэтому известкование рекомендуется проводить в почвах, подверженных радиоактивному загрязнению.

Определить дозу извести можно и без показателей гидролитической кислотности по величине pH_{KCl} , для чего разработаны соответствующие таблицы (табл. 14).

Таблица 14 – Дозы извести (т/га) в зависимости от pH_{KCl} (по Ковриго, Кауричеву, Бурлаковой, 2000)

Гранулометрический состав	pH_{KCl}					
	4,5	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4–5,5
Песчаный	2,5	2,1	1,6	1,3	1,0	0,7–0,5
Супесчаный	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,2–1,0
Легкосуглинистый	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
Среднесуглинистый	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0
Тяжелосуглинистый	7,0	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5
Глинистый	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0	5,5

В щелочных солонцовых почвах химическим мелиорантом является гипс, кальций которого обеспечивает замену поглощенного натрия и нейтрализацию избыточной щелочности:



Дозу гипса часто рассчитывают, исходя из содержания поглощенного активного натрия (общее количество поглощенного Na^+ за минусом 5% от ЕКО, поскольку такое количество не оказывает неблагоприятного воздействия) по следующей формуле:

$$D_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = (\text{Na}^+ - 0,05\text{E}) \cdot 0,086 \cdot h d_v,$$

где $D_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$ – доза гипса, т/га; $(\text{Na}^+ - 0,05\text{E})$ – активный натрий, мг-экв/100 г почвы; 0,086 – коэффициент пересчета на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; h – мощность мелиорируемого слоя, см; d_v – плотность сложения, г/см³.

Существуют и другие методы мелиорации щелочных почв, например кислование, в результате которого при внесении в карбонатную почву слабого раствора серной кислоты образуется гипс, отличающийся более высокой активностью, чем природный гипс, используемый при гипсовании.

17.7. Экологическое и агрономическое значение поглотительной способности почв

Поглотительная способность почвы является одним из ее важнейших свойств, в значительной степени определяющих плодородие почв и характер почвообразования. Она обеспечивает и регулирует питательный режим почвы, способствует накоплению многих элементов минерального питания растений, регулирует реакцию почвы, ее водно-физические свойства.

На свойства почвы и условия произрастания растений, как было показано выше, существенное влияние оказывает состав обменных катионов. Так, в почвах, насыщенных Ca^{2+} (например, черноземах), реакция близка к нейтральной, коллоиды находятся в состоянии необратимых гелей и не подвергаются пептизации при избытке влаги, почвы хорошо оструктурены, обладают благоприятными физическими свойствами.

Почвы, в которых в составе ППК в большом количестве присутствует катион Na^+ (солонцы, солонцеватые почвы), имеют щелочную реакцию, отрицательно влияющую на рост растений, плохо оструктурены и характеризуются неблагоприятными водно-физическими свойствами, а именно: повышенной плотностью, плохой водопроницаемостью, слабой водоотдачей, низкой доступностью почвенной влаги для растений, что в целом обусловлено пептизацией коллоидов, насыщенных

натрием.

При наличии в составе ППК значительного количества H^+ и Al^{3+} коллоиды легко разрушаются в результате кислотного гидролиза, почвы плохо оструктурены и имеют кислую реакцию.

При техногенном загрязнении в почвы часто поступают химические соединения, катионы которых, внедряясь в ППК, снижают продуктивность сельскохозяйственных культур, ухудшают качество продукции, т.к. являются вредными (ядовитыми) для животных и человека. Такими катионами являются Cd^{2+} , Ba^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} и некоторые другие. В результате возникает экологическая проблема борьбы с химическим загрязнением почв и производства экологически безопасных продуктов питания.

Поглотительная способность почв обеспечивает санитарную функцию почв, поскольку задерживает поступающие в них загрязняющие вещества, в частности тяжелые металлы, препятствуя их поглощению растениями и просачиванию в грунтовые воды. Чем тяжелее гранулометрический состав, выше содержание гумуса и емкость катионного обмена, тем выше буферность почв, снижающая токсичность загрязняющих соединений.

Таким образом, состав почвенного поглощающего комплекса, емкость поглощения во многом определяют плодородие почв. Для создания оптимального питательного режима наряду с кальцием в ППК должны присутствовать такие катионы как Mg^{2+} , K^+ , NH^+ , а также микроэлементы Mn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} и др. Лучшие условия для питания растений создаются путем внесения минеральных удобрений, которые одновременно регулируют состав ППК.

Контрольные вопросы

1. Что называется поглотительной способностью почвы и почвенным поглощающим комплексом?
2. Как образуются почвенные коллоиды, какое имеют строение и свойства?
3. Какие коллоиды относятся к ацидоидам, базоидам и амфолитоидам?
4. Охарактеризуйте процессы коагуляции и пептизации, какое агрономическое значение имеют эти процессы?
5. Охарактеризуйте виды поглотительной способности почв. Какое агрономическое значение они имеют?
6. Что называется степенью

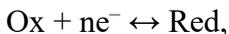
насыщенности основаниями и емкостью катионного обмена, в чем они выражаются и чем определяются? 7. Дайте определение видов почвенной кислотности и щелочности, буферности почв и раскройте их сущность. Какое агрономическое значение они имеют? 8. Какую роль в плодородии почв играют поглотительная способность почв и состав обменных катионов? 9. Назовите приемы регулирования катионного состава ППК.

Глава 18 Окислительно-восстановительные процессы в почвах

18.1. Понятие об окислительно-восстановительных процессах и факторы их развития

Почва является сложной окислительно-восстановительной системой, в ней присутствует большое количество различных веществ минеральной и органической природы, которые вступают в реакции окисления и восстановления. С окислительными реакциями связаны процессы гумификации растительных остатков; с реакциями, как окисления, так и восстановления связано изменение степени окисленности железа, марганца, азота, серы и других элементов.

Реакции окисления и восстановления всегда протекают одновременно. В них участвуют два или несколько веществ, одни из которых теряют электроны и окисляются (реакция окисления), другие приобретают электроны и восстанавливаются (реакция восстановления). Донор электронов называется восстановителем (он окисляется), а акцептор называется окислителем (он восстанавливается). Реакция окисления-восстановления записывается следующим образом:



где Ox – окислитель, Red – восстановитель, e^- – электроны, n – число электронов, участвующих в реакции.

Направление окислительно-восстановительной реакции определяется степенью легкости отдачи электронов восстановителем и прочности их связывания окислителем.

Некоторые реакции носят обратимый характер (например, окисление и восстановление железа и марганца), большинство

же идет необратимо (например, реакции окисления органических веществ, реакции, связанные с превращением соединений азота и серы).

Соотношение в почве окислительных и восстановительных процессов характеризует *окислительно-восстановительное (ОВ) состояние почвы*. Количественно ОВ состояние почвы оценивается несколькими показателями: величиной ОВ-потенциала, определяемой с помощью потенциометров, величиной индекса аэробности, количественными показателями содержания в почве суммы восстановленных продуктов. Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) характеризует разность потенциалов, возникающую между почвенным раствором и помещенным в почву электродом из инертного металла (платины). Выражается ОВП в милливольтгах и обозначается символом Eh.

В качестве основного окислителя в почве выступает молекулярный кислород почвенного воздуха и почвенного раствора, поэтому развитие окислительно-восстановительных процессов тесно связано с условиями аэрации почвы, зависящими от свойств почвы, которые определяют состояние газообмена (структуры, плотности, гранулометрического состава), а также от влажности. Ухудшение аэрации в результате увеличения влажности приводит к снижению ОВП. Кроме аэрации и влажности, определяющих направленность и интенсивность окислительно-восстановительных реакций, важное значение имеют содержание органического вещества и температура, при которой протекают биохимические реакции. Свежее органическое вещество, содержащее белки и углеводы, является благоприятным материалом для жизнедеятельности микроорганизмов, что способствует интенсивному развитию восстановительных процессов в избыточно увлажненной почве и изменению её ОВ-состояния. Температура почвы, обуславливает микробиологическую активность и, следовательно, расход кислорода, интенсивность различных химических реакций, влияющих на ОВП. В условиях избыточного увлажнения при температуре почвы выше 10°C

возникает восстановительная обстановка, ухудшающая рост и развитие растений, тогда как непродолжительное (5–7 дней) переувлажнение почвы при низких температурах (1–5°C) не сопровождается изменением ОВ-состояния.

Восстановительная обстановка в почвах обусловлена главным образом накоплением продуктов анаэробного распада органического вещества и жизнедеятельности микроорганизмов, в меньшей степени – соединениями двухвалентного железа, серы и других металлов.

Поскольку многие окислительно-восстановительные реакции в почвах идут с участием ионов водорода, ОВП зависит от рН раствора. Как правило, в кислой среде окисление идет при более высоких значениях E_h по сравнению с щелочными условиями, т.е. чем выше рН почвы, тем меньше будет содержание в почве восстановленных форм соединений различных элементов. Подкисление почвы должно вызывать обратную реакцию – накопление соединений, характеризующихся наименьшей степенью окисления.

Большинство окислительно-восстановительных реакций имеет биохимическую природу и связаны с микробиологическими процессами. Таким образом, потенциалопределяющей системой в почвах являются кислород и продукты жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

Чем выше концентрация окислителя, тем больше ОВП. Содержание кислорода в почвенном растворе определяет верхний предел возможных значений E_h в почвах (до +600÷700 мВ), а накопление восстановительных соединений, в том числе водорода, определяет нижний предел (до +100÷ –100 мВ и в редких случаях ниже). Если активные концентрации окислителя и восстановителя равны, то ОВП называется нормальным потенциалом окислительно-восстановительной системы. В разных типах почв ОВП изменяется обычно в пределах 100–750 мВ, опускаясь иногда до отрицательных значений. Наиболее заметно по ОВП различаются почвы автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные. По этому показателю почвы подразделяются на 2 большие группы:

- 1) с преобладанием окислительных условий,
- 2) с преобладанием восстановительных условий.

Первую группу составляют автоморфные почвы, для них характерны следующие значения ОВП:

– 450–600 мВ – в дерново-подзолистых и подзолистых почвах;

– 500–650 мВ – в серых лесных, черноземах и сероземах.

В периоды избыточной влажности потенциал этих почв, особенно в гумусовых горизонтах, может снизиться до 350–250 мВ.

Ко второй группе относятся почвы с близким уровнем грунтовых вод, т.е. полугидроморфные и гидроморфные (луговые, пойменные, болотные и др.). В луговых и пойменных почвах ОВП изменяется в пределах 450–300 мВ. Наиболее низкие показатели ОВП свойственны нижним оглееным горизонтам и горизонтам грунтовых вод (+100÷ – 100 мВ). Болотные почвы характеризуются низкими показателями ОВП до –200 мВ и ниже. Установлено, что снижение ОВП до 350–450 мВ служит показателем изменения окислительных условий на восстановительные.

18.2. Окислительно-восстановительные режимы почв

Окислительно-восстановительным режимом называется соотношение ОВ-процессов в почвенном профиле в годичном цикле почвообразования. Различают 4 типа ОВ-режимов почвы.

1. Почвы с абсолютным господством окислительных процессов. Этот тип характерен для степных, полупустынных и пустынных автоморфных почв: черноземов, каштановых, бурых полупустынных, серо-бурых и песчаных пустынных, сероземов и др.

2. Почвы с господством окислительных процессов при возможном проявлении восстановительных условий в отдельные влажные годы или сезоны. Этот тип ОВ-режима имеют автоморфные почвы таежно-лесной, лесостепной, буроземно-лесной и влажной субтропической зон.

3. Почвы с контрастным ОВ-режимом. Этот тип характерен для полугидроморфных почв различных зон.

4. Почвы с устойчивым развитием восстановительных процессов. Этот тип имеют болотные почвы, гидроморфные солончаки.

Наибольшей изменчивостью ОВП характеризуются верхние обогащенные органическим веществом гумусовые горизонты, где более значительны колебания влажности и высока активность микробиологических процессов, нижние горизонты отличаются более устойчивыми потенциалами.

18.3. Агрономическое и экологическое значение окислительно-восстановительных процессов в почвах и пути их регулирования

Окислительно-восстановительные процессы в почве играют исключительно важную роль, поскольку с ними связаны процессы трансформации органических веществ и особенно гумуса, миграция и аккумуляция органических и минеральных веществ. Избыточное увлажнение и устойчивая восстановительная обстановка замедляют разложение растительных остатков, тормозят минерализацию и гумификацию, при этом в составе гумуса возрастает доля наиболее подвижных органических кислот (фульвокислот) и негидролизуемого остатка, происходит оторфовывание горизонтов. Периодическая смена окислительного и восстановительного режимов способствует активизации процессов разложения растительных остатков, что является одной из причин дегумификации почв. Усилению процессов минерализации органического вещества, в том числе гумуса, способствуют избыточно высокие ОВ–потенциалы.

Окислительно-восстановительные режимы влияют на формирование почвенного профиля: при восстановлении соединений железа и марганца повышается их растворимость, что приводит к миграции этих соединений в пределах почвенного профиля и вынос за его пределы.

С восстановительными явлениями связано развитие элювиально-глеевого процесса в почвах с периодическим сезонным увлажнением и формирование элювиальных горизонтов. При смене восстановительных условий окислительными происходит сегрегация гидроксидов железа и марганца и образование различных железисто-марганцевых новообразований (ортштейнов, бобовин, плёнок и др.). Реакции восстановления сульфатов сопровождаются образованием сероводорода и сульфидов железа, что придаёт почвам темную, часто неоднородную окраску. Восстановительный процесс оглеение сопровождается превращением окисных соединений элементов с переменной валентностью в закисные, при этом образуются вещества, содержащие железо в двухвалентной форме, что обуславливает холодные окраски (сизые, оливковые, голубые) глеевых горизонтов почвы.

Как при резко окислительной, так и резко восстановительной обстановке питательный режим почв складывается для растений неблагоприятно. При аэробной обстановке с ОВП 700–750 мВ железо, марганец и отчасти азот становятся недоступными растениям, у них развивается заболевание хлороза (дефицит железа) и «серной немочи» (дефицит марганца), что приводит к гибели растений. Снижение ОВП до 250 мВ и ниже приводит к накоплению восстановленных соединений железа, марганца, ртути в количествах, токсичных для растений, что также вызывает их угнетение, а иногда и гибель. При анаэробии в почвах появляется сероводород, сода, этилен, угнетающие развитие растений.

