

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ПРИ ГОСКОМИССИИ СМ СССР
ПО ПРОДОВОЛЬСТВУ И ЗАКУПКАМ
МОСКОВСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ имени К. А. ТИМИРЯЗЕВА**

Кафедра почвоведения

А. И. КАРПУХИН

**ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СОСТАВ
И СВОЙСТВА ПОЧВ**

Учебное пособие



**Издательство МСХА
МОСКВА 1990**

УДК 631.43

Пособие предназначено для студентов экономического факультета сельскохозяйственных вузов.

Пособие составлено в соответствии с программой курса «Почвоведение» по специальности 1715. В нем изложены задачи почвоведения, связанные с реализацией Продовольственной программы.

Рецензенты: доценты **А. М. Гасанов** (МГМИ), **Н. А. Гончарова** (ТСХА).

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета агрохимии и почвоведения. Протокол № 6 от 15 мая 1989 года.

Председатель методической комиссии — доцент **Э. А. Муравин**.

Главный редактор учебно-методических изданий ТСХА **В. А. Тюльдюков**.

© Издательство Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева, 1990

ВВЕДЕНИЕ

В первой части пособия «Состав, происхождение и свойства почв» изложены предмет и задачи почвоведения, его связь с другими биологическими и сельскохозяйственными науками. Далее в пособии рассматриваются состав, свойства и происхождение минеральной и органической частей почвы, обсуждаются основные физические, физико-химические свойства, почвенные режимы (водный, воздушный, тепловой) и рекомендуются мероприятия по их регулированию для создания и поддержания высокого эффективного плодородия.

В последнем разделе учебного пособия рассматривается сущность почвообразовательного процесса, в результате которого формируется профиль почвы как естественноисторического тела природы.

Предлагаемое учебное пособие в первую очередь будет полезно студентам экономического факультета, поскольку у них очень короткий курс почвоведения, отсутствует удобный учебник или учебно-методическое пособие, а также потому, что изучение почвоведения на первом курсе происходит без достаточного запаса знаний по химии, физике и геологии.

ПРЕДМЕТ, ЗНАЧЕНИЕ И ЗАДАЧИ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Определены основные направления по ускорению научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе. Необходимо в 1989—1995 гг. силы и средства аграрной науки и агропромышленного производства сосредоточить на приоритетных направлениях.

В земледелии — это освоение интенсивных почвозащитных и влагосберегающих технологий, обоснованные севообороты, бездефицитный баланс питательных веществ в почве, восстановление на этой основе плодородия земли, обеспечение экологического равновесия в сельскохозяйственном производстве.

Это позволит достичь к 1995 г. в колхозах и совхозах прироста урожайности зерновых культур не менее 6—7 ц/га, картофеля — 50 ц, получить масла растительного — 9—10 ц и свекловичного сахара — 35—40 ц/га. Предполагается освоить интенсивные технологии возделывания зерновых культур к 1995 г. на площади 60 млн. га, что должно обеспечить не менее 70% прироста зерна. В тринадцатой пятилетке предполагается полностью перейти на интенсивные технологии возделывания кукурузы на зерно с урожайностью не менее 50 ц, а на плодородных землях — 70—80 ц/га.

Интенсификация сельскохозяйственного производства возможна лишь на основе глубоких знаний состава и свойств почв. Это необходимо для научного обоснования систем земледелия в основных зонах нашей страны, рационального использования органических и минеральных удобрений, химических средств защиты растений, проведения мелиоративных мероприятий с учетом экологических условий. В связи с этим важно определить оптимальные параметры почв, т. е. свойства, наиболее коррелирующие с урожайностью сельскохозяйственных культур. Направленное воздействие на данные свойства позволяет не только регулировать уровень плодородия, но и обеспечивать расширенное его воспроизводство.

В решении продовольственной проблемы большая роль принадлежит биологическим и агрономическим наукам, к которым относится почвоведение. Почвоведение — это основа агрономических наук, фундамент, на котором развиваются другие сельскохозяйственные и биологические науки. Почва — это среда, в которой растут и развиваются растения.

Почвоведение — наука о почвах, их образовании, как говорят почвоведы, генезисе, строении, составе и свойствах, закономерностях географического распространения, о формировании и развитии главного свойства почвы — плодородии и путях наиболее рационального его использования.

Как научная дисциплина почвоведение сформировалось в России в конце XIX столетия благодаря трудам выдающихся русских ученых В. В. Докучаева, П. А. Костычева, Н. М. Сибирцева. Первое научное определение почвы дал В. В. Докучаев: «Почвой следует называть «дневные», или наружные, горизонты горных пород, естественно измененные совместным воздействием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых». Он заложил основы почвоведения как науки, установил, что все почвы наземной поверхности образуются путем чрезвычайно сложного взаимодействия клима-

та, растительных и животных организмов, состава и строения материнских горных пород, рельефа местности и, наконец, возраста страны.

Эти идеи В. В. Докучаева — основные исходные положения в представлении о происхождении почвы. Из этого следует, что почвы образуются из горных пород вследствие преобразования последних во времени под влиянием растительных и животных организмов в различных условиях климата и рельефа.

Современное определение почвы. Почва — самостоятельное естественноисторическое органо-минеральное тело природы, возникшее в результате воздействия живых и мертвых организмов и природных вод на поверхностные горизонты горных пород в различных условиях климата и рельефа в гравитационном поле земли. Для почвы свойственно закономерное строение вертикального профиля с особыми внешними (морфологическими) признаками, химическим составом, физическими и биологическими свойствами слагающих его горизонтов, а также характером процесса превращения и перемещения веществ и энергии.

Почва очень сложная система, поэтому почвоведение является широкой естественной дисциплиной. Процессы почвообразования и свойств почв нужно изучать в тесной связи с геологией, минералогией, физикой, математикой, геоботаникой, микробиологией, биохимией. В настоящее время из общего почвоведения выделены разделы, в которых углубленно изучаются такие предметы, как география и картография, микробиология, физика, химия, мелиорация и биология почв. В этих разделах почвоведения широко используются различные методы изучения состава и свойств почв.

Почвоведы в своих исследованиях успешно используют сочетание как классических методов, например полевые, сравнительно-географический, сравнительно-аналитический, так и современные методы, такие, как аэрокосмические, математического моделирования, рентгеноскопические, спектроскопические, хроматографические, метод меченых атомов и многие другие.

Почвоведение как естественноисторическая наука тесно связана с другими биологическими и сельскохозяйственными науками. Материалы почвенных исследований широко применяются землеустроителями для нарезки полей и дорог. В

растениеводстве и общем земледелии используется почвенно-картографический материал для размещения севооборотов, выбора культур в зависимости от состава и свойств почв, планирования оптимальных обработок почв и благоприятных сроков их проведения.

Агрохимики разрабатывают научно обоснованные методы внесения удобрений с учетом кислотности и щелочности почв, содержания подвижных форм азота, фосфора и калия. Очевидной становится связь почвоведения с медициной. Недостаточное содержание или избыток некоторых химических элементов вызывают тяжелые заболевания. Например, повышенное содержание нитратов и нитритов в продукции сельского хозяйства может вызвать отравление сельскохозяйственных животных и даже людей.

Почвоведение тесно связано также с техническими науками и промышленностью. Строительство любых объектов ведется на поверхности почв, поэтому знание физических и физико-химических свойств почв просто необходимо при возведении любых объектов, особенно дорог, аэродромов и т. д.

С каждым годом находят все более широкое применение в сельском хозяйстве вообще и в почвоведении в частности результаты космических исследований. Применительно к почве используют, главным образом, визуальные наблюдения и фотографические снимки из космоса. При космическом фотографировании по сравнению с аэрофотосъемкой в большей степени расширяется поле зрения, одним взглядом охватываются целые регионы. Особенно плодотворным оказывается использование космических снимков в картографии для составления почвенных, геоморфологических и геоботанических карт.

На космических снимках достаточно хорошо фиксируются почвенные контуры пашни, лесные районы, орошаемые массивы, четко выделяются солончаки. С помощью космической информации предполагается составить детальные почвенно-растительные карты отдельных районов. По ним можно определить динамику эрозии почв и другие явления и факторы, способствующие сохранности почв и продуктивности растений.

Эти примеры позволили показать, как далекие, на первый взгляд, науки помогают решать важные народнохозяйственные задачи.

Особенности почв как объекта исследований. Для почв характерны следующие особенности:

1. Плодородие.
2. Почва — предмет и продукт труда.
3. Сложный по составу и свойствам объект изучения.
4. Незаменимость.
5. Неперемещаемость: постоянство нахождения.
6. Ограниченность размеров.

Главное существенное свойство почвы — это плодородие. Необходимо остановиться более подробно на плодородии, которое является качественным ее признаком. Понятия о почве и ее плодородии неразделимы. Это главная особенность почвы как объекта исследования. Плодородие отличает почву от материнской горной породы, которая бесплодна. Это отличие состоит в способности почвы обеспечить растения одновременно водой и пищей. Плодородие — способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха и тепла для нормального роста и развития. Поэтому В. Р. Вильямс — выдающийся советский ученый, академик, почвовед и агроном, возглавивший новое биологическое направление в почвоведении, так давал определение почвы: «Почвой называется рыхлый поверхностный горизонт суши земного шара, способный производить урожай растений».

В. Р. Вильямс — основатель кафедры почвоведения и Почвенно-агрономического музея Тимирязевской сельскохозяйственной академии — много и плодотворно работал на протяжении более полувека в области агрономического почвоведения и высказал важные и оригинальные теоретические концепции по следующим вопросам: о сущности почвообразовательного процесса и природе отдельных почвообразовательных процессов, о большом геологическом и малом биологическом круговоротах веществ, о плодородии, о происхождении, составе и свойствах гумуса и структуры почв.

Много внимания В. Р. Вильямс уделял практическим вопросам, а именно разработке конкретных мероприятий по повышению плодородия различных типов почв, улучшению и созданию благоприятной структуры. Для специалистов сельскохозяйственного производства наиболее важным свойством почвы является плодородие, т. е. способность почвы производить урожай сельскохозяйственных культур.