С окислительно-восстановительным состоянием почвы тесно связаны процессы превращения соединений азота — нитрификация и денитрификация. Первый наиболее интенсивно протекает при хорошей аэрации (Еh 550–600 мВ). При ухудшении аэрации и развитии восстановительных процессов господствует процесс денитрификации, с которым связана потеря азота из почвы (происходит переход из водорастворимых форм нитратов и нитритов в газовую фазу в виде оксидов азота, молекулярного азота и аммиака).

Для создания оптимальных условий для развития растений необходимо регулировать окислительно-восстановительные процессы в почвах. Практически все культурные растения (кроме риса) плохо развиваются в условиях восстановительной обстановки, поскольку в этом случае происходит ухудшение питательного, воздушного и микробиологического режимов, появляются токсичные соединения и т.д.

Оптимальные параметры ОВП в разных типах почв неодинаковы, что определяется исходными их значениями в условиях нормального водно-воздушного режима. Так, для дерново-подзолистых почв оптимальный ОВП составляет 550–750 мВ, черноземов и каштановых почв – 400–600 мВ, сероземов – 350–450 мВ.

Основные приемы регулирования ОВ-состояния включают агротехнические и агромелиоративные мероприятия, направленные на оструктурирование почвы, улучшение водного и воздушного режимов. К ним относятся следующие:

1) агротехнические приемы по борьбе с избыточным поверхностным увлажнением (создание мощного пахотного слоя, поддержание благоприятной плотности и пористости, улучшение структуры, рыхление подпахотного горизонта, планировка поверхности почвы, устройство водоотводных борозд для отвода поверхностных вод, кротование, щелевание; возделывание культур на гребнях и грядах и др.);

2) осушительные мелиорации, направленные на улучшение водно-воздушного режима;

3) оросительные мелиорации для создания оптимального водного режима и ослабления избыточно интенсивных окислительных процессов;

4) приемы регулирования органического вещества, влияющего на развитие ОВ-процессов.

Контрольные вопросы

1. Раскройте сущность окислительно-восстановительных процессов в почве. 2. От каких факторов зависит развитие окислительно-восстановительных процессов в почве? 3. В каких пределах изменяется ОВП в разных типах автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв? 4.

Охарактеризуйте типы окислительно-восстановительных режимов. 5. В чем заключается агрономическое и экологическое значение окислительно-восстановительных процессов в почве? 6. Какими приемами регулируются окислительно-восстановительные процессы в почвах?

Глава 19 Физические и физико-механические свойства почв

Изучение физических почв связано с именами П.А. Костычева, В.Р. Вильямса, А.Г. Дояренко, Н.А. Качинского, А.А. Роде и других ученых.

К физическим свойствам почвы относятся структура, общие физические, физико-механические, водные, воздушные и тепловые свойства почвы, с которыми тесно связан уровень плодородия почв. В данной главе рассматриваются структура, общие физические и физико-механические свойства, остальные были освещены в соответствующих разделах учебного пособия (см. главы 13, 15, 16).

19.1. Агрономическая характеристика структуры, ее утрата и восстановление в агроценозах

Физические свойства почвы во многом зависят от агрегатного состояния почвы, т.е. от её структуры. Как морфологический признак структура рассматривалась в главе 6, однако для изучения физических свойств почвы необходимо знать структуру с агрономической точки зрения.

Агрономически ценной считается зернистая и комковатая структура верхних почвенных горизонтов размером 0,25–10 мм, обладающая водопрочностью и связностью. Благоприятное влияние на состояние почвы оказывает и микроструктура при условии ее пористости и водопрочности. Оптимальный размер микроагрегатов 0,25–0,05 и 0,05–0,01 мм, более мелкие, как правило, забивают поры и в связи с этим ухудшают пористость, водо- и воздухопроницаемость. *Водопрочностью* агрегатов

называется способность их противостоять разрушающему действию воды, а *связанностью* – устойчивость агрегатов к механическому воздействию. *Структурной* считается почва, содержащая более 55% водопрочных агрегатов.

Агрономически ценная структура в корнеобитаемом слое обуславливает устойчивое соотношение капиллярных (внутри агрегатов) и некапиллярных (между агрегатами) пор, на фоне чего возникают хорошие условия для проникновения воды, воздуха, развития корней растений, нормальной аэрации, обеспечивается создание устойчивого и доступного запаса воды. В бесструктурной почве крупные некапиллярные поры практически отсутствуют, поэтому в период увлажнения все тонкие поры заполняются водой и нарушается воздухообмен, а при высыхании почвы улучшается обеспечение корней кислородом, но возникает недостаток воды. Кроме этого в сухих бесструктурных почвах появляется глыбистое монолитное сложение, препятствующее созданию благоприятного строения пахотного горизонта.

На создание агрономически ценной структуры влияют следующие факторы:

1) *физико-механические* (и *физические*) – они обуславливают крошение почвенной массы вследствие изменения давления или механического воздействия (это уплотняющее или рыхлящее действие корней растений, роющих животных, процессы высушивания–увлажнения, замерзания–оттаивания, воздействие почвообрабатывающих орудий).

2) *физико-химические* и *химические* факторы – это коагуляция почвенных коллоидов и цементирующее воздействие некоторых почвенных соединений. Клеящими веществами в почве являются гумус, глинистое вещество, гидроксиды железа и алюминия, карбонат кальция.

3) *биологические* факторы – это растительность и почвенные организмы. Растительность, кроме оказания механического уплотняющего или рыхлящего воздействия, является основным источником гумуса, пропитывающего и склеивающего мелкозем в прочные агрегаты. Создание агрономически ценной структуры

в большей степени связано с воздействием многолетней травянистой растительности, развивающей мощную корневую систему и оставляющей в почве большое количество органических остатков с благоприятным для деятельности микроорганизмов и образования гумуса химическим составом. Важную роль в этом играют и почвенные животные, особенно черви.

Структура почвы является динамичной и разрушается под ударами дождевых капель, при механической обработке, передвижении машин, людей, животных. С целью сохранения и повышения плодородия почв необходимо восстанавливать и сохранять почвенную структуру. Это осуществляется с помощью таких агротехнических приемов, как посев многолетних трав, обработка почвы в состоянии физической спелости, минимизация обработок, известкование кислых и гипсование щелочных почв, внесение минеральных и органических удобрений, а также использование искусственных структурообразователей (полимеров и сополимеров, состоящих из производных акриловой, метакриловой и малеиновой кислот).

19.2. Характеристика общих физических свойств почвы

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

Плотность твердой фазы почвы – это отношение массы ее твердой фазы к массе воды в том же объеме при +4°C. Различные типы почв имеют неодинаковую плотность твердой фазы. Ее величина для минеральных почв колеблется от 2,4 до 2,8 г/см³ и зависит от минералогического состава почвы и содержания органических компонентов. Так, дерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на алюмосиликатных породах и бедные органическим веществом, имеют плотность твердой фазы 2,65–2,70 г/см³, малогумусированные горизонты субтропических почв – 2,7–2,8, богатые органическим веществом торфяники – 1,4–1,8 г/см³.

Плотность почвы (или *плотность сложения*) – это масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении. Выражается в граммах на 1 см³. При определении плотности узнают массу почвы в единице объема со всеми порами, поэтому плотность почвы будет всегда меньше плотности ее твердой фазы. Плотность почв изменяется в широких пределах: от 0,9 до 1,8 г/см³ в минеральных, от 0,15 до 0,40 г/см³ в болотных торфяных. Величина плотности определяется минералогическим и гранулометрическим составом почв, содержанием органического вещества, структурностью. Существенное влияние на плотность оказывает обработка почвы сельскохозяйственными орудиями. Наиболее рыхлое состояние отмечается сразу после обработки, затем начинается ее уплотнение до определенной величины, которая затем практически не изменяется. Такая плотность называется *равновесной*.

Для верхних горизонтов малогумусных дерново-подзолистых почв характерна плотность 1,2–1,4 г/см³, а нижних уплотненных – 1,6–1,8 г/см³. В черноземах эти показатели ниже – соответственно 1,0–1,2 и 1,3–1,6 г/см³. Для большинства культурных растений оптимальная величина плотности сложения составляет 1,0–1,2 г/см³, дальнейшее увеличение ее сопровождается снижением их урожайности.

Ниже приведена оценка плотности суглинистых и глинистых почв (табл. 15).

Таблица 15 – Оценка плотности суглинистых и глинистых почв (по В.П. Ковриго, И.С. Кауричеву, Л.М. Бурлаковой, 2000)

Плотность, г/см ³	Оценка
Менее 1,0	Почва вспушена или богата органическими веществами
1,0–1,1	Свежевспаханная почва
1,2–1,3	Пашня уплотнена
1,3–1,4	Пашня сильно уплотнена
1,4–1,6	Типичные величины для подпахотных горизонтов (кроме черноземов)
1,6–1,8	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты

Пористость – это суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы. Выражается в процентах от общего объема почвы. В разных горизонтах минеральных почв пористость изменяется в широких пределах – 25–80%, в гумусовых горизонтах обычно составляет 50–60%, для болотных торфяных почв 80–90%.

В зависимости от величины пор различают капиллярную и некапиллярную пористость. *Капиллярная пористость* равна объему капиллярных промежутков почвы, *некапиллярная* – объему крупных пор. Сумма этих видов пористости составляет общую пористость почвы. Ее обычно вычисляют по показателям плотности сложения и плотности твердой фазы по следующей формуле:

$$P_{\text{общ}} = (1 - d_v/d) \cdot 100,$$

где $P_{\text{общ}}$ – общая пористость, %; d_v – плотность сложения почвы, г/см³; d – плотность твердой фазы, г/см³; отношение d_v/d составляет объем твердой фазы почвы, а за единицу принимается общий объем почвы со всеми порами.

Пористость почвы определяется, прежде всего, ее структурностью, а также зависит от плотности, гранулометрического и минералогического состава, деятельности почвообитающих животных, содержания гумуса. С общей пористостью почв связаны водо- и воздухопроницаемость, воздухоемкость, газообмен между почвой и атмосферой.

Ниже приведена оценка общей пористости почв (табл. 16).

Таблица 16 – Общая пористость в вегетационный период для суглинистых и глинистых почв (по В.П. Ковриго, И.С. Кауричеву, Л.М. Булаковой, 2000)

Пористость, %	Качественная оценка
Более 70	Избыточно пористая – почва вспушена
65–55	Отличная – культурно-пахотный слой
55–60	Удовлетворительная для пахотного слоя
55–40	Неудовлетворительная для пахотного слоя

При агрономической оценке пористости учитывают капиллярную и некапиллярную пористость. Благоприятные условия увлажнения и воздухообеспеченности складываются при соотношении капиллярной и некапиллярной пористости 1:1.

В агрономическом отношении важно, чтобы почвы имели наибольшую пористость капилляров, заполненную водой, и одновременно пористость аэрации не менее 15% объема в минеральных почвах и 30–40% в торфяных почвах.

19.3. Характеристика физико-механических свойств почвы

Физико-механические свойства подразделяют на 3 группы:

1) деформационные, 2) прочностные, 3) реологические.

Деформационные свойства характеризуют поведение почв при нагрузках, не приводящих к их механическому разрушению. К ним относятся сжимаемость, просадочность, консолидация (уплотнение).

Сжимаемость почв под нагрузкой происходит при их механической обработке, особенно при использовании тяжелой сельскохозяйственной техники, которая приводит к уплотнению верхних горизонтов почвы.

Сжимаемость почв определяется многими свойствами, а именно: минералогическим и гранулометрическим составом, характером пористости и трещиноватости, оструктуренностью почв и прочностью структуры, сложением и ориентацией глинистых частиц, их размером и формой, влажностью почв, гидрофильностью коллоидной фракции. Сильнее при нагрузках уплотняются почвы, содержащие минералы группы монтмориллонита и высокое количество органических веществ.

Сжимаемость почв приводит к следующим явлениям:

- уменьшается общая пористость,
- изменяются размеры и форма пор,
- изменяются размеры и форма структурных отдельных (агрегатов),

– происходит переориентация тонкодисперсных минеральных частиц.

Просадочность является частным случаем проявления сжимаемости почв и грунтов. Просадкой называется понижение поверхности почв в результате уменьшения их пористости и растворения содержащихся в ней солей при замачивании. Особенно существенны просадки на лессовых почвогрунтах при введении их в орошаемое земледелие, что объясняется высокой пористостью пород, малой гидрофильностью, выносом легкорастворимых солей, являющихся «клеящими» веществами для их структуры. В результате просадки образуются новые формы рельефа: степные блюдца, поды, усиливается пестрота микрорельефа, что вызывает перераспределение поливных (иригационных) вод на поверхности поля и может привести ко вторичному засолению и даже заболачиванию почв. Все это усложняет обработку почвы, создает пестроту посевов, снижает эффективность орошения.

Вторая группа физико-механических свойств – *прочностные* свойства. Они характеризуют поведение почв при нагрузках, вызывающих их разрушение. К ним относятся связность, твердость, сдвиг и разрыв.

Связность – это способность почвы оказывать сопротивление разрывающему усилию, стремящемуся разъединить механические элементы, т.е. определяет свойство взаимного сцепления почвенных частиц. Выражается связность в $\text{кг}/\text{см}^2$. Этот показатель характеризует прочность структуры. Связность зависит от следующих свойств:

- гранулометрического и минералогического состава,
- оструктуренности почвы,
- количества и состава клеящих компонентов,
- обменных оснований,
- содержания органического вещества,
- влажности почвы.

Связность обусловлена явлениями адсорбции, когезии, цементации. Наибольшей связностью обладают почвы, имеющие в своей основе монтмориллонитовые глины. По мере

облегчения гранулометрического состава и увеличения доли каолинита прочность структурных связей снижается и связность уменьшается.