Для успешного выполнения постановлений партии и пра-

вительства аграрных задач по реализации Продовольственной программы специалисты должны уметь правильно воздействовать на почву в целях непрерывного повышения ее плодородия. Человек активно воздействует на почву (вырубка лесов или их посадка, распашка целинных земель, различные виды мелиорации, внесение удобрений и т. д.) и существенно изменяет почвообразование и многие свойства почвы, определяющие ее плодородие. При этом почва становится не только предметом труда, но и в известной мере его продуктом. Это вторая особенность почвы как объекта исследования. Познавая свойства почвы, закономерности развития почвообразовательного процесса, человек системой мероприятий сознательно регулирует процесс развития почвы и ее плодородия в нужном направлении. При этом мощность техногенного фактора с каждым годом возрастает. Производственная деятельность человека по силе воздействия приравнивается к другим факторам почвообразования, а в некоторых случаях, например, распашка целинных земель в Казахстане, создание искусственных морей, системы лесозащитных полос, воздействия человека весьма успешно конкурируют с естественными факторами образования почв.

Третья особенность почвы заключается в том, что она представляет собой чрезвычайно сложный по составу и свойствам объект исследований. Разнообразие физических, физико-механических, физико-химических и биологических свойств обусловлено сложным химическим и вещественным составом почв. Это необходимо учитывать при развитии современного почвоведения.

Четвертой особенностью является незаменимость почвы как предмета труда. Масштабы производства биологической продукции в закрытых и полужакрытых искусственных агроценозах (теплицы, парники) еще ограничены, они не могут в ближайшем будущем составить конкуренцию производству валовой продукции полевого земледелия.

Пятая особенность почвы — неперемещаемость ее в пространстве, ее положение четко зафиксировано на поверхности земли и остается постоянным.

Шестая особенность почвы как объекта исследования — это ограниченность почвы в пространстве. В настоящее время все плодородные почвы активно используются в сельскохозяйственном производстве. Однако ежегодно в мире выводится из сельскохозяйственного использования 5—7 млн. га земель в результате эрозии и засоления почв, отчуждения па-

хотных угодий из сферы сельскохозяйственного производства и опустынивания суши.

Задачи, стоящие перед почвенной наукой на современном этапе

1. Создание единой централизованной почвенной службы в стране, призванной координировать, направлять и активизировать развитие теоретических разработок и прикладных аспектов рационального использования почв в народном хозяйстве.

2. Проведение углубленных исследований почвообразовательных процессов, всестороннее изучение пищевого, водного, воздушного и теплового режимов почв.

3. Составление и корректировка почвенных карт страны, союзных республик, областей, районов и отдельных хозяйств с целью правильного размещения отдельных отраслей и специализации сельскохозяйственного производства.

4. Разработка дифференцированных систем земледелия, направленных на сохранение и повышение плодородия почв, на основе теоретических достижений и передового опыта земледелия, растениеводства, агрохимии и других наук с целью получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических зонах.

5. Составление крупных мелиоративных проектов по коренному улучшению свойств почв. Химическая мелиорация — известкование кислых почв, физическая — осушение заболоченных почв, орошение в засушливых районах нашей страны.

6. Разработка мероприятий по охране почв от необоснованного отчуждения из сферы сельскохозяйственного производства и их защиты от эрозии, засоления и заболачивания.

7. Изучение и картирование целинных почв для освоения и рационального использования новых земельных территорий в Нечерноземной зоне РСФСР, восточных районах нашей страны, а также в пустынных и полупустынных регионах.

8. Проведение инвентаризации почвенного покрова на всей территории нашей страны, строгое соблюдение земельного кадастра, т. е. осуществление подробного учета бонитировки почв и совершенствования экономической оценки земель. Бонитировка почвы и экономическая оценка земель необходимы для сравнительной оценки качества почв по плодородию в районе, отдельном хозяйстве.

Решение этих задач будет способствовать правильной

специализации сельскохозяйственного производства в отдельных регионах нашей страны, научно обоснованному размещению сельскохозяйственных культур, объективной характеристике производственной деятельности в отдельных областях, районах, колхозах и совхозах, а также упорядочиванию системы закупочных цен и объемов поставок сельскохозяйственной продукции государству.

Успешное решение Продовольственной программы и сохранение окружающей среды возможны на основе глубоких теоретических разработок, производственных проверок, внедрения типовых зональных, региональных, ландшафтных систем мелиорации, химизации, управления почвенно-растительными системами для дальнейшего повышения продуктивности и охраны почв, т. е. внедрения научно обоснованных систем рационального ведения сельскохозяйственного производства. Совместные усилия почвоведов, экономистов, агрономов, мелиораторов и агрохимиков должны способствовать внедрению рациональных систем земледелия в каждой области, районе, колхозе, совхозе, на каждом поле.

Перед экономистами сельскохозяйственного производства стоят особые задачи. Они являются командирами современного сельскохозяйственного производства, планируют, направляют и финансируют основные мероприятия по обеспечению высоких урожаев. Экономисты должны думать не только о получении большого объема валовой продукции, но и о сохранении почвы, особенно ее производительной способности. При этом нельзя использовать какой-нибудь один, даже очень эффективный фактор повышения урожайности, например, внесение удобрений или водно-физическую мелиорацию. Необходимо применять весь комплекс мероприятий, который дает современная наука земледельцу. Это — правильная и своевременная агротехника, мелиорация, защита растений, своевременное и достаточное внесение удобрений. Экономисты призваны оценить и способствовать внедрению на поле всего комплекса этих мероприятий. В этом случае будут гарантированы целостность почвы, повышение ее плодородия и одновременный рост урожая возделываемых сельскохозяйственных культур.

В своей производственной деятельности экономисты должны постоянно думать об охране окружающей среды в целом и почвы в частности. Они планируют орошение, осушение, противоэрозионные мероприятия и другие приемы, направленные на защиту почвенного покрова.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СОСТАВ И СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКОЙ (МИНЕРАЛЬНОЙ) ЧАСТИ ПОЧВ

Почва представляет собой весьма сложную, гетерогенную (неоднородную) систему, состоящую из нескольких фаз.

По агрегатному состоянию в почве выделяют три фазы:

1. Твердая фаза — твердые почвенные частицы разнообразных размеров и неодинаковой формы.

2. Жидкая фаза — вода в почвенном профиле, например почвенный раствор — вода почвы с растворимыми в ней веществами.

3. Газообразная фаза — почвенный воздух.

Материальной основой почв являются горные породы, воздух, вода, совокупность населяющих почву живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. Все это применительно к Земле представляет особую сферу, называемую географической оболочкой.

Географическая оболочка — природное образование, целостная материально-энергетическая система сферической формы, возникшая и развивающаяся при взаимодействии литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Эти все сферы очень неоднородны по составу и свойствам. Объем и масса этих сфер очень разнообразны (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Строение Земли (без верхних слоев атмосферы и магнитосферы)

Сфера	Высота или глубина от уровня моря, км	Объем, 10^{18} , м ³	Доля от массы Земли, %
Атмосфера	+2000,0	1320,0	10^{-6}
Гидросфера	до —11,0	1,4	0,02
Земная кора	до —70,0	10,2	0,48
Мантия	до —2900,0	896,6	67,2
Ядро	до —6371,0	175,2	32,3

Вначале за счет дифференциации внутреннего вещества планеты образовались литосфера и гидросфера.

Литосфера — комплекс поверхностных слоев твердого тела Земли, протяженность до 100 км в глубину от поверхности. Литосфера неоднородна и состоит из коры выветривания слоев земной поверхности протяженностью от 0 до 3 км,

собственно земной коры, протяженность которой 35—45 км, и самого верхнего слоя мантии. По современным представлениям, минеральная часть образовалась из поверхностных слоев коры выветривания протяженностью от 0 до 5 м, кора выветривания выделилась из земной коры, которая дифференцировалась из мантии.

Гидросфера образована водой и состоит из мирового океана и вод суши (реки, озера, ледники, подземные воды и некоторые другие).

Атмосфера — это газовая оболочка на земной поверхности, возникла при взаимодействии Земли и Солнца.

Минеральная (неорганическая) часть почв является основной частью почвенного тела; в большинстве почв, даже в верхних генетических горизонтах, наиболее обогащенных перегноем, минеральные вещества составляют не менее 90—95% от состава почвы, вниз по профилю почв содержание неорганической части еще больше возрастает.

Происхождение и состав минеральной части почв главным образом определяются почвообразующими породами, являющимися тем вещественным началом, из которого образуются почвы.

Почвообразующие (материнские) породы — это горные породы, из которых развиваются и формируются почвы. Горные породы — это минеральные агрегаты относительно постоянного состава и строения, образующие самостоятельные тела в земной коре (слои, жилы, линзы, иногда дают крупные массивы).

Классификация горных пород

Горные породы по способу образования делятся на три группы.

Магматические горные породы на 80—90% образовались из расплавленных силикатных масс, называемых магмой, застывших внутри земной коры. По содержанию кремния в их составе выделяют следующие группы массивных горных пород:

- кислые — $\text{SiO}_2 > 65\%$ (гранит, кварцевый порфир);
- средние — $\text{SiO}_2 = 65—50\%$ (сиенит, диорит, трахит);
- основные — $\text{SiO}_2 < 50\%$ (габро, базальт, диабаз).

Метаморфические горные породы образовались в глубоких слоях земли под влиянием высоких температур и давления в несколько сот и даже тысяч атмосфер из магматических

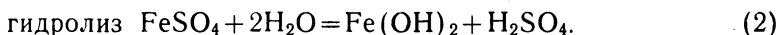
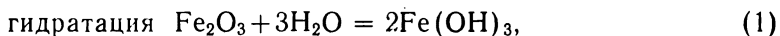
и других горных пород. Это, например, гнейсы, кристаллическо-слоистые горные породы, различные сланцы (сланцевые, глинистые, кремнистые).

Осадочные горные породы образовались на земной поверхности путем выветривания из магматических и метаморфических пород, а также из отложений органических остатков, образовавшихся в результате жизнедеятельности живых организмов (ледниковые отложения, покровные суглинки, торф, гипс).

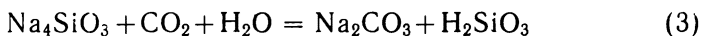
Выветривание — совокупность физических, физико-химических изменений, которые претерпевают горные породы в термодинамических условиях земной поверхности. Из общего понятия выветривания выделяют физическое, химическое и биологическое.