При оструктурировании почв происходит увеличение прочности отдельных агрегатов, но в целом связность почв уменьшается, легче становится их обработка, оптимизируется развитие корневых систем.

Увеличение концентрации электролитов в почвенном растворе способствует коагуляции и снижает связность почв, в то же время присутствие соды и увеличение доли натрия в ППК способствует пептизации частиц и увеличению связности почв. Этим обусловлена высокая связность солонцов и многих слитых почв.

В наибольшей степени на связность влияет содержание в почве воды. Монтмориллонитовые почвы при естественной влажности имеют связность порядка $10\text{--}50 \text{ кг/см}^2$, при сильном иссушении она увеличивается до $200\text{--}250 \text{ кг/см}^2$. Таким образом, максимальная связность характерна для сухих слитых почв. Связность в них определяется явлениями *когезии* – слипанием однородных по своей химической природе частиц за счет непосредственного взаимодействия их поверхностей, что обусловлено энергией поверхностного натяжения при дегидратации.

Влияние органического вещества на связность почв неоднозначно. Гумус увеличивает связность песчаных почв и снижает у глинистых за счет увеличения их агрегированности и снижения площади соприкосновения.

С прочностью сцепления почвенных частиц связана твердость почв.

Твердость – это свойство почвы в естественном залегании сопротивляться сжатию и расклиниванию. Измеряется твердость при помощи твердомеров и выражается в кг/см^2 . Она обусловлена теми же факторами, что и связность: минералогией, дисперсностью (т.е. гранулометрическим составом), наличием электролитов, составом обменных оснований, содержанием гумуса, влажностью.

Твердость изменяется в широких пределах: от 5 до 60 кг/см² и выше. Самой большой твердостью в сухом состоянии характеризуются слитые почвы и солонцы. Высокая твердость увеличивает тяговое сопротивление при обработке, снижает всхожесть семян, затрудняет проникновение корней растений.

Твердость почв резко возрастает при снижении влажности, а при увеличении – повышается липкость почв, растет сила сцепления почвенных частиц. При повышенной влажности не происходит крошения и образования агрономически ценных агрегатов во время обработки почвы, а наблюдается заглобление почв. Обработка сухих почв сопровождается распылением почв, что снижает их противозерозионную стойкость и ухудшает поверхностные свойства. Поэтому очень важно обрабатывать почву при оптимальной влажности.

Третья группа физико-механических свойств представлена *реологическими* свойствами, характеризующими поведение почвы под давлением во времени. К ним относятся вязкость, пластичность, липкость, набухание, усадка.

Пластичность – это способность почв менять свою форму (деформироваться) под воздействием внешних сил (без разрывов и трещин) и сохранять полученную форму после прекращения механического воздействия. Пластичность определяет *консистенцию* почвы, т.е. степень подвижности слагающих почву частиц под влиянием механического воздействия при различной влажности. Выделяют несколько форм консистенции:

- 1) твердая – при этом почва имеет свойства твердого тела, не пластична;
- 2) полутвердая – переходное состояние между твердым и пластичным телом;
- 3) вязкопластичная – почва обладает пластичностью, но не прилипает к другим телам;
- 4) липкопластичная – почва обладает пластичностью и прилипает к другим телам;
- 5) вязкотекучая – почва в состоянии растекаться толстым слоем;

б) жидкотекучая – почва может растекаться тонким слоем. В естественном состоянии для почв характерны 4 первые формы консистенции.

В некоторых почвах с сильным переувлажнением в отдельные периоды наблюдаются и текучие состояния. Текучесть активно проявляется в криогенных почвах, а также на склонах в зонах выклинивания грунтовых вод. При этом создаются специфические формы рельефа (солифлюкционные). Частный случай текучести представляет *тиксотропность* – явление, при котором переувлажненные почвы приобретают текучесть при механическом воздействии и снова переходят в твердое состояние в покое.

Пластичность определяется гранулометрическим составом и влажностью почвы. Сухие почвы этим свойством не обладают. Пластичность глин вдвое больше пластичности суглинков и втрое больше пластичности супесей. Пески практически непластичны. Почвы, имеющие в илистой фракции монтмориллонитовые минералы, более пластичны, чем почвы с преобладанием каолинита. Пластичность зависит от состава поглощенных оснований, так как они определяют степень гидратации почв. Повышенное содержание обменного натрия повышает пластичность. Увеличение содержания солей в почвенном растворе снижает пластичность. Чем выше пластичность почв, тем меньшим сопротивлением к механическому воздействию они обладают (например, они больше подвержены образованию колеи при проходе агрегатов).

С пластичностью почв связаны их *вязкость* и *липкость*.

Вязкость – это внутреннее трение, возникающее при «течении» почвы.

Липкость – это свойство прилипать к поверхности различных тел. Проявляется липкость лишь во влажном состоянии, что обусловлено силами молекулярного сцепления, возникающими на границах раздела между минеральными частицами, тонким слоем воды и поверхностью соприкасающегося предмета. Таким образом, решающая роль в проявлении липкости принадлежит слабосвязанной воде, и это

свойство называется адгезией, а слой воды – адгезионным. Липкость определяется силой, требующейся для отрыва металлической пластинки от почвы, и выражается в г/см^2 .

По липкости почвы подразделяют на следующие категории (по Н.А. Качинскому):

- предельно вязкие (более 15 г/см^2);
- сильновязкие ($5\text{--}15 \text{ г/см}^2$);
- средневязкие ($2\text{--}5 \text{ г/см}^2$);
- слабовязкие (менее 2 г/см^2).

Липкость почв тесно связана с гранулометрическим, минералогическим и химическим составом, оструктуренностью почвы и составом обменных катионов. Диспергирование почвы (уменьшение размера частиц) усиливает гидрофильность почв, вызывает рост ее липкости. Обесструктурирование почв, нарушение их сложения также сопровождается усилением их липкости. Наибольшей липкостью обладают тяжелые бесструктурные и слабооструктуренные почвы. Насыщение ППК кальцием сопровождается снижением липкости, а внедрение в ППК натрия – увеличением.

Липкость отрицательно влияет на качество обработки почвы, увеличивает тяговое сопротивление.

Удельное сопротивление – это усилие, затраченное на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность. Измеряется в килограмме, приходящемся на 1 см^2 поперечного сечения пласта, поднимаемого плугом. Сопротивление почвы, в зависимости от гранулометрического состава, физико-химических свойств, влажности, характера угодья, изменяется в пределах $0,2\text{--}1,2 \text{ кг/см}^2$. Это свойство почвы определяет затраты на обработку почвы, норму выработки машинно-тракторного парка, расход горюче-смазочных материалов.

С липкостью, связностью и другими физико-механическими свойствами связано очень важное производственное свойство почв – *физическая спелость*, представляющая собой состояние почвы, при котором она хорошо крошится на комки, не прилипая к орудиям обработки. Определяется уровнем увлажнения, при котором исчезает способность почвенных

частиц прилипать к сельскохозяйственным орудиям, но возникает способность самоагрегироваться, а также от тех факторов, которые влияют на липкость и связность. Таким образом, от липкости, связности почв зависят оптимальные сроки проведения полевых работ на разных почвах. Раньше всех достигают состояния физической спелости почвы легкого гранулометрического состава и гумусированные черноземы.

Среднесуглинистые почвы разных типов достигают состояния физической спелости при следующей их абсолютной влажности (в %): дерново-подзолистые – 12–21, серые лесные – 15–23, черноземы – 15–24, каштановые – 13–25, каштановые солонцеватые – 13–20. При утяжелении гранулометрического состава интервал физической спелости почв во времени и по показателям влажности становится уже.

Наряду с физической спелостью выделяют *биологическую спелость* почв, которая характеризуется таким температурным состоянием, при котором активно развиваются биологические процессы и прорастание семян. Как правило, эта температура близка к 10°C.

Важным реологическим свойством почв является *набухание* – это увеличение объема почвы или ее отдельных структурных элементов при увлажнении. Выражается в объемных процентах от исходного объема почвы. В основе набухания лежит свойство коллоидов сорбировать воду и образовывать гидратные оболочки вокруг минеральных и органических частиц, раздвигая их. Чем больше внутренняя поверхность почвенной массы и водоудерживающая способность почвенных частиц, тем более мощную пленку они могут создавать вокруг себя и тем больше будет набухаемость такой системы.

Однако основная роль в набухании почв принадлежит не столько дисперсности, сколько минералогическому составу. Трехслойные минералы с подвижной кристаллической решеткой обуславливают поступление воды в межпакетные пространства, при этом расстояние между пакетами увеличивается, и объем может возрасти вдвое. Повышению набухаемости способствует насыщение ППК натрием.

Процесс, обратный набуханию, называется *усадкой*. Она характеризуется уменьшением объема почв при высыхании и дегидратации и определяется теми же факторами, что и набухание. Выражается в процентах от объема исходной почвы. Усадка может вызывать разрыв корней, приводит к трещинообразованию, что способствует непроизводительной потере влаги за счет физического испарения.

Набухание и усадка в той или иной степени наблюдаются во всех почвах, но в наибольшей степени характерны для слитых почв и солонцов, что и определяет их крайне неблагоприятные физические свойства.

Набухание (усадка) связаны с содержанием в почвах солей: увеличение количества электролитов способствует коагуляции и снижает набухаемость почв, вымывание солей диспергирует почву и повышает их набухаемость.

Органическое вещество играет двоякую роль в процессах набухания–усадки. Гумусовые кислоты, являясь очень гидрофильными коллоидами, должны обуславливать высокую набухаемость почв, что и наблюдается в том случае, если они диспергированы и насыщены натрием. В почвах же, где хорошо развита агрегированность, гумусовые вещества, обвалакивая структурные отдельные части, препятствуют проникновению воды в агрегаты и тем самым препятствуют набуханию минеральной основы.

Физико-механические свойства почвы важно учитывать при различных видах использования почв и почвенного покрова: при механической обработке почв в земледелии, при использовании почв под строительство различных сооружений, при дорожном и аэродромном строительстве, использовании почвы в качестве строительного материала, в гидротехнике при строительстве каналов и водохранилищ и т.д. Изучением физико-механических свойств занимается особый раздел почвоведения – механика почв, изучаются они и в грунтоведении и инженерной геологии.

19.4. Регулирование общих физических и физико-механических свойств почвы

Общие физические и физико-механические свойства почв определяются в основном их гранулометрическим и минералогическим составом, которые практически не поддаются изменениям при сельскохозяйственном использовании почв. В связи с этим необходимо учитывать их при выборе оптимальных сроков обработки почв разного гранулометрического состава в зависимости от их влажности, рыхлить подпахотный слой на тяжелых почвах, дифференцированно осуществлять внесение органических удобрений, подбирать культуры–сидераты, регулировать состав обменных катионов и др.

Наиболее сильное отрицательное влияние на физические и физико-механические свойства почвы оказывает тяжелая техника, которая резко сказывается на плотности и порозности пахотного слоя и уплотняюще действует на почву до глубины 50–80 см. Уплотнение почв сопровождается снижением порозности, особенно некапиллярной, ухудшением условий для проникновения корней, уменьшением водообеспеченности растений и аэрации, содержания нитратов в почвенном растворе и, как следствие, снижением урожая. Исследования показывают, что на следах прохода колес машин урожай зерновых уменьшается на 50–60%.

С целью снижения негативного уплотняющего воздействия техники на почву применяют современные технологии возделывания культур, сокращающих количество проходов агрегатов по полю, строго соблюдают оптимальные сроки проведения полевых работ с учетом состояния влажности почвы, ее физических и физико-механических свойств. Необходимо переходить на новую систему машин и агрегатов с минимальным уплотняющим воздействием, например широкозахватные и комбинированные агрегаты с многоцелевыми рабочими органами, на гусеницах и шинах низкого давления.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте структуру почвы с агрономической точки зрения. 2.

Назовите факторы, влияющие на создание агрономически ценной структуры. 3. С помощью каких агротехнических приемов осуществляется восстановление и сохранение структуры? 4. Охарактеризуйте общие физические свойства почвы. 5. Назовите деформационные, прочностные и реологические свойства почвы и охарактеризуйте их. 6. Какие формы консистенции может иметь почва? 7. Что понимается под физической и биологической спелостью почвы?

Глава 20 Плодородие почв

20.1. Понятие почвенного плодородия

Плодородие является специфическим свойством почвы, от него зависит жизнь на Земле растений, животных и человека. В древние времена плодородие объясняли наличием особого «жира» или «растительных масел», «солей», порождающих всё «растительное и животное» на Земле, затем – наличием в почве воды, перегноя (гумуса) или элементов минерального питания и, наконец, плодородие почвы стали связывать со всей совокупностью свойств почвы. Менялось и определение самого понятия «плодородие почвы». В то время, когда была распространена «гумусовая» теория питания растений (А. Теер, 1830), под плодородием почвы понимали способность ее обеспечивать растения перегноем. Несколько позже сторонники минерального питания растений (Ю. Либих, 1840) под плодородием почвы понимали способность ее обеспечивать растения всеми минеральными элементами.

В научной литературе широко распространено определение плодородия почвы, сформулированное академиком В.Р. Вильямсом (1936), который под плодородием понимал способность почвы непрерывно обеспечивать растения одновременно водой и элементами питания. Тепло и свет, необходимые растениям, рассматривались Вильямсом как космические факторы.

В настоящее время плодородие почвы понимается шире. Рыхлые горные породы, как и почвы, обладают способностью удерживать влагу и содержат элементы питания, но семена

растений, попавшие на обнаженную породу, так же как и в воду, если и прорастают, то не образуют нормально развитого растения и его популяций. Почва является биокосным телом природы, в состав которого входят многочисленные живые микроорганизмы, играющие важную роль в мобилизации элементов питания растений и в снабжении их углекислотой, кроме этого продукты жизнедеятельности микроорганизмов оказывают непосредственное угнетающее или стимулирующее действие на растения, т.е. влияют на плодородие почвы. Солнечное тепло определяет тепловой режим почвы (а это важнейший фактор роста растений и элемент плодородия почвы), влияет на процессы испарения почвенной влаги, на скорость и направление химических и физико-химических реакций.

Уровень плодородия определяется тепловым, водно-воздушным, питательным, биохимическим, солевым, окислительно-восстановительными режимами почвы, параметры которых в свою очередь зависят от климатических условий, агрофизических свойств почвы, их гранулометрического, минералогического, химического составов, запасов элементов питания растений, содержания и состава гумуса, интенсивности микробиологических процессов и т.д.

В настоящее время под *плодородием почвы* понимают способность почвы обеспечивать рост и воспроизводство растений всеми необходимыми им факторами и условиями, а не только водой и элементами питания.

Оценка состава, свойств и режимов почвы с точки зрения плодородия составляет понятие *агрономическая характеристика почв*, которая включает следующие показатели:

- 1) строение почвенного профиля;
- 2) гранулометрический и минералогический состав;
- 3) химический состав: содержание валовых и доступных форм элементов питания растений, карбонатов кальция, полуторных оксидов, наличие токсичных соединений (подвижных форм алюминия, марганца, двухвалентного железа,

сероводорода, соединений техногенного загрязнения, пестицидов);

4) физико-химические свойства почв (реакция среды, состав ППК, емкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями);

5) окультуренность почв;

6) степень эродированности;

7) заболоченность.

Таким образом, плодородие почв – это результат сложного взаимодействия и взаимовлияния свойств и режимов почвы, которые являются динамичными, т.е. изменяются во времени. Поскольку свойства и режимы почв имеют количественное выражение, возможна количественная оценка и плодородия почв, для чего используется два подхода – экономический и биологический. Экономическая количественная оценка плодородия, называемая *бонитировкой почв*, основывается на относительной его оценке в баллах по количественным показателям свойств почвы, коррелирующих с урожайностью культурных растений (подробнее этот вопрос рассматривается во второй части настоящего пособия, см. главу 42). Биологическая количественная оценка плодородия почв дается на основе показателей среднегодовой биологической продуктивности растений на данной почве, характеризующей способность почвы обеспечивать продуктивность фотосинтеза.

Количественная оценка плодородия почв исключительно важна, поскольку позволяет решать вопросы повышения плодородия почв на научной основе.

20.2. Категории почвенного плодородия

В современной почвенной литературе используются следующие виды (категории) почвенного плодородия:

1. *Естественное (природное) плодородие* – это плодородие, которым обладает почва в природном состоянии без вмешательства человека. Оно определяется свойствами и режимами почв, обусловленными развитием природного

почвообразовательного процесса, не нарушенного влиянием человека. Этот вид плодородия характеризуется продуктивностью естественных растительных ценозов и присуем целинным почвам.

2. *Искусственное плодородие* – это плодородие, которым обладает почва в результате воздействия на нее целенаправленной человеческой деятельности (распашка, периодическая механическая обработка, мелиорации, применение удобрений и т.д.). Таким образом, искусственное плодородие свойственно пахотным почвам и зависит от уровня развития науки и техники.

3. *Потенциальное плодородие* – это суммарное плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком. Этот вид плодородия характеризуется общими запасами элементов питания растений, формами их соединений и сложным взаимодействием всех других свойств, определяющих способность почвы в благоприятных условиях обеспечивать растения водой, воздухом, теплом. Высоким потенциальным плодородием обладают черноземные и лугово-черноземные почвы, низким – подзолистые.

4. *Эффективное плодородие* – это та часть потенциального плодородия, которая реализуется в виде урожая растений при данных климатических (погодных) и технико-экономических (агротехнических) условиях.

5. *Относительное плодородие* – это плодородие почвы в отношении к какой-либо определенной группе или виду растений (плодородная для одних растений почва может быть бесплодной для других).

6. *Экономическое плодородие* – это экономическая оценка почвы в связи с ее потенциальным плодородием и экономическими характеристиками земельного участка. Понятие экономического плодородия связано с разной оценкой участков почв в зависимости от их расположения, удаленности и удобства использования. Почвы с благоприятными для растений природными свойствами и богатые питательными веществами,

но расположенные далеко от производственных центров, экономически могут расцениваться ниже бедных почв, но удобно расположенных.

20.3. Факторы и условия плодородия почв

В настоящее время принято различать факторы и условия плодородия почв. К *факторам* относятся элементы питания растений, вода, воздух и частично тепло, необходимое для жизни растений. *Условиями* плодородия является совокупность физических, физико-химических, химических свойств почв, сложное взаимодействие которых определяет возможность обеспечения растений земными факторами. Поскольку плодородие почвы – это способность ее обеспечивать растения всеми факторами жизни, к элементам плодородия следует отнести весь комплекс физических, биологических и химических свойств почвы и их годовую динамику.

Ниже рассматриваются основные факторы и условия плодородия почв.

Гранулометрический состав почвы определяет тепловой и водный режим, водно-воздушные свойства и пищевой режим почвы. Легкие супесчаные и песчаные почвы прогреваются раньше тяжелых, характеризуются высокой воздухо- и водопроницаемостью. В результате высокой аэрации органическое вещество растительных остатков и удобрений в таких почвах быстро минерализуется, а процессы гумификации, наоборот ослаблены. Малая влагоемкость препятствует накоплению влаги и приводит к вымыванию элементов питания. При небольшом содержании тонких глинистых частиц легкие почвы имеют небольшой запас элементов питания, низкую поглонительную способность и низкую буферность.

Тяжелосуглинистые и глинистые почвы, наоборот, дольше прогреваются, поскольку тонкие поры их заполнены не воздухом, а очень теплоемкой водой. Они слабо водо- и воздухопроницаемы, плохо впитывают атмосферные осадки. Значительная часть почвенной влаги и элементов питания

тяжелых почв не доступны растениям. В периоды сезонного переувлажнения содержат недостаточное количество воздуха, в связи с чем в них развиваются глеевые процессы.

Таким образом, как легкие (песчаные и супесчаные), так и слишком тяжелые (тяжелосуглинистые и глинистые) почвы с точки зрения плодородия значительно уступают легко- и среднесуглинистым, которые обладают наиболее благоприятными водно-воздушными свойствами и являются лучшими для роста большинства культурных растений.

Структурность. Плотность почвы, ее физические свойства, водный, воздушный, тепловой и пищевой режим во многом зависят от структурности. Бесструктурная почва не может обеспечивать растения одновременно водой и воздухом, т.к. тонкие поры её заполнены либо водой, либо воздухом в зависимости от влажного или сухого периода года. В структурных же почвах в тонких капиллярных порах удерживается вода, а в крупных некапиллярных находится воздух, происходит газообмен почвы с атмосферой, что приводит к удалению из почвы избытка углекислоты и снабжению корней растений и микроорганизмов кислородом.

Структурность почв обеспечивает одновременное существование аэробных и анаэробных микроорганизмов. При этом на поверхности агрегатов активно идут аэробные процессы, в результате которых происходит мобилизация элементов питания и повышается их доступность растениям.

Тепловые свойства почвы. Способность почвы поглощать и отражать лучистую энергию солнца, проводить и удерживать тепло во многом непосредственно определяет рост и развитие растений, а также биологические процессы, с которыми связано плодородие почвы. При низких температурах почвы тормозятся микробиологические процессы, а с повышением температуры усиливается микробиологическая активность почв, что существенно влияет на пищевой режим почв.

Органическое вещество почвы является основным источником элементов питания растений. В органическом веществе содержится основная часть запасов азота, около 80%

серы, около 60% фосфора, присутствующих в почве. Элементы питания, связанные с органическим веществом, не вымываются из почвы и могут постепенно использоваться растениями.

Органическое вещество почвы является источником энергии для микроорганизмов, мобилизующих элементы питания из растительных остатков и минеральной части почвы. Установлено, что некоторые органические вещества почвы могут непосредственно усваиваться растениями и содержат стимуляторы роста растений.

С количеством и качественным составом гумуса связано образование водопрочной структуры и формирование благоприятных для растений водно-физических и технологических свойств почвы.

Биологическая активность почвы определяется численностью, составом и активностью почвенных микроорганизмов и почвенной фауны, активностью ферментов, непосредственно участвующих в процессах трансформации элементов питания растений из недоступных форм в легкоусвояемые.

С биологической активностью почвы связано образование микробных продуктов, стимулирующих рост растений, или, наоборот, оказывающих токсические действия. Продукты жизнедеятельности микроорганизмов и отмирающие популяции микробов, масса которых может достигать 6 т/га, играют важную роль в процессах гумусообразования. Биомасса отмирающих микроорганизмов содержит около 12% азота, 3% фосфора и 2,2% калия. При ее разложении около 1/3 азота используется микроорганизмами, а 2/3 – растениями.

Биологическая активность почвы определяет фиксацию атмосферного азота и образование углекислоты, участвующей в процессе фотосинтеза растений.

Поглотительная способность почвы обуславливает ряд жизненно важных для растений свойств почвы: пищевой режим, химические и физические свойства. Благодаря ей, элементы питания удерживаются почвой и меньше вымываются осадками,

оставаясь в то же время легкодоступными для растений. Важную роль при этом играет емкость поглощения почвы.

От состава поглощенных катионов зависят реакция почвы, ее дисперсность, способность к агрегированию и устойчивость поглощающего комплекса к разрушающему действию воды в процессе почвообразования. Поглощенный водород, алюминий и особенно натрий способствуют разрушению ППК, снижают способность почвы удерживать и закреплять гумусовые вещества. Насыщенность ППК кальцием, наоборот, обеспечивает для растений благоприятную, близкую к нейтральной, реакцию почвы, предохраняет ее поглощающий комплекс от разрушения, способствует агрегированию почвы и закреплению в ней гумуса. Поэтому кальций называют «стражем плодородия почвы».

Таким образом, плодородие определяется целым комплексом почвенных свойств и сложным их взаимодействием и взаимовлиянием.

20.4. Факторы, лимитирующие почвенное плодородие, и приемы их устранения

Почва обладает свойствами, как благоприятными для роста и развития растений, так и свойствами, лимитирующими (ограничивающими) почвенное плодородие. Для устранения отрицательных свойств почвы или снижения их воздействия на растения применяются различные мелиоративные приемы, основные из которых представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Приемы устранения лимитирующих почвенное плодородие факторов

Лимитирующий фактор	Мелиоративный прием
Избыточная кислотность	Известкование
Избыточная щелочность	Гипсование, кислотование, внесение физиологически кислых удобрений
Избыток солей	Промывка (поверхностная, сквозная) почв на фоне

	дренажа сбросных и почвенно-грунтовых вод. При небольшом количестве солей в почве – запашка, вымывание солей
Высокая глинистость	Пескование, оструктуривание, глубокое рыхление
Высокая плотность	Оструктуривание, рыхление, травосеяние
Недостаток тепла	Тепловые мелиорации: мульчирование поверхности, снегонакопление, устройство лесополос, пленочные укрытия, выращивание культур в теплицах с использованием электричества, газа или биотоплива для обогрева
Недостаток воды	Орошение, агротехнические приемы накопления воды в почве (например, чистый пар) и защиты от испарения
Недостаток минерального питания	Внесение минеральных и органических удобрений
Избыток воды – заболоченность	Осушительный дренаж (открытый, закрытый), гребневание, грядование, профилирование поверхности, кротование, щелевание и др.
Недостаток аэрации	Дренаж, оструктуривание, щелевание
Пестрота микрорельефа	Планировка поверхности
Большой уклон поверхности	Террасирование, контурно-полосная обработка почвы, полосное земледелие (чередование полей, занятых полевыми культурами, с полями многолетних трав, защищающих почву от водной эрозии)
Малый корнеобитаемый слой, ограниченный внутрипочвенными прослоями	Постепенное углубление пахотного горизонта путем плантажной вспашки, глубокого рыхления, взрывных мелиораций
Химический токсикоз	Химические и агротехнологические мелиорации
Биологический токсикоз	Агротехнологические и биологические мелиорации, севооборот, парование

Часто почвы обладают не одним каким-то лимитирующим фактором, а целым их комплексом (например, солонцы-солончаки, обладающие высокой щелочностью, содержанием солей и крайне неблагоприятными физическими свойствами). В

этих случаях необходимо применять комплексную мелиорацию почв.

20.5. Требования основных сельскохозяйственных культур к почвенным условиям

Культурные растения предъявляют неодинаковые требования к почвенным условиям – содержанию тех или иных элементов питания, запасам воды, реакции почвенного раствора, плотности и т.д. При отклонении от оптимальных уровней почвенных показателей отмечается снижение урожайности сельскохозяйственных растений. С целью обеспечения высокой продуктивности растений и рационального использования почв необходимо знать требования конкретных культур к почвенным условиям, основные из которых приводятся ниже.

Озимая пшеница – одна из основных зерновых культур, предъявляющих высокие требования к почвенным условиям, особенно к элементам питания. В лесостепной и степной зонах для нее предпочтительны высоко и глубокогумусированные оструктуренные серые лесные почвы, черноземы, каштановые почвы с реакцией среды, близкой к нейтральной; в таежно-лесной зоне – дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные и дерново-подзолистые окультуренные легко- и среднесуглинистые почвы. Озимая пшеница характеризуется высокой чувствительностью к переувлажнению почвы, кислой реакции, повышенному содержанию подвижного алюминия (более 8–10 мг/100 г почвы) и марганца. Неблагоприятными для нее являются почвы песчаного и супесчаного гранулометрического состава. Пшеница является относительно устойчивой к засолению и солонцеватости почв. Для нее пригодны осушенные торфяно-болотные почвы, отличающиеся высокими запасами элементов питания.

Ячмень является менее требовательной культурой, по сравнению с пшеницей, но более требовательной, чем овес и рожь. Наилучшими для этой культуры являются средне- и тяжелосуглинистые почвы, неблагоприятными – песчаные.

Ячмень относительно засухо- и солеустойчив, чувствителен к переувлажнению, повышенной кислотности и переуплотнению почвы. В таежно-лесной зоне лучшими почвами являются дерново-карбонатные и дерново-глеевые, малопригодными – песчаные и супесчаные почвы на песках.