Физическое — разрушение, измельчение горных пород за счет физических сил без изменения минералогического и химического состава. Разрушение массивных кристаллических пород при нагревании происходит за счет непропорционального расширения или сжатия при охлаждении.

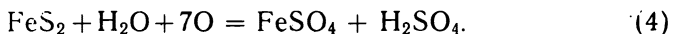
Химическое выветривание — это глубокие изменения минералогического и химического состава за счет разнообразных химических и физико-химических процессов. Это в первую очередь разнообразные взаимодействия с водой (действие гидросферы):



Химическое воздействие на минералы воды и углекислого газа (действие гидросферы и атмосферы)



и многие другие, например, окисление



Биологическое выветривание — это глубокие химические и биологические преобразования минеральной части под действием живых организмов.

Магматические и метаморфические породы составляют приблизительно 25% от поверхности суши. Остальная часть покрыта чехлом рыхлых осадочных пород. При этом почвообразующие породы на 90—95% представлены осадочными породами.

Очень важно знать состав, свойства и происхождение материнских горных пород. Почвообразующая порода представляет собой ту материальную основу, из которой формируется почва. При этом почве передается состав и большинство свойств горных пород. Так, на легких породах формируются легкие по механическому составу почвы, на засоленных почвообразующих породах, как правило, образуются засоленные почвы.

Почвообразующая порода оказывает сильное влияние на сельскохозяйственное использование сформированных на них почв. Особенно рост и развитие многолетних растений (лесных, плодовых) в значительной мере определяется составом и свойствами материнских пород. Необходимо хорошо знать и правильно использовать свойства почвообразующих пород при разработке рекомендаций по осушению, орошению, рассолению и другим мелиоративным мероприятиям.

По происхождению выделяют типы осадочных отложений. Генетический тип отложений — совокупность отложений горных пород, возникших в результате проявления какого-либо одного (биологического, физико-химического процесса) или группы сходных между собой процессов. По генезису выделяют следующие типы четвертичных отложений:

элювиальные — рыхлые отложения остаются на месте образования и приурочены к выравненным и водораздельным участкам;

делювиальные — под действием поверхностных потоков воды смещены в низ склонов и образуют шельфы и чехлы у подножья;

коллювиальные — перемещаются в низ склонов, но не за счет действия воды, а в результате проявления гравитационных сил;

аллювиальные — образовались в результате деятельности рек и приурочены поэтому к современным и древним долинам рек;

озерные — сформировались в результате зарастания озер;

болотные — образовались при жизнедеятельности болотных систем;

ледниковые — генетически связаны с деятельностью ледников. Из ледниковых отложений выделяют: а) морены — собственно ледниковые материнские породы, представляющие неоднородную смесь разнообразных горных пород различного минералогического состава; б) флювио-гляциальные, или водно-ледниковые отложения — породы, которые сформиро-

ровались при таянии ледника; в) лимно-гляциональные, или озерно-ледниковые, образовались в результате жизнедеятельности озер, которые, в свою очередь, возникли при таянии ледника;

морские — образовались в результате древней и современной деятельности мирового океана, как правило, засолены и приурочены к прибрежным морским районам;

эоловые — образовались в результате деятельности ветра, распространены в пустынных и полупустынных регионах;

вулканогенные — носят локальное распространение и их генезис связан с вулканической деятельностью на земной поверхности;

техногенные материнские породы — генезис определяется производственной деятельностью человека. Примером может служить рекультивация (восстановление почвенного покрова после добычи полезных ископаемых открытым способом).

По способу выпадения вещества в осадок выделяют семейства осадочных пород:

1) **обломочные** — механическое осаждение твердых продуктов, т. е. механические осадки;

2) **хемогенные** — химическое выпадение веществ из раствора, т. е. химические осадки;

3) **органогенные** — сложные образования минеральных масс с помощью живых организмов. При этом извлечение вещества из растворов происходит растениями или животными, а затем — осаждение продуктов жизнедеятельности или твердых остатков организмов;

4) **осадочные** — почвообразующие породы со смешанным механизмом образования осадков.

По размеру отдельных зерен обломочные породы делятся на:

а) **грубообломочные (псефиты)**, размер отдельностей больше 2 мм, например, сцементированные конгломераты, брекчии. Из рыхлых пород выделяют угловатые по форме: глыбы > 1000 мм, камни — 1000—100, щебень — 100—10, хрящ — 10—2 мм; окатанные по форме: валуны > 100 мм, галечник — 100—10, гравий — 10—2 мм;

б) **песчаные породы (псемиты)** с размером гранул 2—0,1 мм, например, пески, некоторые песчаники;

в) **алевритовые породы** — осадочные отложения с размером зерен от 0,1 до 0,01 мм.

Хемогенные осадки очень разнообразны по составу (например, гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, NaCl , некоторые карбонаты).

Органогенные породы, так называемые каустобиолиты, характеризуются значительными количествами биогенного вещества, из которых выделяют:

а) сапропелиты, образующиеся из тел животных и водорослей на дне водоемов без доступа воздуха, например, горючие сланцы, сапропели;

б) гумолиты, образующиеся в торфяных болотах при временном или быстро прекращающемся доступе кислорода, например, торф, различные угли (бурый, каменный, антрацит).

Породы смешанного происхождения образуются в результате сочетания нескольких способов выпадения в осадок материнской породы, например, супеси, суглинки и некоторые глины образуются в результате механического осаждения, но при этом происходит изменение их химического состава.

Минералогический состав почв и пород

В процессе почвообразования материнские горные породы претерпевают существенные изменения, выражающиеся в выветривании составляющих их минералов и в образовании новых. В настоящее время известно около 2000 минералов. **Минералы** — природные химические соединения, образующиеся в результате различных физико-химических процессов и жизнедеятельности организмов, более или менее однородные по физическим и химическим свойствам.

По агрегатному состоянию выделяют три группы минералов:

1 — твердые минералы (кварц, группа глинистых минералов);

2 — жидкие минералы (вода, нефть, некоторые другие);

3 — газообразные минералы (газы: азот, кислород, CO_2 , метан, многие др.).

По происхождению минералы почв и горных пород разделяют на две группы — первичные и вторичные.

1) **Первичные** минералы входили в состав магматических пород и перешли в другие почвообразующие породы и почвы без каких-либо химических изменений своего состава, например, в виде целых зерен разного диаметра или обломков и кусочков.

2) **Вторичные** минералы образовались из первичных в процессе выветривания (физического, химического и биологического). При этом происходит их сильное измельчение.

даже распыление до коллоидно-дисперсного состояния, а также, что особо важно, изменение химического состава под действием температуры, воды, CO_2 и других реагентов.

Первичные минералы по химическому составу объединяют следующие группы:

1. **Оксиды** — минералы, образованные в результате соединения кислорода с другими химическими элементами (кварц — SiO_2 ; гематит — Fe_2O_3 ; корунд — Al_2O_3).

2. **Силикаты** — минералы, образованные мета- и ортокремниевыми кислотами (H_2SiO_3 и H_3SiO_4), это — роговые обманки, авгиты.

3. **Алюмосиликаты** — это соли алюмосиликсовых кислот, например, полевые шпаты, анортит, нефелин, ортоклаз.

4. **Сульфиды** — минералы, образованные серой (пирит — FeS_2).

5. **Фосфориты** — минералы, образованные фосфором (например, фторапатит $\text{Ca}_5(\text{F})(\text{PO}_4)_3$, хлорапатит $\text{Ca}_5(\text{Cl})(\text{PO}_4)_3$).

Последние две группы минералов имеют локальное распространение.

Вторичные минералы по химическому составу можно разделить на три группы:

1 — минералы простых солей;

2 — минералы оксидов и гидроксидов;

3 — глинистые минералы.

Минералы простых солей образуются при выветривании первичных минералов, а также в результате почвообразовательного процесса. К таким солям относятся, например, кальцит CaCO_3 , гипс $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, галит NaCl , фосфаты, нитраты.

Минералы оксидов и гидроксидов. Это в первую очередь кремнекислота $\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$, освобождающаяся при выветривании, т. е. кремнекислота вторичного происхождения. Кроме этого, гидроокиси железа, алюминия и марганца, например, лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$, гетит $\text{FeO}_3 \times \text{H}_2\text{O}$, гематит Fe_2O_3 , гибсит $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$.

Глинистые минералы также образуются при выветривании из первичных минералов. По химическому составу это алюмоферросиликаты. Широко представлены в почвах и почвообразующих породах, называются **глинистыми**, так как являются важнейшей составной частью различных глин.

Наиболее распространены в почвах глинистые минералы



трех групп: 1 — монтмориллонита; 2 — каолина; 3 — гидрослюд.

1. Состав минералов группы монтмориллонита имеют формулу $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. В нее входят монтмориллонит, нонтронит, бейделлит, сапонит. Эти минералы имеют трехслойную кристаллическую решетку, состоящую из двух слоев кремнекислородных тетраэдров и заключенного в него октаэдрического слоя. Трехслойные пакеты чередуются в кристаллах и придают им слоистую структуру. Связь между пакетами слабая. Минералы склонны к набуханию, при этом межпакетные расстояния расширяются и размеры колебаний составляют 9,4—21,4 Å. Эти минералы обладают большой емкостью — 80—120 мг·экв на 100 г массы, максимальная их гигроскопичность — 30%, т. е. они имеют значительную гигроскопичность. Почвы, богатые минералами этой группы, отличаются большой поглощательной способностью, сильным набуханием и липкостью. Вместе с гуминовыми кислотами минералы этой группы образуют водопрочные агрегаты.

2. Минералы каолининовой группы — каолин, галлуазит, диккит — имеют формулу $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$. Кристаллическая решетка состоит из одного слоя кремнекислородных тетраэдров и одного слоя алюмогидроксильных октаэдров. Каолинит не набухает, так как прочие пакеты связаны между собой и вода в межпакетные пространства не поступает. Расстояние между пакетами постоянное — около 7,2 Å. Каолинит не содержит поглощенных оснований. Дисперсность его невысокая. Емкость поглощения не превышает 20 мг·экв на 100 г почвы. Минералы, содержащие каолинит, имеют благоприятные водно-физические свойства, хорошую водопроницаемость и липкость.