Рожь по сравнению с пшеницей и ячменем менее требовательная к почвенным условиям. Культура хорошо развивается при рН от 5,0 до 8,6, слабочувствительна к переувлажнению. В таежно-лесной зоне наиболее благоприятными почвами являются дерново-подзолистые почвы супесчаного, легко- и среднесуглинистого гранулометрического составов, мелиорированные дерново-глеевые и торфяно-болотные; в степной зоне – глубокогумусированные оструктуренные черноземы всех подтипов.

Овес – наименее требовательная к почвенным условиям культура среди зерновых. Характеризуется средней солеустойчивостью, слабо реагирует на кислотность, нуждается в хорошем увлажнении, не боится переувлажнения почв во второй период вегетации. Овес выращивается преимущественно в таежно-лесной зоне, где наиболее благоприятными являются дерново-карбонатные почвы выщелоченного и оподзоленного подтипов, дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные, осушенные торфяно-болотные и дерново-глеевые почвы, малопригодными – песчаные.

Картофель требователен к условиям аэрации и влажности, в связи с чем для него предпочтительны легкосуглинистые и связносупесчаные почвы или хорошо оструктуренные тяжелосуглинистые почвы рыхлого сложения. Культура устойчива к подкислению почв (оптимальная величина рН 5–7), чувствительна к подщелачиванию, солонцеватости и засолению, не выносит затопления и переувлажнения. Более высокие урожаи в таежно-лесной зоне получают на осушенных низинных торфяниках, окультуренных дерново-подзолистых почвах легко-, среднесуглинистого и супесчаного состав, неблагоприятны песчаные, тяжелосуглинистые и глинистые почвы.

Кукуруза довольно требовательна к увлажнению почвы, элементам питания, неустойчива к переувлажнению, засолению, солонцеватости, чувствительна к сильнокислой реакции среды. Предпочтителен суглинистый гранулометрический состав и при хорошей оструктуренности глинистый, нежелательны песчаный и супесчаный. Более высокие урожаи кукуруза дает на хорошо и глубокогумусированных черноземах, луговых, лугово-черноземных и каштановых почвах. В условиях таежно-лесной зоны эту культуру лучше возделывать на хорошо окультуренных легко- и среднесуглинистых почвах.

Сахарная свекла предъявляет повышенные требования к почвенному плодородию. Более высокие урожаи получают на высоко- и глубокогумусированных рыхлых почвах. Предпочтительны почвы среднесуглинистые, неблагоприятны песчаные, супесчаные и слитые почвы. Оптимальная величина рН составляет 6–8 единиц, рН<6 неблагоприятна. Сахарная свекла хорошо переносит слабое засоление, устойчива к солонцеватости, но не выносит переувлажнения.

Гречиха – не очень требовательная к плодородию почв культура, способная усваивать элементы питания из труднорастворимых соединений почвы. Чувствительна к заболачиванию, засолению, карбонатности, слитости, солонцеватости. Предпочитает почвы легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава, малопригодны тяжелые почвы.

Лен требователен к условиям водного и питательного режимов, плохо переносит избыточное увлажнение. Оптимальная величина рН 5,9–6,5. Наиболее благоприятны легко- и среднесуглинистые почвы. Возделывается преимущественно в таежно-лесной зоне, где лучшими почвами являются дерново-подзолистые.

Овощные культуры высокотребовательны к водному и питательному режимам. Наиболее благоприятны почвы с развитым гумусовым горизонтом, близкой к нейтральной реакцией среды, большим количеством доступных форм элементов питания. Лучшими являются луговые, лугово-

черноземные, окультуренные дерново-подзолистые почвы, аллювиальные, дерново-карбонатные выщелоченные и оподзоленные, серые лесные, осушенные торфяно-болотные и дерново-глеевые почвы.

Кормовые корнеплоды требовательны к почвенному плодородию, выносят с урожаем большое количество азота, калия, кальция. Предпочитают хорошо гумусированные черноземные, окультуренные слабокислые легко- и среднесуглинистые дерново-подзолистые почвы, аллювиальные луговые и дерново-глеевые.

Плодовые культуры имеют глубоко проникающую корневую систему, в связи с чем важными являются свойства не только верхнего горизонта, но и глубоких слоев почвы. Почвы должны быть мощными, плодородными, хорошо водопроницаемыми с хорошей аэрацией. Более благоприятны супесчаные и легкосуглинистые почвы с плотностью сложения в верхней полуметровой толще не более 1,50-1,55 г/см³. Непригодны оглеенные почвы с близким залеганием грунтовых вод (1,5–2,0 м) и засоленные. Из плодово-ягодных культур более требовательными являются семечковые, менее – кустарниковые и ягодные культуры.

20.6. Воспроизводство почвенного плодородия

К почвенному плодородию относится понятие «воспроизводство плодородия». Поскольку плодородие почв тесно связано с изменяющимися во времени процессами почвообразования, наблюдаются количественные и качественные изменения и условий и факторов плодородия почв. Эти изменения могут сопровождаться как повышением плодородия, так и снижением его, или приводить к исходному уровню. Таким образом, за вегетационный период, годичный или многолетний цикл изменение плодородия может проявляться в виде неполного, простого или расширенного воспроизводства.

Неполное воспроизводство характеризуется формированием

плодородия почвы ниже первоначального уровня в результате ухудшения свойств почв, влияющих на её плодородие, при этом снижается способность почвы обеспечивать растения факторами, необходимыми для их роста и развития в многолетнем цикле. *Простое воспроизводство* характеризуется отсутствием заметных изменений в совокупности свойств почвы, влияющих на её плодородие, т.е. почва возвращается на исходный уровень плодородия. *Расширенное воспроизводство плодородия* – это улучшение совокупности свойств почвы, повышение способности ее обеспечивать растения факторами, необходимыми для роста и развития, т.е. создается плодородие более высокого уровня, чем исходный. Тип воспроизводства определяется развитием конкретных почвообразовательных процессов и их сочетанием. При земледельческом использовании почв воспроизводство плодородия во многом связано с агротехническими, мелиоративными и другими приемами воздействия человека на почву. В связи с этим *воспроизводство плодородия* – это совокупность природных почвенных процессов или система целенаправленных мелиоративных и агротехнических воздействий для поддержания почвенного плодородия на уровне, приближающемся к потенциальному плодородию.

В результате воздействия естественных и антропогенных факторов развивается *культурный (антропогенный) почвообразовательный процесс*. Специфичность его связана с заменой естественной растительности культурными агроценозами и появлением новых факторов, не свойственных природному процессу. К последним относятся: обработка почвы, применение удобрений и других средств химизации, мелиоративные приемы (осушение, орошение) и др. Развитие культурного почвообразовательного процесса сопровождается изменением характера и интенсивности биологического круговорота, процессов обмена веществом и энергией между почвой и другими природными телами и явлениями. Особенно значимым является отчуждение части элементов питания вместе с созданным растениями урожаем. Разумная и целенаправленная

деятельность человека способствует улучшению свойств почв и повышению их плодородия, в противном случае наблюдается деградация почв, связанная с развитием эрозии, вторичным засолением, потерей гумуса, разрушением структуры и т.д.

Процесс преобразования природных почв в культурные, в которых свойства и режимы соответствуют требованиям культурных растений, называется процессом окультуривания. Развитие этого процесса предполагает обязательное повышение почвенного плодородия.

Человек, обладая знаниями закономерностей развития почвы и её плодородия, обладает возможностями осуществления расширенного воспроизводства плодородия. Человек может повысить продуктивность почвы путем увеличения количества элементов питания и влаги (причем в большем количестве, чем изъято с урожаем), может регулировать свойства и режимы почвы с целью создания более высокого уровня плодородия.

В условиях интенсивного земледелия воспроизводство плодородия осуществляется двумя путями: вещественным и технологическим. *Вещественный путь воспроизводства* плодородия включает внесение удобрений, мелиорантов, пестицидов, севооборот (рациональное чередование культур). *Технологический путь воспроизводства* плодородия связан с улучшением свойств почвы путем механической обработки, применения мелиоративных мероприятий.

Таким образом, человек, используя рациональные приемы регулирования свойств и режимов почв, обладает большими возможностями в деле сохранения и расширенного воспроизводства почвенного плодородия.

20.7. Модели почвенного плодородия

Получение высоких и устойчивых урожаев возможно только в условиях оптимального сочетания агрономически значимых свойств и режимов почвы, отвечающих определенному уровню продуктивности растений. С этой целью необходимо создание моделей почвенного плодородия, характеризующихся

оптимальными параметрами свойств почв. Согласно Т.Н. Кулаковской, *оптимальные параметры свойств почв* – это такое сочетание количественных свойств (и режимов) почв, при котором могут быть максимально использованы все жизненно важные для растений факторы, наиболее полно реализованы потенциальные возможности выращиваемых культур и обеспечен наивысший урожай при его хорошем качестве.

Модели почвенного плодородия должны разрабатываться с учетом требований растений к свойствам почв, поскольку для разных растений они неодинаковы, а также с учетом свойств и режимов конкретных почв, их фациальных особенностей, структуры почвенного покрова, т.к. для каждого типа, подтипа, рода, вида, разновидности почв урожайность сельскохозяйственных культур будет различна.

С целью разработки моделей почвенного плодородия необходимо установить оптимальные параметры следующих показателей свойств почв и их режимов:

1) показатели гумусного состояния почв (содержание и состав гумуса, его запасы, мощность гумусового слоя);

2) параметры, характеризующие питательный режим (содержание доступных форм элементов питания растений);

3) показатели оптимальных физических свойств (плотность, агрегированность, наименьшая влагоемкость, водопроницаемость, аэрация);

4) показатели, характеризующие строение почвенного профиля (мощность пахотного слоя, гумусового слоя и др.);

5) показатели физико-химических свойств (реакция среды, емкость катионного обмена, состав ППК, степень насыщенности основаниями).

Кроме перечисленных выше свойств устанавливают оптимальные зональные показатели, определяющие уровень почвенного плодородия отдельных типов почв (например, наличие токсичных подвижных форм алюминия и марганца для почв таежно-лесной зоны; содержание, состав и глубину залегания солей в почвах аридных и семиаридных зон и др.).

В целом оптимальные показатели практически всех свойств

почв зависят от того, насколько оптимальны параметры гранулометрического состава и гумусного состояния, поскольку именно эти фундаментальные с агрономической точки зрения характеристики почвы влияют на все важнейшие их свойства и режимы.

Пример модели плодородия показан в таблице 18, где представлены оптимальные параметры основных показателей свойств и режимов дерново-подзолистых легкосуглинистых почв, обеспечивающих продуктивность зерновых культур на уровне 45–50 ц/га (автор – Т.Н. Кулаковская).

Таблица 18 – Интегральная модель оптимальных свойств дерново-подзолистых легкосуглинистых почв

Показатели, характеризующие состояние плодородия	Оптимальные значения параметров	Приемы, обеспечивающие достижение оптимальных свойств почв
Технологические свойства		
Контурность	Топографический контур поля не менее 15–20 га	Мелиоративное и культурно-техническое воздействие
Эродированность	Отсутствует или слабо выражена	Соответствующие способы сева, обработка почвы, травопольные севообороты
Завалуенность	Отсутствует или менее 10 м ³ /га	Культуртехнические работы (уборка камней)
Морфологические признаки		
Мощность и характеристика верхних слоев почвы	Пахотный горизонт 25–30 см, темно-серый, подзолистый отсутствует	Органические удобрения, углубление пахотного слоя с известкованием
Водно-воздушный режим	Коэффициент использования годовых осадков 0,6–0,7; запас продуктивной влаги в слое 0–50 см к началу вегетации 130–150 мм. Плотность почвы 1,1–1,2 г/см ³ ; общая порозность	Органические удобрения, рациональная обработка почвы (своевременное сохранение и накопление влаги); снижение деформирующего воздействия (уплотнения)

	50–55%; воздухоёмкость 25–30%	сельскохозяйственных машин
Биологические свойства	Высокая активность почвенных ферментов: инвертазы (более 1 мг глюкозы), полифенолоксидазы (более 3 мг пурпургалина); низкая активность пероксидазы, высокая нитрификационная способность	Органические и минеральные удобрения; известкование; обработка почвы, обуславливающая благоприятный водно-воздушный режим
Структурность	Хорошо выражена: содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм – 70–80%	Органические удобрения, известкование, наличие в севообороте многолетних трав
Агрохимические показатели		
Гумус	2,0–2,5%; запас 60–70 т/га; соотношение Сгк:Сфк = 1,1–1,2	Органические удобрения (10–14 т/га), многолетние травы в севообороте (12–20%)
Азот	Доступные формы азота ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$): содержание 3,0–4,5 мг/100 г, запасы – 100–120 кг/га	Органические удобрения (10–14 т/га), минеральные азотные удобрения – 90–100 кг/га, бобовые культуры
Подвижные фосфаты	Содержание – 25–30 мг/100 г (по Кирсанову); запасы – 600–700 кг/га	Органические и минеральные удобрения (фосфорные – 40–45 кг/га P_2O_5 для смещения содержания элемента на 1 мг в 100 г почвы)
Обменный калий	Содержание – 25–30 мг/100 г; запасы – 500–550 кг/га	Органические, минеральные удобрения (калийные – 60–70 кг/га для смещения содержания элемента на 1 мг в 100 г почвы)
Содержание микроэлементов, мг на 1 г почвы	Медь – 3–4; кобальт – 0,8–1,2; молибден – 0,2–0,4; бор – 0,5–0,6; цинк – 6–7	Органические и микроэлементы
Подвижный магний	Содержание 10–12 мг/100	Доломитизированные

	г почвы; запасы – 200–250 кг/га	известняки
Реакция почвенного раствора	pH _{KCl} 6,0–6,5; рН _{H2O} 6,5–7,0; подвижный алюминий отсутствует; гидролитическая кислотность 1,5–2,0 мг-экв/100 г.	Известкование один раз в 4–5 лет
Состояние ППК	Сумма обменных оснований 8–12 мг-экв/100 г; степень насыщенности основаниями 80–90%; соотношение поглощенных ионов Ca ²⁺ и K ⁺ 15–17	Известкование

При использовании таких моделей необходимо помнить о нелинейном характере связей между свойствами и режимами почв, зависимость между входными и выходными данными имеет сложную зависимость и сложный временной ход. Для почв характерны постепенные переходы от одного состояния на новые системные уровни.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «плодородие почв».
2. Какие показатели составляют агрономическую характеристику почв?
3. В чем заключается сущность экономической и биологической оценки плодородия почв?
4. Назовите и охарактеризуйте категории почвенного плодородия.
5. Какие свойства почв в первую очередь определяют их плодородие?
6. Приведите примеры проявления плодородия как результата сложного взаимодействия состава, свойств и режимов почв.
7. Назовите факторы, лимитирующие почвенное плодородие. Какими приемами можно устранить их или ослабить негативное влияние?
8. Какие требования к почвенным условиям предъявляют основные виды сельскохозяйственных культур?
9. Охарактеризуйте особенности воспроизводства почвенного плодородия.
10. В чем заключается специфичность культурного (антропогенного) почвообразовательного процесса?
11. Каковы оптимальные параметры почв с точки зрения их плодородия. Приведите пример модели почвенного плодородия.

Глоссарий

Абразия – растворение и механическое разрушение ударами волн и течениями коренных и рыхлых пород морских берегов.

Абсолютный возраст почв – время, прошедшее от начала формирования почвы до настоящего времени.

Автоморфные почвы – почвы, формирующиеся на ровных поверхностях и склонах в условиях свободного стока поверхностных вод при глубоком уровне грунтовых вод (глубже 6 метров), не оказывающих влияние на почвообразовательные процессы.

Агрегаты почвенные – совокупность механических элементов или элементарных почвенных частиц, взаимно удерживающихся в силу коагуляции коллоидов, склеивания, слипания их в результате сил Ван-дер-Ваальса, остаточных валентностей и водородных связей, адсорбционных и капиллярных явлений в жидкой фазе, а также с помощью корневых тяжей, гифов грибов и слизи микроорганизмов.

Агрономические руды – горные породы и минералы, используемые в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений или сырья для их производства (например, известковые, гипсовые, фосфорные, калийные и др.).

Актуальная кислотность – кислотность почвенного раствора, обусловленная наличием водородных ионов (протонов). Измеряется величиной pH водной вытяжки.

Актуальная щелочность – обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), при диссоциации которых образуется в значительных количествах гидроксильный ион.

Аллелопатия – химическое ингибирующее взаимовлияние растений и почвенных микроорганизмов в результате выделения ими физиологически активных органических соединений или появляющихся в процессе гниения их остатков.

Аллитная кора выветривания – распространена в субтропических областях. Характеризуется высоким содержанием в породах валового алюминия (Al_2O_3 до 35%) при

пониженном (до 50%) количестве SiO_2 . Отличается от сиаалитной и более высоким (в 2–3 раза) содержанием валового железа (Fe_2O_3 12–15%), в составе глинных минералов доминируют каолинит и галлуазит.

Аллохтонные воды – см. Грунтовые воды.

Аллювиальные отложения – осадочные обломочные породы, пересортированные и переотложенные речными водными потоками.

Альbedo – доля коротковолновой солнечной радиации, отражаемая поверхностью почвы, выраженная в процентах от общей солнечной радиации.

Антропоморфы – включения в почве в виде обломков кирпича, осколков стекла или фарфора, черепков, остатков захоронений, построек, металлических предметы и пр., связанных с деятельностью человека.

Атмосфера – сплошная газообразная оболочка Земли, окружающая планету до высоты 3 тыс. км, и состоящая из смеси газов и пылевидных частиц.

Аэрация (газообмен или воздухообмен) почвы – процессы обмена газами между воздухом и атмосферой.

Биологическое выветривание – механическое разрушение и химическое изменение горных пород и минералов под действием организмов и продуктов их жизнедеятельности.

Биоморфы – включения в почве биологического происхождения. Представлены фитолитами (фитолитариями); зоолитами; костями животных, естественно захороненными в почве; раковинами моллюсков; захороненными остатками корней, стеблей, стволов растений; окремнелыми, обызвесткованными, загипсованными или ожелезненными остатками растений – окаменелостями.

Биосфера – оболочка Земли, состав, структура и свойства которой определяются деятельностью живых организмов.

Бонитировка почв – экономическая количественная оценка плодородия, основанная на относительной его оценке в баллах по количественным показателям свойств почвы, коррелирующих с урожайностью культурных растений.

Буферная способность, или *буферность почвы* – способность почвы противостоять изменению ее актуальной реакции под воздействием различных факторов.

Верховодка – временные почвенно-грунтовые воды, скапливающиеся на небольшой глубине в горизонтах почвенного профиля на местном водоупоре.

Ветер – движение воздушных масс в горизонтальном направлении, происходящее вследствие разности атмосферного давления, возникающей при неравномерном нагревании воздуха.

Включения в почве – случайные органические или минеральные тела или предметы, генетически не связанные с почвенными процессами.

Влагоемкость – способность почвы поглощать и удерживать определенное количество воды.

Водный баланс почв – количественная характеристика водного режима, определяемая количеством влаги, поступившей в почву за определенный период, и величиной расхода её за тот же период.

Водный режим почв – совокупность всех явлений, связанных с поступлением влаги в почву, ее передвижением, расходом и изменением состояния.

Водоподъемная способность – свойство почвы вызывать восходящее передвижение содержащейся в ней воды за счет капиллярных сил.

Водопроницаемость почв – способность почв и грунтов впитывать и пропускать через себя воду, поступающую с поверхности.

Водопрочность агрегатов – способность агрегатов противостоять разрушающему действию воды.

Водоудерживающая способность – способность почвы удерживать содержащуюся в ней воду от стекания под влиянием силы тяжести.

Воздухопроницаемость (газопроницаемость) – способность почвы пропускать через себя воздух.

Воздухосодержание – количество воздуха, которое содержится в почве при определенном уровне естественного увлажнения.

Воздушный режим почв – совокупность всех явлений поступления воздуха в почву, его передвижения и расхода, обмена газами между почвенным воздухом, твердой и жидкой фазами, потребления и выделения газов населяющими почву живыми организмами.

Воспроизводство плодородия – совокупность природных почвенных процессов или система целенаправленных мелиоративных и агротехнических воздействий для поддержания почвенного плодородия на уровне, приближающемся к потенциальному плодородию.

Вторичные минералы – минералы, образующиеся в процессе выветривания под воздействием воды, кислорода воздуха, диоксида углерода и живых организмов первичных минералов, оказавшихся на земной поверхности в результате тектонических движений земной коры.

Вторичные минералы – минералы, представляющие собой продукты трансформации первичных минералов или новообразованы в ходе выветривания и почвообразования.

Вулкан – круглое или в виде трещины выводное отверстие, через которое периодически из недр на поверхность извергаются горючие газы, пары, обломки горных пород, лавы.

Вулканические процессы – процессы минералообразования, происходящие при выбросе магмы на поверхность земной коры при ее прорыве, т.е. при извержении вулкана.

Выветривание – совокупность сложных и разнообразных процессов количественного и качественного изменения горных пород и слагающих их минералов под воздействием атмосферы, гидросферы и биосферы.

Газовая фаза почвы – представлена воздухом, заполняющим свободные от воды почвенные поры.

Газопроницаемость – см. воздухопроницаемость.

Генетические почвенные горизонты – формируются в процессе почвообразования и представляют собой однородные,

обычно параллельные земной поверхности слои почвы, составляющие почвенный профиль и различающиеся между собой по морфологическим признакам, составу и свойствам.

Геология – наука о Земле, ее строении, происхождении и развитии.

Геология полезных ископаемых – раздел геологии, изучающий условия образования и закономерности распространения месторождений полезных ископаемых.

Геоморфология – наука о формах земной поверхности, причинах и законах ее развития.

Геотектоника – раздел геологии, изучающий главным образом процессы, движущим фактором которых являются внутренние силы Земли (вулканизм, землетрясения, горообразование).

Геофизика – наука о физических свойствах Земли и веществ, из которых она состоит.

Геохимия – наука о химическом составе Земли (литосферы, гидросферы, атмосферы, мантии, ядра), закономерностях распределения химических элементов и их миграции.

Гигроскопичность почв – свойство почв sorбировать парообразную воду.

Гидратация минералов – химический процесс присоединения воды к частицам минералов.

Гидрогеология – наука о подземных водах, их качестве, распространении и передвижении.

Гидролиз минералов – основная химическая реакция воды с минералами магматических пород, приводящая к замене катионов щелочных и щелочноземельных элементов кристаллической решетки на ионы водорода диссоциированных молекул воды.

Гидроморфные почвы – почвы, приуроченные к депрессиям и формирующиеся в условиях длительного застоя поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине менее 3 метров (в этом случае капиллярная кайма может достигать поверхности почвы), что приводит к развитию восстановительных процессов, в частности глеевого,

образованию торфа.

Гидросфера – это прерывистая водная оболочка Земли, располагающаяся между атмосферой и литосферой.

Гидротермальные процессы – представляют собой процессы выпадения минералов из горячих водных растворов магматических очагов в результате их остывания.

Горообразовательные (орогенические) движения земной коры – складчатые движения и разломы, приводящие к образованию гор.

Гранулометрический состав почвы – массовое соотношение (относительное содержание в процентах) в ее составе твердых частиц (механических элементов) разной крупности, выделяемых в пределах непрерывного ряда определенных условных групп крупности (гранулометрических фракций).

Грунтовые воды (аллохтонные) – первый от поверхности земли постоянный водоносный горизонт, залегающий на водоупорном слое.

Гумин (негидролизуемый остаток) – совокупность гуминовых и фульвокислот, прочно связанных с минеральной частью почвы.

Гуминовые кислоты (ГК) – высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты, хорошо растворимые в щелочах, слабо растворимые в воде и нерастворимые в кислотах. Имеют темно-бурый, темно-коричневый или черный цвет.

Гумификация – сложный процесс трансформации промежуточных продуктов разложения органических остатков в специфические сложные высокомолекулярные органические вещества – гумусовые кислоты.

Гумус почв – сложная система высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений специфической кислотной природы, все составные части которой (гуминовые кислоты, фульвокислоты, негидролизуемый остаток (гумин)) находятся в тесном взаимодействии друг с другом и с минеральной частью почвы.

Гумусное состояние почв – совокупность различных форм,

химического состава и процессов трансформации и миграции органического вещества в генетическом профиле почв. Оценивается показателями, характеризующими содержание и распределение по профилю гумуса, его качественный состав, запасы, обогащенность азотом, тип гумуса, степень гумификации органического вещества и др.

Гумусообразование – процесс образования гумуса как системы взаимосвязанных между собой и с минеральной частью почвы специфических сложных высокомолекулярных веществ (гумусовых кислот).

Движущаяся морена – переносимый ледниками обломочный материал.

Декарбонизация – процесс выноса (выщелачивания) карбонатов под действием увеличивающейся концентрации CO_2 в почвенном воздухе и в почвенном растворе.

Делювий – продукты выветривания горных пород и минералов, переносимые вниз по склону дождевыми или тальными водами и отлагаемые в его нижней части в виде пологого шлейфа.

Дендриты – новообразования биологического происхождения, представляющие собой «узоры» от перегнивания мелких корешков на поверхности структурных отдельностей.

Динамическая геология – наука о процессах, протекающих внутри Земли и на ее поверхности (деятельности поверхностных текучих вод, рек, ветра, озер, болот, морей, подземных вод, ледников, вечной мерзлоты).

Емкость поглощения (емкость катионного обмена (ЕКО)) – общее количество всех поглощенных (обменных) катионов, которые могут быть вытеснены из почвы.

Естественное (природное) плодородие – плодородие, которым обладает почва в природном состоянии без вмешательства человека. Оно определяется свойствами и режимами почв, обусловленными развитием природного почвообразовательного процесса, не нарушенного влиянием человека.

Живая фаза почвы – представлена населяющими ее организмами, принимающими непосредственное участие в процессе почвообразования.

Жидкая фаза почвы – представлена водой, почвенным раствором и является динамичной по объему и составу.

Землетрясения – это подземные толчки и сотрясения земной коры, возникающие в результате внезапных разрывов и смещений в земной коре и мантии, связанных с освобождением потенциальной энергии земных недр.

Зольные элементы – элементы, которые остаются в золе после сжигания органических остатков растений (кремний, алюминий, железо, марганец, кальций, магний, калий, фосфор, сера, натрий и др.). Углерод, водород, кислород и азот не входят в состав золы, т.к. улетучиваются при сухом озолении.

Интрузивные породы – см. магматические породы.

Искусственное плодородие – это плодородие, которым обладает почва в результате воздействия на нее целенаправленной человеческой деятельности (распашка, периодическая механическая обработка, мелиорации, применение удобрений и т.д.).

Историческая геология – наука о геологической истории Земли, главным образом ее наружной твердой оболочки.

Капиллярная влагоемкость (КВ) – это наибольшее количество капиллярно-подпертой воды, которое может удерживаться в слое почвы, находящемся в пределах капиллярной каймы.

Кислые породы – магматические горные породы, пересыщенные кремнекислотой (65–70%), т.е. содержащие ее в избытке, который выделяется в виде минерала кварца (гранит, диорит и др.) или остается растворенным в аморфной основной массе – вулканическом стекле (обсидиан, смоляной камень и др.).

Климат – это статистический многолетний режим погоды, является одной из основных характеристик той или иной местности, главным количественным показателем состояния атмосферы.

Коагуляция коллоидов – процесс перехода коллоида из состояния золя (коллоидного раствора) в состояние геля (коллоидного осадка).

Когезия – явление слипания однородных по своей химической природе частиц за счет непосредственного взаимодействия их поверхностей, что обусловлено энергией поверхностного натяжения при дегидратации.

Колебательные движения земной коры, или эпейрогенез – это очень медленные вертикальные перемещения земной коры, свойственные платформам.

Консервация органического вещества – накопление органических остатков на стадии полуразложения в форме торфа при определенных условиях (при избытке воды, низких температурах, неблагоприятном составе опада).