3. Минералы группы гидрослюд — гидромусковит, иллит, гидробиотит — широко представлены в почвах. Структура их такая же, как у монтмориллонита. Они относятся к трехслойным минералам с многочисленными изоморфными замещениями, при этом кремний замещен на алюминий. Химический состав переменный. Связь между пакетами прочная, вода в них не поступает, так как избыточный заряд больше, чем в монтмориллоните. Минералы этой группы содержат значительное количество калия — до 10%, частично доступного для растений. Почвенный калий образуется из слюд и полевых шпатов. Расстояние между пакетами $\sim 10,0$ Å. Вели-

чина емкости поглощения не превышает 45—50 мг·экв на 100 г массы.

В заключение необходимо отметить, что химические элементы, входящие в состав минералов, под влиянием выветривания и почвообразования в небольших количествах постепенно могут разрушаться и переходить в почвенный раствор, из которого растения могут усваивать эти элементы. Таким образом, первичные и вторичные минералы являются одним из источников, из которого почвенный раствор пополняется биогенными элементами, необходимыми для питания растений.

Химический состав неорганической (минеральной) части почвы

В составе почв обнаружены почти все известные химические элементы, приведенные в периодической таблице Д. И. Менделеева, в разных количествах. В зависимости от содержания все элементы подразделяют на три группы:

- 1 — макроэлементы — содержание $>10^{-2}$ от массы почвы;
- 2 — микроэлементы — содержание 10^{-2} — 10^{-5} ;
- 3 — ультрамикроэлементы — содержание $<10^{-5}$.

Для химического состава характерны большое разнообразие химических элементов и неравномерное их распределение в составе почв и почвообразующих пород (табл. 2).

Основную массу горных пород и почвы образуют O, Si и Al, которые в сумме составляют 84,6%. Если к ним прибавить Fe, Ca, Na, K, Mo, то восемь элементов составят около 99% массы почв и почвообразующих пород.

Следующая особенность химического состава почв заключается в том, что имеется большое сходство между составом литосферы и почвы, так как почвы наследуют характерные соотношения химических элементов. Однако в зависимости от содержания некоторых химических элементов в почве ее состав отличается от состава литосферы. Специфической особенностью химического состава почв является повышенное содержание углерода и азота, соответственно в 20 и 10 раз выше, чем в литосфере. Это накопление обусловлено жизнедеятельностью живых организмов, в которых среднее содержание углерода составляет 10%, азота — 0,3%. В почве больше содержится кислорода, водорода и кремния. Обогащение почв этими элементами связано с поступлением химических элементов из состава атмосферы, гидросферы и в ре-

**Валовое содержание химических элементов в литосфере и почвах
(% от массы почвы)**

Макроэлементы			Микроэлементы		
элемент	литосфера	почва	элемент	литосфера	почва
O	47,2	49,0	Mn	9×10^{-2}	$8,5 \times 10^{-2}$
Si	27,6	33,0	B	3×10^{-4}	1×10^{-3}
Al	8,8	7,1	Cu	1×10^{-2}	2×10^{-3}
Fe	5,1	3,8	Zn	5×10^{-3}	5×10^{-3}
Ca	3,6	1,4	Co	3×10^{-3}	8×10^{-4}
Na	2,6	0,6	Mo	3×10^{-4}	3×10^{-4}
K	2,6	1,4	J	3×10^{-5}	5×10^{-4}
Mg	2,1	0,6	Sr	4×10^{-2}	3×10^{-2}
Ti	0,6	0,5	Ni	8×10^{-3}	4×10^{-3}
H	0,2	—	Y	$1,5 \times 10^{-2}$	1×10^{-2}
C	0,1	2,0	F	$2,7 \times 10^{-2}$	2×10^{-2}
S	0,09	0,08	Ba	5×10^{-2}	5×10^{-2}
P	0,08	0,08	Pb	$1,6 \times 10^{-3}$	1×10^{-3}
N	0,01	0,1	Sr	6×10^{-5}	6×10^{-5}

результате жизнедеятельности организмов. Одновременно с обогащением в почвах идет снижение содержания Al, Fe, Ca, Mo, K и Na по сравнению с почвообразующими породами, что является следствием действия процессов выветривания и почвообразования.

Таким образом, состав почв, с одной стороны, обусловлен в основном составом почвообразующих пород (химические и минералогические особенности как бы наследуются почвой), почвообразующая порода, являющаяся исходным материалом почв, в процессе почвообразования подвергается изменениям. При этом для всех почв характерны накопление (по сравнению с породами) органического вещества в верхних горизонтах и аккумуляция в них важнейших химических элементов питания для роста и развития растений (P, N, Ca и некоторых других микро- и макроэлементов).

Характер и масштабы изменений материнской породы зависят от особенностей проявления остальных природных факторов почвообразования, таких, как климат, рельеф и т. д.

До настоящего времени химический состав почв находится в состоянии постоянного изменения, что обусловлено непрерывностью процессов выветривания и почвообразования.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОЧВ

Органическое вещество является характерной особенностью вещественного состава почв, этим почва отличается от минеральной породы. Органических веществ в почвах содержится значительно меньше, чем минеральных. В верхних горизонтах минеральных почв может содержаться от 1 до 15% гумусовых соединений. Вместе с тем роль органического вещества почв в их развитии и особенно в создании плодородия огромна. Поэтому В. Р. Вильямс сущность почвообразования определял как синтез и разрушение органического вещества и взаимодействие его с минеральной частью почв. Количественный и качественный состав органического вещества и его распределение по профилю почвы являются важным диагностическим признаком при выделении типов почв, подтипов и более дробном делении, например, типы почв — подзолистые, серые лесные, черноземы, каштановые или подтипы — темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые.

Огромное значение органическое вещество имеет в образовании и формировании плодородия, что обуславливает важность изучения состава и свойств органического вещества. Сохранение гумуса в пахотном слое, создание бездефицитного баланса углерода являются проблемой номер один для всех типов почв.

Почва представляет ту часть биосферы, которая характеризуется своеобразным сочетанием различных составных геологической оболочки земли. При этом происходит взаимное проникновение друг в друга оболочек литосферы, атмосферы и гидросферы на фоне максимальной плотности живого вещества.

Биосфера — наружная область твердой части земного шара, в которой развилась жизнь в форме разнообразных организмов, населяющих поверхность суши, почву, нижние слои атмосферы и гидросферу. Биосфера по составу и свойствам является продуктом взаимодействия живой и неживой материи Земли.

Почва представляет собой биокосное тело природы и является составной частью биосферы. В составе почвы можно выделить 4 различных, но активно взаимодействующих между собой части:

1 — живое вещество, или биофаза почвы, — совокупность

живых организмов. Это низшие и высшие растения, животные и микроорганизмы;

2 — биогенное вещество, или продукты жизнедеятельности живых организмов, — органические остатки разной степени разложения, гумусовые вещества и некоторые каустобиолиты;

3 — костное вещество, или минеральная (неорганическая) часть почвы. Это горные породы и минералы, которые образовались без воздействия живых организмов;

4 — биокостное вещество, или органо-минеральные соединения, которые образовались и образуются процессами одновременного воздействия костной материи и живых организмов. Это, например, простые и комплексные соли гумусовых кислот, продукты взаимодействия минералов с органическими веществами.

Благодаря чрезвычайной активности повсеместного распространения и качественного своеобразия биофаза почвы играет важную роль в биосфере и выполняет следующие функции:

1. Космическая функция биосферы почвы и космическая особенность Земли в целом состоят в создании и накоплении живого вещества благодаря жизнедеятельности земных растений. Почва играет ведущую роль в этой энергетической функции. Гумусовые вещества почвы представляют солидный запас химической энергии.

2. Концентрационная функция заключается в накоплении из рассеянного состояния и выделении химических соединений и отдельных элементов в биогенных осадочных толщах. В почве происходит избирательное накопление определенных видов веществ, например, используемых для построения тела организма или удаляемых при метаболизме. Эти продукты вовлекаются в биологический круговорот веществ и энергии.

3. Деструктивная функция — синтез и разрушение органических, минеральных и органо-минеральных соединений. Ежегодно в почву поступает с опадом от 10 до 250 ц/га органических веществ, основная масса которых разлагается, минерализуется, а часть гумифицируется.

4. Средообразующая функция — преобразование физических и физико-химических параметров почвы: а) газовая среда создается в результате процессов фотосинтеза, дыхания и обмена, происходящих в почве, и обеспечивает выделение и поглощение O_2 , CO_2 , паров воды и других газов. Существуют теории, доказывающие, что атмосфера Земли образо-

валась в результате жизнедеятельности организмов; б) окислительная функция заключается в том, что зеленые растения благодаря фотосинтезу создали кислородную атмосферу Земли. Процессы образования вторичных минералов, окисление, горение, разложение органических веществ происходят за счет кислорода воздуха; в) восстановительная функция почвы осуществляется, в частности, анаэробными организмами в почвах и отдельных горизонтах без доступа кислорода.

5. Транспортная функция выражается в переносе веществ против силы тяжести и в горизонтальном направлении. В результате биологического круговорота за счет жизнедеятельности, например, зеленых растений происходит перенос химических элементов на значительное расстояние. Максимальные значения длины корней составляют десятки метров, т. е. происходит перемещение как минимум на это расстояние.

Источники органических веществ почвы. Органическое вещество почвы создается в результате жизнедеятельности высших, низших и микроскопических растений, а также животных. Масштабы поступлений органических веществ огромны. Так, в настоящее время общая биомасса Земли достигает $2,4 \times 10^{12}$ т сухого вещества, что составляет $1 \times 10^{-5}\%$ массы земной коры. В настоящее время ежегодно продуктивность живых организмов достигает 23×10^{11} т сухого вещества, т. е. 1/10 части уже имеющейся биомассы. Количество поступивших в почву органических веществ зависит от общих запасов биомассы и продуктивности организмов. При этом вклад групп и отдельных организмов также неодинаков. Наибольшее значение в поступлении углерода в почву имеет фито-

Т а б л и ц а 3

Биомасса дубово-букового леса (120 лет)

Составляющие	Биомасса
Древесные растения	274 т/га
Травянистые растения	1 т/га
Крупные млекопитающие (кабан, олень, косуля)	2 кг/га
Мелкие млекопитающие (грызуны, хищники, насекомоядные)	5 кг/га
Птицы	1,3 кг/га
Почвенная фауна	1 т/га
В том числе дождевые черви	600 кг/га

масса, что обусловлено большим количеством растений и более высокой их продуктивностью в сравнении с животными.

На примере биоценоза дубово-букового леса, расположенного в Центральной Европе, рассмотрим состав живых организмов.

Как видно из табл. 3, биомасса наземных животных обычно меньше биомассы растений, причем 90—95% зоомассы составляют беспозвоночные животные.

Главным источником органических веществ в почве являются земные растения. В результате жизнедеятельности и при отмирании земных растений значительные количества органических веществ поступают в почву. Источниками органических веществ могут быть как все высшие сосудистые растения (например, древесные — береза, ель, дуб, сосна, осина), так и низшие (например, мхи, лишайники), и многочисленные микроорганизмы растительного происхождения.

Под лесом основным источником органического вещества является **лесная подстилка**. Корневые системы древесных растений также образуют значительную массу органических веществ, но меньшую по сравнению с подземной массой.

Количества растительных остатков, ежегодно поступающих в почвы и на их поверхность, составляют для большин-

Т а б л и ц а 4

Количество органического вещества, поступающего с опадом, и запасы неразложившихся растительных остатков на поверхности почв (ц/га сухого вещества) по данным Л. Е. Родина и Н. И. Базилович, 1965

Тип растительности	Ежегодный опад	Надземная часть в опаде	Лесная подстилка или травя- нистый войлок
Арктические и субарктические ценозы	10—24	2,6—9,0	35—50
Хвойные породы	33—35	18—23	300—460
Широколиственные леса	65	40	150
Луговые степи	137	80	120
Сухие степи	42	15	15
Пустыни	12	1	нет
Влажные субтропические леса	210	149	100
Однолетние с.-х. культуры	30—40	—	—
Клевер	60—70	—	—
Люцерна	110—120	—	—

ства типов растительности десятки центнеров на гектар (табл. 4). Так, под еловым лесом ежегодно в виде опада поступает 4—7 т/га органических веществ на поверхность почвы. Общие запасы подстилки при этом могут достигать 50 т/га.

Древесные растения являются многолетними. Общее для них то, что у них ежегодно отмирает лишь часть органического вещества, которая синтезируется растениями. При этом 80—90% органического вещества поступает на поверхность почвы в виде наземного опада. Травянистые растения являются однолетними и многолетними, они откладывают мертвые органические остатки как на поверхности почвы, так и внутри ее за счет отмирания корневых систем. При этом 60—80% органического вещества может поступать не на поверхность, а непосредственно в почвенный профиль. Кроме этого, важным источником органических веществ в почве являются разнообразные микроскопические растения (бактерии, грибы, водоросли).

Бактерии. Содержание этих микроорганизмов в почве может достигать нескольких миллиардов на 1 г почвы. Так, при содержании 5 млрд. на 1 г дерново-подзолистой почвы, а это вполне реальная цифра, общая биомасса бактерий в слое 25 мм составляет 3 т/га (т. е. усваивают углерод готовых органических соединений).

Автотрофные бактерии усваивают углерод из углекислого газа. Для превращения углерода CO_2 в органические соединения они используют энергию солнца (фотосинтез) или химическую энергию окисления некоторых веществ (хемосинтез).

Гетеротрофы (сапрофиты) разлагают органическое вещество почв и в этом выражается особое значение бактерий.

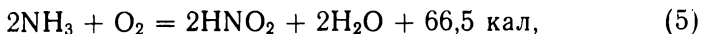
По типу дыхания бактерии делятся на аэробные, требующие свободного кислорода атмосферы для своей жизнедеятельности, и анаэробные, не нуждающиеся в нем.

Бактерии представляют собой биологически активные живые организмы. Они интенсивно потребляют для своего питания органическое вещество. В жаркий день при оптимальных условиях бактерии на площади 1 га сжигают (окисляют) углерод со скоростью, эквивалентной 1—8 кг каменного угля в час, и могут производить энергетические затраты до 2 лошадиных сил в час.

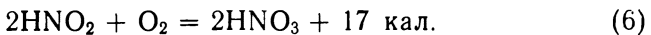
Автотрофные бактерии осуществляют в почве важные про-

цессы нитрификации, сульфификации, т. е. осуществляют переход одних форм химических соединений в другие.

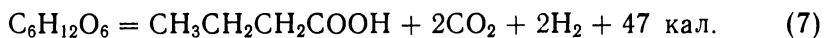
Нитрификация заключается в окислении азота аммиака вначале в азотистую кислоту



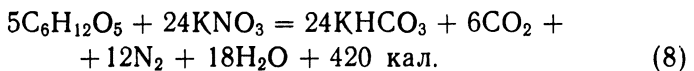
а затем в азотную кислоту



Гетеротрофные бактерии также выполняют важные функции в почве. Особенно велика их роль в процессах превращения органических веществ и аммонификации, т. е. разложении азотсодержащих органических веществ до аммиака, а также в процессах брожения, денитрификации и других преобразованиях. Брожение углеводов идет по уравнению



Денитрификация представляет собой процесс восстановления нитратов до молекулярного азота, происходит при участии следующих групп бактерий: *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter* и некоторых других:



В почве имеется также группа почвенных бактерий, которая участвует в биологической фиксации азота. Это аэробные почвенные организмы семейства *Azotobacter*, анаэробные бактерии семейства *Clostridium* и клубеньковые бактерии (*Rhizobium*).

Микроскопические грибы могут достигать порядка 1×10^6 шт. на 1 г почвы. В почве встречаются, как правило, грибы сапрофиты, которые представлены плесневыми грибами и актиномицетами (*Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Actinomycetes*). Общая биомасса грибов в почве может достигать от 1,3 до 4 т/га. Большинство грибов имеет оптимум развития в кислой реакции среды (pH 4,5—5,5), а актиномицеты, как правило, — в нейтральной и слабощелочной среде (pH 7,0—7,5). Значительная масса грибов наблюдается в верхнем горизонте почв. Большая часть этих живых организмов относится к свободноживущим. Плесневые грибы активно могут образовывать микоризу вокруг корней растений и таким образом вступать в симбиоз с высшими растениями. Грибы активно участвуют в процессах пре-

вращения вещества и энергии в почвах. Они агрессивно разлагают органические остатки в почвах, причем им доступны такие устойчивые к разложению соединения, как целлюлоза, лигнин и другие вещества.

Водоросли также находятся в почве и могут достигать нескольких десятков и даже сотен тысяч на 1 г почвы. Это автотрофные растительные организмы, т. е. они способны самостоятельно синтезировать органическое вещество. Они являются дополнительным поставщиком в почву органических веществ. В почве встречаются сине-зеленые, желто-зеленые и диатомовые группы водорослей. Почвенные водоросли способствуют аэрации почвы, поскольку при их жизнедеятельности высвобождается кислород, могут также служить пищей другим почвенным организмам. Водоросли стимулируют развитие бактерий и являются объектом питания многих позвоночных и беспозвоночных.

Дополнительным источником получения органического вещества в почве являются населяющие ее представители животного мира. К животному миру, принимающему активное участие в жизни почвы, относят различных представителей простейших, беспозвоночных и позвоночных животных.

Простейшие (Protozoa) — одноклеточные животные могут составлять $1,5 \times 10^6$ шт. на 1 г почвы. При этом общая биомасса может достигать 200—500 кг/га. Это в основном **амебы** (корненожки), жгутиковые инфузории, реснитчатые инфузории. Простейшие являются, помимо источника органических веществ в почвах, также и регуляторами численности почвенных бактерий, так как они питаются преимущественно микроорганизмами, населяющими почву (бактериями, водорослями, спорами грибов). Среди беспозвоночных особенно большая роль в процессах почвообразования и создания плодородия почвы принадлежит дождевым червям. Число дождевых червей может, например, достигать $1,5 \times 10^6$ шт. в слое почвы 45 см на площади в 1 га. При этом их общая биологическая масса может составлять 3,4—4,5 т/га. Дождевые черви затаскивают растительный опад внутрь почвенной толщи, поедают его вместе с минеральной массой и пропускают эту смесь через пищеварительный тракт. Черви могут перерабатывать и выносить на поверхность почвы до 20 г своих выделений на площади в 1 га. Переработанная земляными червями почва обычно обладает зернисто-комковатой структурой. Кроме этого, выделения (капролиты) земляных червей содержат соответственно на 370, 650 и 1100% больше азота,

фосфора и калия, чем окружающая почва, т. е. черви активно изменяют общее содержание и режим основных элементов питания растений. Таким образом, в результате деятельности червей наблюдается преобразование физических свойств, а также глубокие химические изменения состава и свойств почв и грунтов.

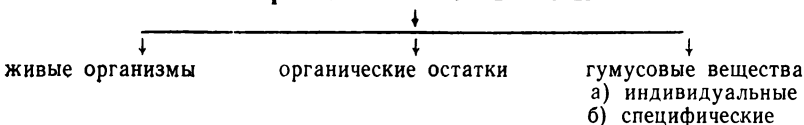
Необходимо сказать о насекомых, которые также оказывают существенное влияние на почвообразовательный процесс. Роющая деятельность жуков, муравьев и других, использование ими некоторых компонентов для своего питания способствуют аэрации и дренированию почвы.

Среди позвоночных, активно участвующих в почвообразовании, наибольшая роль принадлежит грызунам, которые проделывают в почвенной толще много ходов, перемешивая и выбрасывая на поверхность огромное количество почвогрунта. В степных районах землерои настолько сильно перемешивают верхние горизонты с нижними карбонатными засоленными, что это приводит к образованию своеобразного микрорельефа.

Состав органической части почвы

Органическая часть почвы представлена живыми организмами (живая фаза, или биофаза), неразложившимися органическими остатками и гумусовыми веществами.

Органическая часть почвы



Живые организмы были уже рассмотрены выше. Теперь необходимо дать определение органическим остаткам.

Органические остатки — это органические вещества, ткани растений и животных, частично сохранившие исходную форму и строение. При этом следует отметить разный химический состав различных остатков.

Гумусовые вещества представляют собой все органические вещества почвы, за исключением живых организмов и их остатков, не утративших тканевое строение. Общепринято подразделять их на специфические собственно гумусовые вещества и неспецифические органические вещества индивидуальной природы.

Неспецифические гумусовые вещества содержат вещества индивидуальной природы: а) азотистые соединения, например, простые и сложные, белки, аминокислоты, пептиды, пуриновые основания, пиримединовые основания; углеводы; моносахариды, олигосахара, полисахариды; б) лигнин; в) липиды; г) смолы; д) дубильные вещества; е) органические кислоты; ж) спирты; з) альдегиды.