Копролиты – новообразования биологического происхождения в виде зернистых клубочков экскрементов червей, представляющих собой кусочки земли, прошедшие через пищеварительный аппарат червей и пропитанные их выделениями.

Кора выветривания – слои горных пород, в которых протекают процессы выветривания.

Корневины – новообразования биологического происхождения, представляющие собой полости, образующиеся после перегнивания крупных корней растений.

Корразия – механическое разрушение горной породы под действием ударов мелких переносимых ветром песчинок.

Коэффициент увлажнения – отношение суммы выпавших осадков (в миллиметрах) к испаряемости (в миллиметрах) за тот же период.

Криоморфы – включения в почве в виде различных форм льда (конкреции, линзы, прожилки, прослой). Связаны с сезонным или многолетним промерзанием почвы.

Кристаллография – наука о кристаллической форме минералов.

Кротовины – новообразования биологического происхождения в виде пустых или заполненных ходов роющих животных (сусликов, сурков, кротов).

Ледник – это масса льда определенной формы и значительных размеров, которая может передвигаться под действием силы тяжести и пластичных свойств льда.

Ледниковые (моренные) породы – продукты выветривания различных пород, перемещенные и отложенные ледниковыми массами (образованы на территориях, находившихся под воздействием твердых масс льда).

Лёсс – карбонатная, крупнопылеватая, пористая, суглинистая, буровато-желтая осадочная порода.

Литоморфы – включения в почве, представленные обломками камней, гальки, валунов, случайно рассеянными в почве и являющимися частью почвообразующей породы.

Литосфера (каменная оболочка Земли) – это внешняя твердая оболочка Земли, включающая земную кору и верхний твердый слой мантии, называемый субстратом.

Магматические породы – породы, образующиеся при застывании магмы внутри земли (интрузивные, глубинные) или на поверхности при излиянии магмы (эффузивные, излившиеся).

Магматические процессы – это процессы образования минералов при остывании основного минерального расплава магмы.

Макропроцессы (профилеобразующие) – совокупность мезо процессов, формирующих определенный тип почвы. Это процессы формирования почвенного профиля, т.е. процессы расчленения массы почвообразующей породы на серию генетических горизонтов под влиянием взаимодействующих элементарных почвообразовательных процессов.

Макрорельеф – самые крупные формы рельефа (равнины, плато, горные системы), возникновение которых связано с тектоническими явлениями в земной коре.

Максимальная адсорбционная влагоемкость (МAB) – наибольшее количество воды, которое может быть удержано сорбционными силами на поверхности почвенных частиц.

Соответствует прочносвязанной (адсорбированной) воде, содержащейся в почве.

Максимальная гигроскопическая вода – максимальное количество воды, которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха, близкой к 100%.

Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ) – характеризует верхний предел содержания в почвах рыхлосвязанной (пленочной) воды, т.е. воды, которая удерживается силами молекулярного притяжения на поверхности почвенных частиц.

Мантия – это мощная оболочка Земли, располагающаяся между земной корой и ядром и распространяющаяся на глубину до 2900 км.

Материнские породы – см. Почвообразующие породы.

Мезопроцессы – см. Элементарные почвообразовательные процессы.

Мезорельеф – формы рельефа средних размеров (увалы, холмы, лощины, долины рек, террасы), формирование которых связано с экзогенными геологическими процессами.

Мелкозем – сумма почвенных частиц размером менее 1 мм. В пределах фракции мелкозема выделяются фракции физической глины и физического песка.

Метаморфические горные породы – это вторичные породы, образующиеся из магматических и осадочных пород в недрах Земли в результате глубоких превращений под воздействием высоких температур и давления.

Метаморфические процессы – процессы, совершающиеся в зоне метаморфизма под воздействием высоких температур и давления, а также в новых химических условиях, что приводит к превращениям (метаморфизму) одних минералов в другие.

Метасоматические процессы минералообразования связаны с заменой катионов или анионов в ранее образованных минералах в результате воздействия на них растворов, содержащих различные химические соединения и элементы.

Микропроцессы – простейшие, т.е. самого низкого уровня,

физические, химические и биологические процессы, в своем взаимодействии и в зависимости от факторов и условий почвообразования составляющие жизнь почвы.

Микрорельеф – мелкие формы рельефа от нескольких квадратных дециметров до нескольких сотен квадратных метров с колебаниями относительных высот в пределах одного метра (бугорки, различные понижения, впадины), возникающие в результате просадочных явлений, мерзлотных деформаций и т.д.

Минерализация органического вещества – процесс разложения органических остатков до конечных продуктов (CO_2 , H_2O , минеральных солей и др.).

Минералогия – наука о минералах, т.е. о природных химических соединениях элементов, составляющих основу твердой оболочки Земли, их образовании, свойствах и процессах разрушения.

Минералы – природные химические соединения элементов, или самородные элементы, образовавшиеся в определенных условиях среды.

Морские породы – осадочные отложения морских водоемов, формирующиеся в результате поднятия и выхода на поверхность морского дна.

Морфологические признаки почвы – внешние признаки почвы, по которым можно отличить ее от горной породы, одну почву от другой, а также приблизительно судить о направлении и степени выраженности почвообразовательного процесса. Это строение почвенного профиля, мощность почвы и ее отдельных горизонтов, форма морфологических элементов, характер их границ, окраска, структура, гранулометрический состав, сложение, новообразования, включения, плотность, липкость, пластичность и др.

Морфология почв – раздел почвоведения, изучающий внешние признаки почв, которые называются морфологическими.

Морфоны – это внутригоризонтные морфологические элементы, морфологически обособленные участки (объемы) почвы, разделенные трещинами или затеками материала из

вышележащих горизонтов, или различные включения и новообразования.

Набухание почвы – это увеличение объема почвы или ее отдельных структурных элементов при увлажнении. Выражается в объемных процентах от исходного объема почвы.

Наименьшая влагоемкость (НВ) – это наибольшее количество капиллярно-подвешенной влаги, которое может удерживать почва после стекания избытка влаги при глубоком залегании грунтовых вод. Термину наименьшая влагоемкость соответствуют термины полевая влагоемкость (ПВ), общая влагоемкость (ОВ) и предельная полевая влагоемкость (ППВ).

Нанорельеф – небольшие формы рельефа, образованные деятельностью животных (термитники, муравейники, нарытые сусликами бугорки и др.) или связанные с растительностью (осоковые кочки и др.).

Негидролизующий остаток – см. Гумин.

Новообразования – это морфологически оформленные выделения и скопления вещества в почвенном материале, отличающиеся от вмещающего их почвенного материала по составу и сложению и являющиеся следствием почвообразовательного процесса.

Ноосфера – фера разума, высшая степень развития биосферы, когда деятельность человека становится важнейшим фактором ее развития.

Обменная кислотность – кислотность, обусловленная количеством ионов водорода и алюминия, находящихся в обменном состоянии в составе ППК, которые извлекаются из почвы раствором нейтральной соли (обычно используется 1н. KCl с рН около 6).

Общая влагоемкость – см. Наименьшая влагоемкость

Общая воздухоемкость почв – максимально возможное количество воздуха, выраженное в процентах по объему, которое содержится в воздушно-сухой почве ненарушенного строения при нормальных условиях.

Озерные отложения – осадочные породы, формирующиеся во впадинах рельефа (озерных депрессиях древнего

происхождения), отличающиеся слоистостью и имеющие обычно суглинистый и глинистый гранулометрический состав.

Озеро – водный бассейн, не соединяющийся с открытым морем.

Окисление минералов – химическая реакция присоединения кислорода с образованием новых химических соединений.

Осадочные (или экзогенные) горные породы – вторичные породы, образующиеся из продуктов разрушения магматических и метаморфических пород на поверхности Земли в результате их выветривания и переотложения минеральной массы ветром, морем, реками, ледниками, талыми и дождевыми водами, а также на дне водоемов.

Основные породы – магматические горные породы, относительно бедные кремнеземом (45–55%) и богатые магнием и кальцием. Основные породы могут быть как интрузивными (габбро, анортозиты и др.), так и эффузивными (базальты и др.).

Относительное плодородие – плодородие почвы в отношении к какой-либо определенной группе или виду растений.

Относительный возраст почв – характеризует скорость почвообразовательного процесса, быстроту смены одной стадии развития почвы другой, т.е. относительный возраст почв – это степень развития почвенного профиля.

Палеонтология – наука, изучающая по ископаемым остаткам животный и растительный мир прошлых геологических эпох, устанавливающая звенья эволюционного ряда.

Пегматитовые процессы – процессы кристаллизации минерального расплава и образование минералов (пегматитов) в последние моменты его остывания.

Пептизация коллоидов – процесс перехода коллоидов из состояния геля (коллоидного осадка) в состояние золя (коллоидного раствора), сопровождаемый увеличением степени дисперсности коллоидов. В результате разрушается ценная комковатая структура, ухудшаются физические свойства почвы.

Первичные минералы – минералы, образующиеся из компонентов магмы при ее застывании и переходящие в

мелкозем почв из разрушенных плотных изверженных, метаморфических или осадочных пород (кварц, полевые шпаты, амфиболы, пироксены, слюды и др.).

Петрография – наука о горных породах, их залегании в земной коре, условиях образования, минералогическом составе и физических свойствах.

Пластичность – способность почв менять свою форму (деформироваться) под воздействием внешних сил (без разрывов и трещин) и сохранять полученную форму после прекращения механического воздействия.

Плодородие почвы – способность почвы удовлетворять потребности растений в элементах питания и воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством тепла, воздуха и благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития.

Плотность почвы (или *плотность сложения*) – это масса единицы объема (1 см^3) абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении. Выражается в г/1 см^3 .

Плотность сложения – см. Плотность почвы.

Плотность твердой фазы почвы – отношение массы ее твердой фазы к массе воды в том же объеме при $+4^\circ\text{C}$. Выражается в г/см^3 .

Пневматолитовые процессы – процессы образования минералов, связанные с остыванием раскаленных газов магматических очагов.

Поглотительная способность почвы – свойство почвы обменно либо необменно поглощать различные твердые, жидкие и газообразные вещества или увеличивать их концентрацию у поверхности содержащихся в почве коллоидных частиц.

Подземные воды – воды, находящиеся в горных породах земной коры.

Покровные суглинки – осадочные породы, образовавшиеся на обширных территориях, затапливаемых спокойными потоками ледниковых вод, т.е. отложения, оставшиеся на месте тающих масс ледника.

Полевая влагоемкость – см. Наименьшая влагоемкость.

Полная влагоемкость (ПВ) (*полная водовместимость*) – наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения ею всех пор, за исключением пор с заземленным воздухом, численно соответствует порозности (скважности) почвы.

Полная водовместимость – см. Полная влагоемкость.

Полугидроморфные почвы – почвы, формирующиеся на пониженных элементах рельефа, в нижних частях склонов при кратковременном застое поверхностных вод или залегании грунтовых вод на глубине 3–6 метров (капиллярная кайма может достигать корней растений), в связи с чем развитие их сопровождается повышенным увлажнением и появлением признаков восстановительных процессов.

Пористость почвы – суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы. Выражается в процентах от общего объема почвы.

Потенциальная кислотность – кислотность, характерная для твердой фазы почвы, её носителем являются обменные катионы H^+ и Al^{3+} . Это способность почвы при взаимодействии с растворами солей проявлять себя как слабая кислота.

Потенциальное плодородие – суммарное плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком.

Почва – обладающая плодородием сложная полифункциональная и поликомпонентная открытая многофазная структурная система в поверхностном слое коры выветривания горных пород, являющаяся комплексной функцией горной породы, организмов, климата, рельефа и времени.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) – совокупность минеральных, органических и органоминеральных коллоидов (частиц размером менее 0,0001 мм), нерастворимых в воде, обладающих физико-химической поглотительной способностью, т.е. способных поглощать и обменивать поглощенные ионы (реакции обмена).

Почвенный профиль – определенное сочетание генетических горизонтов (вертикальная их последовательность) в пределах почвенного тела, специфичное для каждого типа почвообразования.

Почвоведение – наука о почве, ее строении, составе, свойствах и географическом распространении, закономерностях ее происхождения, развития, функционирования и роли в природе.

Почвообразование – процесс образования почв из горных пород, их развития, функционирования и эволюции под воздействием факторов почвообразования в природных и антропогенных экосистемах Земли. Это совокупность явлений превращения и передвижения веществ и энергии в почвенной толще. Агентами почвообразовательного процесса являются растения, организмы, продукты их жизнедеятельности, а также вода, кислород и диоксид углерода.

Почвообразующие (материнские) породы – горные породы, из которых формируются почвы.

Предельная полевая влагемкость – см. Наименьшая влагемкость.

Пролувий – продукты выветривания горных пород, представленные плохо отсортированным материалом, переносимым в горных областях мощными водными потоками (селевыми) и откладывающимся у подножия гор.

Просадочность – частный случай проявления сжимаемости почв и грунтов. Просадкой называется понижение поверхности почв в результате уменьшения их пористости и растворения содержащихся в них солей при замачивании.

Профилеобразующие процессы – см. макропроцессы.

Радиационный баланс – разность между радиацией, поглощенной земной поверхностью, и эффективным излучением.

Разломы – разрывы пластов горных пород.

Размыв почвы или породы – разрушение поверхности в вертикальном направлении на узком участке в суженном русле.

Реакция почвенного раствора – соотношение концентраций

в почвенном растворе ионов H^+ и OH^- ; выражается величиной рН.

Регрессия моря – отступление моря при подъеме суши.

Режимы почвенные – закономерные изменения основных почвенных параметров) температуры, влажности, аэрации, химического состава почвенного воздуха и почвенного раствора), выведенные из многолетних данных. Различают температурный, водно-воздушный, кислотно-щелочной, окислительно-восстановительный, пищевой, солевой и другие почвенные режимы.

Связанность агрегатов – устойчивость агрегатов к механическому воздействию.

Связность почвы – способность почвы оказывать сопротивление разрывающему усилию, стремящемуся разъединить механические элементы, т.е. определяет свойство взаимного сцепления почвенных частиц. Выражается в $кг/см^2$.

Сиаллитная кора выветривания – распространена в районах с умеренно влажным климатом, характеризуется содержанием в валовом составе пород 65–75% SiO_2 и 10–15% Al_2O_3 , в составе глинных минералов преобладают минералы группы монтмориллонита и гидрослюд.

Скелет почвы – сумма почвенных частиц размером крупнее 1 мм, включая камни и гравий.

Складчатые движения – это изгибы пластов горных пород без нарушения их сплошности. Такие движения встречаются в подвижных участках земной коры (геосинклиналях).

Сложение почвы – это физическое состояние почвенного материала, обусловленное взаимным расположением и соотношением в пространстве твердых частиц и связанных с ними пор (другими словами, это геометрия пространства, занятого почвенным материалом).

Смыв почвы и породы (поверхностная эрозия) – постепенное, более или менее равномерное удаление с поверхности склонов механических частиц при стоке талых или дождевых вод.

Состав почвы – это соотношение (массовое или объемное) компонентов почвенного материала, выражаемое в процентах

его общей массы или объема, либо в долях единицы. Различают гранулометрический, минералогический, химический, агрегатный (структурный), микроагрегатный, фазовый состав почвы.

Степень насыщенности почв основаниями – количество обменных оснований (обычно $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), выраженное в процентах от емкости поглощения (отношение суммы обменных катионов к сумме тех же катионов и величины гидrolитической кислотности почв, выраженное в процентах).

Строение почвы – это специфическое для каждого почвенного типа сочетание генетических горизонтов, внутригоризонтных и внегоризонтных образований, составляющее в целом почвенный профиль.

Структура почвы – это совокупность агрегатов различной величины, формы, порозности, механической прочности и водопрочности, характерных для каждой почвы и ее горизонтов.

Структурность почвы – это способность почвы распадаться в естественном состоянии при механическом воздействии (выкапывании или вспашке) на агрегаты (структурные отдельности, комки, педы) определенного размера и формы.

Сумма обменных катионов (сумма поглощенных катионов) – общее количество всех катионов в диффузном слое коллоидных мицелл.

Суффозия (глинистый карст) – образование пустот в земле в результате вымывания тонких частиц (глинистых и илистых).

Твердая фаза почвы – полидисперсная и поликомпонентная органоминеральная система, образующая твердый каркас почвенного тела. Формируется в процессе почвообразования из материнской горной породы и в значительной степени унаследует её состав и свойства.

Твердость – это свойство почвы в естественном залегании сопротивляться сжатию и раскливанию. Выражается в $\text{кг}/\text{см}^2$.

Тектонические движения – механические перемещения земного вещества, вызывающие формирование новых геологических структур или изменение прежних.

Теплоемкость – свойство почвы поглощать тепло (тепловую

энергию).

Теплопоглодительная (отражательная) способность почв – способность почв поглощать (отражать) определенную долю падающей на ее поверхность солнечной радиации; характеризуется значением альбедо.

Теплопроводность – свойство почвы передавать энергию путем теплового взаимодействия соприкасающихся между собой твердых, жидких и газообразных частиц.

Трансгрессия моря – наступление моря на сушу при ее опускании, сопровождающееся интенсивным разрушением берегов.

Факторы почвообразования – это внешние по отношению к почве компоненты природной среды, под воздействием и при участии которых формируется почвенный покров земной поверхности.

Физическая глина – сумма почвенных частиц мелкозема размером менее 0,01 мм.

Физическая спелость – состояние почвы, при котором она хорошо крошится на комки, не прилипая к орудиям обработки. Определяется влажностью почвы и зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов.

Физический песок – сумма почвенных частиц мелкозема размером более 0,01 мм.

Физическое выветривание – механическое раздробление горных пород и минералов без изменения их химического состава.

Флювиогляциальные (водноледниковые) породы – осадочные породы, представленные наносами преимущественно песчаного состава, образованными потоками воды тающих ледников.

Фульвокислоты (ФК) – высокомолекулярные азотсодержащие органические кислоты, хорошо растворимые и в кислотах, и в щелочах, имеют светло-желтую окраску.

Химическое выветривание – это процесс химического изменения и разрушения горных пород и минералов с образованием новых минералов и соединений.

Червороины – новообразования биологического происхождения, представленные извилистыми ходами и канальцами червей.

Эволюция почвы – прогрессивное изменение почвообразовательных процессов и, как следствие, состава и свойств почвы, направленное на достижение равновесия с природной обстановкой.

Эзогидратогенные процессы образования минералов – процессы выделения минералов из холодных нисходящих поверхностных водных растворов.

Экономическое плодородие – экономическая оценка почвы в связи с ее потенциальным плодородием и экономическими характеристиками земельного участка.

Элементарные почвообразовательные процессы (ЭПП, или мезопроцессы) – сочетания взаимосвязанных биологических, физических и химических явлений (микропроцессов), протекающих в почвах.

Элювий – продукты выветривания коренных горных пород, остающиеся на месте выветривания и представленные грубообломочным материалом.

Эоловые породы – осадочные породы, образующиеся в результате переотложения ветром.

Эоловый фактор – геологическая деятельность ветра.

Эффективное плодородие – та часть потенциального плодородия, которая реализуется в виде урожая растений при данных климатических (погодных) и технико-экономических (агротехнических) условиях.

Эффузивные породы – см. Магматические породы.

Рекомендуемая литература

Основная

Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение: учебник для вузов. – Ростов н/Д.; М.: Изд-во «МарТ», 2006. – 496 с.

Ковда В.А. Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973. – Т.1. – 447 с. – Т.2. – 468 с.

Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. – М.: Колос, 2000. – 416 с.

Ковриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геологии. 2-ое изд-ние переработанное и дополненное. – М.: КолосС, 2008. – 439 с.

Мамонтов В.Г., Панов Н.П., Кауричев И.С., Игнатьев Н.Н. Общее почвоведение. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.

Основы почвоведения / Под ред. С.П. Кулижского, А.Н. Рудого. – Томск: Изд-во Томского госуд. педагогич. ун-та, 2005. – 408 с.

Основы почвоведения и географии почв / Под ред. С.П. Кулижского, А.Н. Рудого. – Томск: Изд-во Томского госуд. педагогич. ун-та, 2004. – 384 с.

Почвоведение / Кауричев И.С., Александрова Л.Н., Панов Н.П. и др. – М.: Колос, 1982. – 496 с.

Почвоведение / Под ред. Ковды В.А., Розанова Б.Г.: В 2-х ч. – М.: Высш. Школа, 1988.

Почвоведение с основами геологии (учебное пособие для студентов агрономических специальностей сельскохозяйственных вузов) / А.И. Горбылева, Д.М. Андреева, В.Б. Воробьев, Е.И. Петровский. Под ред. А.И. Горбылевой. – Минск: Новое знание, 2002. – 480 с.

Хабаров А.В., Яскин А.А., Хабарова В.А. Почвоведение. – М.: КолосС, 2007. – 311 с.

Дополнительная

Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. – М.: Наука, 1978. – 293 с.

Дюшофур Ф. Основы почвоведения. – М.: Прогресс, 1970. – 591 с.

Ковда В.А. Основы учения о почвах. (В 2-х кн.). – М.: Наука, 1973.

Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.

Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Академический Проект, 2004. – 432 с.

Содержание

Раздел 1 Основы геологии

Глава 1 Предмет и составные части геологии

- 1.1. Геологические дисциплины, их задачи и методы
- 1.2. Строение Земли и ее свойства
- 1.3. Минералогический состав земной коры

Глава 2 Процессы образования минералов и горных пород в эндогенной и экзогенной зонах

- 2.1. Понятие об эндогенных процессах
- 2.2. Процессы образования минералов в эндогенной зоне
- 2.3. Понятие об экзогенных процессах.
 - 2.3.1. Формы и процессы выветривания
 - 2.3.2. Геологическая деятельность ветра, временных водных потоков, рек и ледников
 - 2.3.3. Геологическая деятельность подземных вод, озер, болот и морей
- 2.4. Процессы образования минералов в экзогенной зоне и метаморфические процессы минералообразования
- 2.5. Горные породы и их образование
 - 2.5.1. Магматические горные породы
 - 2.5.2. Осадочные горные породы
 - 2.5.3. Метаморфические горные породы
 - 2.5.4. Агрономические руды
- 2.6. Классификация и характеристика почвообразующих пород

Глава 3 Геологическая история Земли

Раздел 2 Общее почвоведение

Глава 4 Почвоведение как наука

- 4.1. Понятие о почве, определение почвы
- 4.2. Место и роль почвы в природе: понятие о педосфере, глобальные функции почвы

- 4.3. Методология почвоведения, концептуальные подходы в почвоведении. Методы почвоведения
- 4.4. Связь почвоведения с другими науками
- 4.5. Краткая история возникновения и развития почвоведения

Глава 5 Схема почвообразовательного процесса

- 5.1. Сущность почвообразовательного процесса и этапы его развития
- 5.2. Процессы почвообразования, формирование почвенного профиля и развитие почвы

Глава 6 Морфология почв

- 6.1. Фазовый состав почвы
- 6.2. Морфологическая организация почвы
- 6.3. Почвенный профиль и генетические горизонты
- 6.4. Типы строения почвенного профиля
- 6.5. Морфологические признаки почв
 - 6.5.1. Окраска почвы
 - 6.5.2. Структура почвы
 - 6.5.3. Гранулометрический состав почвы
 - 6.5.4. Сложение почвы
 - 6.5.5. Влажность почвы
 - 6.5.6. Новообразования и включения
 - 6.5.7. Границы горизонтов и характер переходов между ними

Глава 7 Факторы почвообразования

- 7.1. Климат как фактор почвообразования
- 7.2. Роль биологического фактора в почвообразовании
- 7.3. Роль материнских пород в почвообразовании
- 7.4. Рельеф как фактор почвообразования
- 7.5. Роль хозяйственной деятельности человека в почвообразовании
- 7.6. Возраст почв как фактор почвообразования

Глава 8 Гранулометрический состав почв и его значение

- 8.1. Формирование гранулометрического состава почвы
- 8.2. Классификация механических элементов почв
- 8.3. Классификация почв по гранулометрическому составу
- 8.4. Агрономическое и экологическое значение гранулометрического состава почв

Глава 9 Минералогический состав почв

- 9.1. Первичные минералы
- 9.2. Вторичные минералы
- 9.3. Минеральные преобразования в почвах

Глава 10 Химический состав почв

- 10.1. Валовой химический состав почв, его связь с гранулометрическим и минералогическим составом
- 10.2. Содержание и соединения в почвах основных химических элементов
- 10.3. Микроэлементы в почвах
- 10.4. Основные питательные элементы для растений. Регулирование питательного режима почв
- 10.5. Радиоактивность почв
 - 10.5.1. Естественная радиоактивность почв
 - 10.5.2. Искусственная радиоактивность почв

Глава 11 Органическая часть почвы

- 11.1. Источники органических веществ почв. Химический состав органических остатков
- 11.2. Процессы превращения органических остатков в почве и образование гумуса
- 11.3. Ферментативная активность почв. Характеристика почвенных ферментов
- 11.4. Почвенный гумус, его групповой и фракционный состав. Типы гумуса
- 11.5. Влияние экологических условий почвообразования на характер гумусообразования
- 11.6. Гумусное состояние почв и влияние на него различных приемов земледелия

11.7. Значение гумуса и органических веществ в почвообразовании и плодородии почв

Глава 12 Аллелопатические свойства почв

12.1. Определение понятия аллелопатии

12.2. Химический состав ингибиторов аллелопатической природы

12.3. Проявление аллелопатии в естественных и агроценозах. Агрономические мероприятия, снижающие аллелопатическое влияние на растения

Глава 13 Вода в почвах и водный режим почв

13.1. Категории (формы) почвенной влаги и их характеристики

13.2. Водные свойства почв

13.3. Доступность почвенной влаги растениям

13.4. Водный режим почв и пути его регулирования

Глава 14 Почвенный раствор

14.1. Источники почвенного раствора

14.2. Состав и концентрация почвенного раствора, его динамика

14.3. Влияние культурных растений на состав почвенных растворов и пути его регулирования

Глава 15 Почвенный воздух

15.1. Формы почвенного воздуха

15.2. Содержание и состав почвенного воздуха

15.3. Воздушные свойства почв

15.4. Воздушный режим почв и его регулирование

Глава 16 Тепловые свойства и тепловой режим почв

16.1. Источники тепла в почве

16.2. Тепловые свойства почв

16.3. Типы температурного режима почв и пути регулирования теплового режима

Глава 17 Поглощительная способность почв

- 17.1. Почвенные коллоиды, их происхождение, состав и свойства
- 17.2. Виды поглотительной способности почв
- 17.3. Почвенная кислотность
- 17.4. Почвенная щелочность
- 17.5. Буферность почв
- 17.6. Регулирование катионного состава почвенного поглощающего комплекса
- 17.7. Экологическое и агрономическое значение поглотительной способности почв

Глава 18 Окислительно-восстановительные процессы в почвах

- 18.1. Понятие об окислительно-восстановительных процессах и факторы их развития
- 18.2. Окислительно-восстановительные режимы почв
- 18.3. Агрономическое и экологическое значение окислительно-восстановительных процессов в почвах и пути их регулирования

Глава 19 Физические и физико-механические свойства почв

- 19.1. Агрономическая характеристика структуры, ее утрата и восстановление в агроценозах
- 19.2. Характеристика общих физических свойств почвы
- 19.3. Характеристика физико-механических свойств почвы
- 19.4. Регулирование общих физических и физико-механических свойств почвы

Глава 20 Плодородие почв

- 20.1. Понятие почвенного плодородия
- 20.2. Категории почвенного плодородия
- 20.3. Факторы и условия плодородия почв
- 20.4. Факторы, лимитирующие почвенное плодородие, и приемы их устранения
- 20.5. Требования основных сельскохозяйственных культур к почвенным условиям
- 20.6. Воспроизводство почвенного плодородия

20.7. Модели почвенного плодородия

Глоссарий

Список литературы