Таким образом, неспецифические органические вещества представляют собой индивидуальные органические соединения и промежуточные продукты разложения органических остатков. Они составляют приблизительно 10—15% от общего содержания гумуса минеральных почв и могут достигать 50—80% от всей массы органических соединений в торфяных горизонтах и лесных подстилках.

Собственно гумусовые вещества представляют собой специфическую систему высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений циклического строения и кислой природы. По данным многих исследователей, строение молекулы гумусового соединения имеет сложный характер. Установлено, что основными компонентами молекулы являются ядро, боковые (периферические) цепочки и функциональные группы.

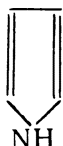
Полагают, что ядро представляет собой ароматические и гетероциклические кольца, состоящие из пяти- и шестичленных соединений типа



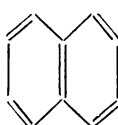
бензола



фурана



пиrolа

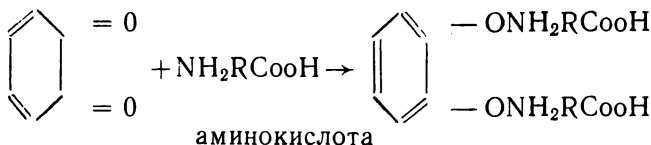


нафталина



индола

От ядра к периферии молекулы отходят боковые цепочки. Они представлены в молекуле гумусовых соединений аминокислотными, углеводными и другими цепочками.



В составе гумусовых веществ присутствуют карбоксильные ($-\text{COOH}$), фенолгидроксильные ($-\text{OH}$), метоксильные ($-\text{CH}_3\text{O}$) и спиртовые гидроксильные. Эти функциональные группы определяют химические свойства гумусовых веществ.

Характерной особенностью системы собственно гумусовых веществ является неоднородность, т. е. наличие в ней различных по стадии гумификации компонентов. Из этой сложной системы выделяют три группы веществ: а) гуминовые кислоты; б) фульвокислоты; в) гумины, или, точнее, негидролизующий остаток.

Гуминовые кислоты (ГК) — темноокрашенная группа гумусовых веществ, экстрагируемая из почвы щелочными растворами и осаждаемая минеральными кислотами при pH 1—2. Они характеризуются следующим элементарным составом: содержание С от 48 до 68%, Н — 3,4—5,6%, N — 2,7—5,3%. Эти соединения практически не растворимы в воде и минеральных кислотах. Из растворов ГК легко осаждаются кислотами H^+ , Ca^{++} , Fe^{3+} , Al^{3+} . Это гумусовые соединения кислот природы, которая обусловлена карбоксильными и фенолгидроксильными функциональными группами. Водород этих групп может замещаться на другие катионы. Способность к замещению зависит от природы катиона, pH среды и других условий. При нейтральной реакции замещаются ионы водорода только карбоксильных групп. Емкость поглощения за счет этого свойства ГК составляет от 250 до 560 мг·экв на 100 г ГК. При щелочной реакции емкость поглощения возрастает до 600—700 мг·экв/100 г ГК за счет способности к замещению ионов водорода гидроксильных групп. Молекулярная масса ГК при определении различными методами изменяется от 400 до сотен тысяч. В молекуле ГК наиболее четко представлена ароматическая часть, масса которой преобладает над массой боковых (периферических) цепочек.

Гуминовые кислоты не имеют кристаллической структуры, основная масса их находится в почве в виде гелей, которые легко пептизируются при действии щелочей и образуют молекулярные и коллоидные растворы.

При взаимодействии ГК с ионами металлов образуются соли, которые получили название **гуматов**. Гуматы NH_4^+ , Na^+ , K^+ хорошо растворимы в воде и могут образовывать коллоидные и молекулярные растворы. Роль этих соединений в почве огромна. Например, гуматы Са, Mg, Fe и Al в основном малорастворимы, могут образовывать водопрочные гели, при этом переходить в неподвижное состояние (аккумуля-

ция), а также являются основой образования водопрочной структуры.

Фульвокислоты (ФК) — специфическая группа гумусовых веществ, растворимая в воде и в минеральных кислотах. Характеризуется следующим химическим составом: содержание С от 40 до 52%; Н — 5—4, кислорода — 40—48, N — 2—6%. Фульвокислоты в отличие от ГК хорошо растворимы в воде, кислотах и щелочах. Растворы имеют желтый или соломенно-желтый цвет. Отсюда эти соединения и получили свое название по-латински *fulvus* — желтый. Водные растворы ФК имеют сильноокислую реакцию среды (рН 2,5). Молекулярная масса фульвокислот, определенная различными методами, имеет значение от 100 до нескольких сотен и даже тысяч условных единиц массы.

Молекула фульвокислоты имеет более простое строение по сравнению с гуминовыми кислотами. Ароматическая часть этих соединений менее четко выражена. В строении молекулы ФК преобладают боковые (периферические) цепочки. Активными функциональными группировками являются карбоксильные и фенолгидроксильные группы, водород которых вступает в обменные реакции. Емкость обмена ФК может достигать 700—800 мг·экв на 100 г препаратов фульвокислот.

При взаимодействии с минеральной частью почвы фульвокислоты образуют органо-минеральные соединения с ионами металлов, а также минералами. Фульвокислоты, благодаря сильноокислой реакции и хорошей растворимости в воде, активно разрушают минеральную часть почвы. При этом образуются соли фульвокислот, которые обладают большой подвижностью в профиле почв. Органо-минеральные соединения фульвокислот активно участвуют в миграции вещества и энергии в профиле почв, в формировании, например, отдельных генетических горизонтов.

Негидролизуемый остаток (гумины) — группа гумусовых веществ, представляющая собой остаток не растворимых в щелочах органических соединений почвы. Эта группа состоит как из собственно гумусовых веществ, например, гумины состоят из гуминовых кислот, прочносвязанных с минералами, так и из прочносвязанных индивидуальных веществ и органических остатков разной степени разложения с минеральной частью почвы.

Основные процессы превращения органических веществ в почвах

Органические остатки претерпевают разнообразные химические и биохимические превращения вначале в почвообразующей породе, а затем и в почве.

При попадании органических веществ в почву они подвергаются действию воды и воздуха. При этом происходят разнообразные химические преобразования: растворение, осаждение, гидролиз, выщелачивание, окисление, восстановление растительных остатков. Окислительно-восстановительные процессы в почве, как правило, идут при участии биологических катализаторов, сохраняющих свою активность по отношению к органическим остаткам даже после смерти живых организмов. Например, побурение опавших листьев происходит в результате окисления ароматических соединений под влиянием биологических катализаторов — ферментов, или, как мы называем, энзим-оксидаз. Животные также активно участвуют в химических и биохимических превращениях органических веществ почвы. Влияние деятельности животных на превращение органических веществ в почве довольно велико. Оно складывается из их прямого и косвенного воздействия на органическую и минеральную части почв. Так, **механическое** воздействие, т. е. измельчение растительных остатков, способствует более быстрому их преобразованию (химическому, биохимическому или микробиологическому). При действии живых организмов происходит перемешивание растительных остатков и продуктов их превращений с минеральной частью почвы и перенос вглубь. Это способствует более полному взаимодействию органических веществ с минералами и другими неорганическими компонентами почвы. Рыхление и аэрация почвы активно влияют на превращение органики — **косвенное** влияние. **Химическое и биохимическое** воздействие животных — это в основном процессы, происходящие с растительными остатками или другими живыми организмами, используемыми животными для питания. Например, растительные остатки, употребляемые животными, частично разлагаются до CO_2 и H_2O , т. е. происходит минерализация.

Большая часть органических веществ может использоваться на построение биомассы животного с образованием белков, жиров, углеводов и других соединений. Остальная часть, не усваиваемая животными, выделяется в виде экскрементов, активно участвующих в процессах дальнейшего превращения

органических веществ в почвах. Экскременты обогащены активной микрофлорой. На примере деятельности дождевых червей рассмотрим, как животные способствуют превращению органики в почвах. Один червь поедает в месяц в среднем 0,6 г органического вещества. Если количество червей на 1 м² составляет 30 шт., то за полгода, т. е. в период своей активной жизнедеятельности, черви перерабатывают приблизительно 1000 кг = 1 т. Это в среднем составляет 1/4--1/5 часть ежегодного растительного опада.

Огромно воздействие микроорганизмов на превращение органических веществ в почве. Одно из ведущих мест в процессах разложения органических и образования гумусовых веществ принадлежит микроскопическим растениям (бактериям, грибам, водорослям).

Воздействие микроорганизмов на превращение веществ в почвах характеризуется двумя направлениями:

а) использование для питания. Это в основном легкоусвояемые органические остатки и вещества, например, сахара, аминокислоты, спирты, которые активно используют в пищу;

б) изменение и разрушение грубых органических остатков и сложных устойчивых соединений под влиянием разнообразных ферментов, выделяемых микроорганизмами, например, гидролитических энзимов, гидролаз. При этом сложные органические вещества превращаются в более простые, которые легко усваиваются растениями и животными, а затем происходит их дальнейшее превращение. Например, белки расщепляются на пептиды, а они, в свою очередь, разлагаются микроорганизмами на аминокислоты. При участии микроорганизмов происходит гидролиз жиров, в результате которого образуются глицерин и жирные кислоты, гидролиз таких термодинамически устойчивых соединений, как целлюлоза, крахмал с образованием моносахаридов, олигосахаров и т. д. При этом качественно меняется состав органической части почвы, например, 60—80% сухой массы бактерий составляют азотистые соединения, в основном белки. Таким образом, под действием микрофлоры происходит глубокое качественное изменение органических остатков. Микробные клетки богаты белком, поэтому происходит увеличение относительного содержания азота. Отмирая, микроорганизмы, особенно бактерии, обогащают почву этим химическим элементом.

Из всего многообразия химических и биохимических процессов превращения органических веществ можно выделить

следующие основные процессы: минерализацию, гумификацию и консервацию.

Минерализация — последовательное разрушение органических веществ, при котором происходит образование простых минеральных соединений (органические кислоты, NH_3 , H_2O , CO_2).

Гумификация — сложные биохимические процессы разложения органических остатков и одновременного синтеза высокомолекулярных гумусовых веществ (гуминовые кислоты, фульвокислоты и негидролизуемый остаток).

Консервация — торфообразование — накопление на поверхности почвы слабо разложившихся растительных остатков вследствие весьма замедленной гумификации и минерализации органических веществ.

Значение гумуса в почвообразовательных процессах и формировании плодородия почв

Почва качественно отличается от материнской горной породы, в ней содержатся гумусовые вещества, точнее органо-минеральные соединения. Гумусу принадлежит ведущая роль в химическом и биологическом выветривании минералов и горных пород и разнообразных процессах разрушения минеральной части почвы.

Особенно активно разрушают минералы фульвокислоты. Они энергично растворяют многие труднорастворимые соединения: углекислые, фосфорнокислые соли, оксиды и гидроксиды полуторных окислов.

Гумусовым веществам почвы принадлежит специфическая роль в формировании почв профиля. Так, фульвокислоты играют большую роль в процессах подзолообразования, гуминовые кислоты — в дерновом процессе, в образовании почв с повышенным количеством гумусовых веществ. В южных областях наблюдается повышенное содержание в почвах гуматов натрия. Они передвигаются по профилю почвы, увлекая при этом за собой гидрозоль кремния, железа, алюминия.

При разложении органического вещества в почве образуются значительные количества CO_2 . Гумусовые вещества почвы являются источниками основных элементов питания растений. Содержание в почве подвижных форм азота, фосфора, калия, многих микроэлементов определяется общим количеством гумуса, его составом и свойствами.

Механический состав, общие физические и физико-механические свойства, цвет, водно-физические параметры почв зависят от содержания и состава гумуса.

Гумус определяет основные химические и физико-химические свойства почв, такие, как емкость поглощения, реакция среды, буферность и другие. Общеизвестна роль гумуса в формировании агрономически ценной структуры, которая, в свою очередь, обеспечивает растения достаточным количеством воды и воздуха на протяжении всего вегетационного периода.

В настоящее время является доказанным непосредственное влияние гумусовых веществ на рост и развитие растений. Поступление гумуса, его составных частей в растения обеспечивают ускорение роста и развития за счет физиологического воздействия на фотосинтез, дыхание и другие жизненно важные процессы. При этом гумусовые вещества могут служить источниками питания (азот, микроэлементы из состава гумуса). Гумусовые соединения влияют на поступление азота, фосфора и калия и некоторых микроэлементов в растения и их распределение по органам растений. Поэтому необходимо заботиться о сохранении гумуса и проводить мероприятия, направленные на регулирование общего содержания и состава гумуса почв.

Мероприятия по регулированию гумусового состояния почв

Гумусовое состояние почвы — система показателей, характеризующих содержание, запасы гумуса, профильное его распределение, обогащенность азотом, тип гумуса и его фракционный состав. Некоторые из этих показателей приведены в табл. 5.

Для создания бездефицитного баланса углерода в почвах, т. е. стабильного содержания гумуса, которое обеспечит получение высоких урожаев основных сельскохозяйственных культур, требуется проведение следующих мероприятий:

1. Систематическое внесение в почву органических удобрений, таких, как навоз, торф, органические компосты.
2. Применение зеленых удобрений (сидераты), позволяющих восполнить потери углерода из почвы.
3. Травосеяние, способствующее повышению общего содержания гумуса почвы и улучшению его состава.
4. Известкование кислых почв, положительно влияющее на биологическую активность и гумусонакопление в этих регионах.

5. Гипсование солонцовых почв, которое улучшает количественный состав гумуса и приводит к прогрессивному увеличению их плодородия.

6. Применение современных и своевременных агротехнических приемов, способствующих предохранению или уменьшению потерь гумуса из-за водной и ветровой эрозии и других неблагоприятных явлений.

Т а б л и ц а 5

Показатели гумусового состояния почв (Орлов, Гришина, 1981)

Показатель	Уровень, характер признака	Пределы величины
Содержание гумуса, %	Очень высокий Высокий Средний Низкий Очень низкий	> 10 6—10 4—6 2—4 > 2
Запасы гумуса в слое 0—20 см (0—100 м), т/га	Очень высокий Высокий Средний Низкий Очень низкий	> 200 (600) 150—200 (400—600) 100—150 (200—400) 5—100 (100—200) < 50 (100)
Обогащенность гумуса азотом, C : N	Очень высокий Высокий Средний Низкий Очень низкий	< 5 5—8 8—11 11—14 > 14
Степень гумификации органического веществ, $\frac{C_{гк}}{C_{общ.}} \cdot 100\%$	Очень высокий Высокий Средний Слабый Очень слабый	> 40 30—40 30—20 20—10 < 10
Тип гумуса, $\frac{C_{гк}}{C_{фк}}$	Гуматный Фульватно-гуматный Гуматно-фульватный Фульватный	> 2 2—1 1—0,5 < 0,5

7. Внесение гуминовых удобрений, которые находят все более широкое применение в сельском хозяйстве. Эти удобрения действуют как биологические стимуляторы, вызывающие ускорение роста и развития многих сельскохозяйственных культур, например, кукурузы, пшеницы, овса, подсолнечника и некоторых других. При этом происходит увеличение

продуктивности растений и улучшение качества урожая. Гумусовые удобрения улучшают структуру почвы и создают в ней более благоприятный режим питательных элементов. Очень эффективно действие гумусовых препаратов на фоне неблагоприятных условий среды, например, повышенной радиоактивности, большого содержания тяжелых металлов или значительной дозы токсичных пестицидов. Это мероприятие особенно актуально в связи с решением проблем охраны почв.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ. ВОДНЫЙ, ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Твердая фаза любой почвы или почвообразующей породы состоит из минеральных, органических или органо-минеральных частичек (зерен), разнообразных размеров.

Гранулометрический состав почв и грунтов

Характеристика почвенной (грунтовой) твердой фазы по величинам диаметров слагающих ее зерен (частичек) носит название **гранулометрического состава**.

Из всего разнообразия по размеру частичек выделяют три группы гранул:

механические элементы (первичные зерна),

агрегаты (вторичные зерна),

структурные отдельности (зерна как бы третьего порядка).

Таким образом, гранулометрический состав включает в себя механический состав, агрегатный анализ и структуру почв.

Механический состав почв — это относительное содержание механических элементов, выраженное в процентах. Механические элементы (табл. 6), элементарные почвенные частички (первичные зерна), которые образовались в процессе выветривания, отличаются между собой размером, минералогическим и химическим составом. Цель механического анализа — установление механического состава почв. Для классификации почвообразующих пород и почв по механическому составу фракции механических элементов объединяют в более крупные группы. Сумма фракций, размеры частиц которых меньше 0,01 мм, называется физической глиной; все частички, размеры которых находятся в пределах от 0,01 до 1 мм, относятся к физическому песку, а фракции больше 1 мм

Классификация механических элементов (Н. А. Качинский)

Размер механических элементов	Название фракции механических элементов
>3	Каменистая часть почв
3—1	Песок крупный
1—0,25	Песок средний
0,25—0,05	Песок мелкий
0,05—0,01	Пыль крупная
0,01—0,005	Пыль средняя
0,005—0,001	Пыль мелкая
$1 \cdot 10^3$ — $1 \cdot 10^{-4}$	Ил
$1 \cdot 10^{-4}$	Коллоиды

называются скелетом почв. Одна из первых классификаций почв по механическому составу была сделана Н. М. Сибирцевым. Она основана на соотношении между фракциями физической глины и физического песка. В настоящее время наиболее часто в почвенных исследованиях используется классификация Н. А. Качинского. В этой классификации (табл. 7),

Таблица 7

Классификация почв и грунтов по механическому составу (Н. А. Качинский)

Название по механическому составу	Содержание физической глины. Сумма механических элементов <0,01 мм, %		
	лесные почвы (ненасыщенные основаниями)	степные почвы (насыщенные основаниями)	солонцы и сильно-солонцеватые почвы
Песок рыхлый	0—5	0—5	0—5
Песок связный	5—10	5—10	5—10
Супесь	10—20	10—20	10—20
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

кроме соотношений физической глины и физического песка, введено понятие преобладающие фракции. Таких фракций выделено пять: гравелистая (3—1 мм), песчаная (1—0,05 мм),

крупнопылеватая (0,05—0,01 мм), пылеватая (0,01—0,01 мм) и илистая (0,001 мм). При определении почвы к основному ее названию по механическому составу добавляют две преобладающие фракции, причем на последнем месте указывается преобладающая фракция.

При характеристике механического состава почв и грунтов, кроме состава мелкозема, учитывается содержание скелетной, или каменной части, т. е. фракции с диаметром более 3 мм (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Классификация почв по каменности (Н. А. Качинский)

Содержание частиц >3 мм, % от массы почвы	Степень каменности	Типы каменности
<0,5 0,5— 5,0	Некаменная Слабокаменная	В зависимости от преобладания в почве могут быть валунные Галечниковые и щебенчатые
5,0—10,0	Слабокаменная	
>10,0	Сильнокаменная	

Механический состав можно определить лабораторными и полевыми методами. Среди полевых методов используют сухой и влажный способы. При сухом способе механический состав определяют по внешним (морфологическим) свойствам, таким, как твердость, выраженность ребер, граней, прочность агрегатов, содержание песка и пыли на ощупь и при растирании. При влажном способе для определения механического состава используют пластичность. Пластичность определяется механическим составом, т. е. содержанием тяжелых механических элементов. Наибольшей пластичностью обладают глины. Суть определения заключается в приготовлении почвы, ее увлажнении до состояния густого теста и лепки последовательно шара, шнура, кольца и восьмерки. Затем по пластичности, определенной простым способом, делают вывод относительно механического состава.

Существуют много лабораторных методов, например, метод отмучивания, сифонный метод, определение плотности раствора. В настоящее время в нашей стране наибольшее распространение получил метод пипетки в варианте Н. А. Качинского.

Для полного механического анализа вначале на ситах с

диаметром отверстий 0,25; 1,6; 2,0; 5,0; 7,0; 10,0 мм выделяют крупные фракции почвы, крупный песок и скелетную часть. Механические реакции $< 0,25$ м разделяют путем приготовления суспензии и взмучивания ее. При спокойном отстаивании взмученные частички будут оседать на дно сосуда. Скорость падения различных по размеру частиц определяют по формуле Стокса:

$$V = \frac{2r^2g}{9\eta}(\rho - \rho_{\text{H}_2\text{O}}),$$

где V — скорость падения почвенных частиц, см/с,
 r — радиус почвенных частиц, см,
 ρ — плотность почвенной частицы,
 $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ — плотность жидкости, в которой происходит седиментация (чаще всего это вода),
 η — вязкость жидкости.

После установления скорости осаждения механических элементов разного диаметра отбирают пробы почвенной суспензии специальной пипеткой, выпаривают воду, определяют массу пробы на аналитических весах и рассчитывают содержание фракции механических элементов (в % от массы почвы).

Агрегатный состав почвы характеризует ее по размерам диаметров вторичных зерен (агрегатов), возникающих из механических частиц в процессе коагуляции, мицелл или цементации. В естественных условиях в почве механические элементы соединены в сложную систему микро- и макроагрегатов различными органическими минеральными и органо-минеральными соединениями. Между механической частицей любого диаметра и агрегатом того же внешнего диаметра существуют различия. Как правило, агрегаты состоят из отдельных механических элементов, соединенных между собой. Механические элементы представляют собой монолитные частички, суммарная внешняя поверхность которых определяется их формой. Агрегат отличается не только внешней, но и внутренней поверхностью микроспор. Агрегаты представляют собой более или менее рыхлую массу с внутренней микропористостью. Эта масса заполнена водой или воздухом. По размерам выделяют микроагрегаты, диаметр которых меньше 0,25 мм, и макроагрегаты с диаметром больше 0,25 мм. Совокупность отдельных механических элементов агрегатов более крупных частичек дает нам представление о структуре почвы.

Структура почвы

Структура почвы оказывает большое влияние на ее агрономические свойства и плодородие. Она в значительной мере определяет водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почв, т. е. главные условия, обуславливающие урожай всех сельскохозяйственных растений.

Различают структуру почвы и структурность.

Структура почвы — форма, размер и взаимное расположение структурных отдельных частей, на которые естественно распадается почва.

Структурность — способность почвы распадаться на агрегаты, размер и форма которых характерны для каждого типа структуры.

Структурные отдельные части носят название почвенные агрегаты. Они являются естественной сложной почвенной отдельностью, образовавшейся из микроагрегатов или элементарных почвенных частиц в результате их взаимодействия под влиянием физических, химических, физико-химических и биологических процессов.

По форме структурных отдельных частей выделяют три типа структуры (С. А. Захаров).

1. Кубовидная — структурные отдельные части равномерно развиты в трех позициях, например, глыбистая, комковатая, ореховатая и зернистая.

2. Призмовидная — развитие вертикальных граней и ребер структурных отдельных частей преобладает над горизонтальными, такими как столбовидная, столбчатая, призматическая.

3. Плитовидная — структурные отдельные части имеют преобладающее развитие горизонтальных граней и ребер, например, плитчатая, чешуйчатая.

В зависимости от размера выделяют группы структур (П. В. Вершинин):

- 1 — мегаструктура (глыбистая) > 10 мм;
- 2 — макроструктура 10—0,25 мм;
- 3 — грубая микроструктура 0,25—0,01 мм;
- 4 — тонкая микроструктура $< 0,01$ мм.

С агрономической точки зрения, наиболее ценной является мелкокомковатая, или зернистая водопрочная структура, с размерами агрегатов в пределах от 0,25 до 1,0 мм. В почве с такой структурой (табл. 9) создаются оптимальные воздушные и водно-физические условия для развития корневой системы растений, что способствует интенсивному развитию

микробиологической активности и мобилизации питательных веществ.

Со временем структура может нарушиться в результате влияния многих факторов:

1. Изменение внешних условий — действие дождя или ветра, колебание температур — постоянно приводит к разрушению структурных отдельностей.

Т а б л и ц а 9

Шкала структурного состояния почвы

Структурное состояние	Содержание агрегатов размером 0,25—10 мм, % к массе почвы	
	воздушно-сухие	водопрочные
Отличное	>80	>70
Хорошее	80—60	70—55
Удовлетворительное	60—40	55—40
Неудовлетворительное	40—20	40—20
Плохое	<20	<20

2. Обработка почвы плугами и другими сельскохозяйственными орудиями вызывает крошение, распыление почвы.

3. Изменение физико-химических свойств почв может привести почву в бесструктурное состояние, например, к изменению состава обменных катионов. Так, натрий в ППК вызывает диспергирование почвенных коллоидов, что ведет к разрушению агрегатов и структурных отдельностей.

4. Минерализация гумусовых компонент структурных отдельностей до конечных продуктов CO_2 , H_2O и минеральных солей приводит к разрушению гумуса, при этом утрачивается водопрочность структуры.

В результате действия названных выше процессов почва может превратиться в бесструктурную массу.

Бесструктурная почва — это почва, в которой отдельные механические элементы не соединены между собой в почвенные агрегаты, а существуют отдельно или залегают одной сплошной сцементированной массой. Типичный пример бесструктурной почвы — рыхлый песок или слитые иллювиальные горизонты тяжелых по механическому составу почв.

Для создания агрономически ценной структуры и поддержания ее оптимальных свойств используются агротехниче-

ские мероприятия, мелиоративные приемы и структурообразователи.

Агротехнические мероприятия включают в себя приемы современной агротехники, такие, как своевременная и правильная обработка почвы, соблюдение севооборотов с обязательным посевом многолетних трав, сидератов. Химическая мелиорация предполагает систематическое внесение органических удобрений, известкование кислых и гипсование солонцовых почв. Очень эффективно применение природных и искусственных структурообразователей.

Внесение угольного и торфяного клея, отходов целлюлозной и сахарной промышленности со временем улучшает структуру почв. Наибольший эффект получен от применения искусственных полимеров и сополимеров, которые называют крилумами. Это производные акриловой, метакриловой и maleиновых кислот. Внесение незначительных доз полимера в концентрации 0,001% от массы почвы существенно увеличивает водопрочность структуры.

Значение гранулометрического состава почв при изучении плодородия трудно переоценить. Он определяет в значительной мере химический, минералогический состав и другие свойства почв. Так, химический состав лессовидного суглинка для отдельных механических фракций имеет существенные различия (табл. 10).

Т а б л и ц а 10

Валовой химический состав фракций механических элементов
(С. С. Морозов), % на бескарбонатную почву

Фракция механических элементов, мм	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +P ₂ O ₅
Исходная смесь	73,64	4,95	10,02
0,05—0,01	86,77	1,29	5,94
0,001—5,4·10 ⁻⁴	51,48	11,39	20,23
4·10 ⁻⁴ —2,8·10 ⁻⁴	45,71	10,81	20,82
2,2·10 ⁻⁴	45,71	12,13	21,27

Минералогический состав отдельных фракций механических элементов также сильно различается. В физическом песке преобладают первичные минералы (табл. 11), а в физической глине — вторичные глинистые минералы.

Гранулометрический состав определяет многие свойства почвы: **физические** — плотность, пористость; **водно-физиче-**

Минералогический состав отдельных фракций механических элементов (А. А. Роде), % от массы фракции

Фракция, мм	Минералы				
	кварц	полевые шпаты	слюды	амфиболы	прочие
1—0,25	86	14	—	—	—
0,25—0,05	81	12	—	4	3
0,05—0,01	72	15	7	2	4
0,01—0,005	63	8	21	5	3
<0,005	10	10	67	7	6

ские — влагоемкость, фильтрационные параметры; **физико-механические** — пластичность, липкость, твердость; **тепловые** — нагревание, теплоемкость; **химические и физико-химические** — емкость поглощения, буферность и некоторые другие.

Общие физические свойства почв

Все физические свойства почв можно разделить на две группы:

- 1 — общие физические (плотность, пористость);
- 2 — физико-механические (пластичность, липкость, набухание, твердость).

Основные физические свойства — плотность твердой фазы, плотность почвы в естественном сложении и пористость почвы — являются определяющими для других физических свойств.

Плотностью вещества называют массу единицы его объема. Обозначается d , измеряется в г/см³.

В почвоведении выделяют плотность твердой фазы почвы и плотность почвы в естественном сложении.

Плотностью твердой фазы почвы ($d_{тф}$) называется отношение массы твердой фазы почвы в сухом состоянии к массе равного объема воды. Эта величина зависит от химического и минералогического состава почв. В минеральных почвах величина ($d_{тф}$) изменяется в пределах от 2,4 до 2,8, чаще в интервале 2,5—2,65. Богатые органическим веществом торфяные почвы могут иметь значения плотности твердой фазы 1,4—1,8.

Плотность почвы в естественном сложении (d_{ec}), или объемная масса, — масса единицы объема почвы в естественном

сложении, характеризует массу почвы вместе с порами и определяется взаимным расположением почвенных частичек и агрегатов.

Величина объемной массы всегда будет меньше значений плотности твердой фазы почвы. Величина плотности почвы изменяется в широких пределах (от 0,9 до 1,8 г/см³, (табл. 11) почти для всех минеральных почв, а для торфяных горизонтов и торфов, богатых органическим веществом, может достигать 0,15—0,40 г/см³.

Т а б л и ц а 11

Плотность почвы в естественном сложении (Н. А. Качинский), г/см³

Плотность	Оценка показателя
1	Почва вспушена или богата органическим веществом
1,0—1,1	Характерные значения для окультуренной свежевспаханной почвы
1,2	Пашня уплотнена
1,3—1,4	Сильно уплотненный пахотный горизонт
1,4—1,6	Типичные значения для подпахотного горизонта различных почв
1,6—1,8	Сильно уплотненные иллювиальные горизонты

Объемная масса определяется механическим составом, минералогическими компонентами и содержанием органических веществ.

Тяжелые по механическому составу почвы, например глинистые, имеют большие значения массы по сравнению с верхними гумусированными горизонтами. Так, верхние горизонты малогумусных дерново-подзолистых почв имеют значение 1,2—1,4 г/см³, нижние горизонты (иллювиальные) уплотнены, значения d_{ec} в пределах 1,6—1,8 г/см³. Для черноземов характерны большие величины объемной массы почвы. Так, гумусовый горизонт имеет значения d_{ec} 0,9—1,2 г/см³, а для нижних характерно возрастание этого показателя до 1,3—1,6 г/см³. Плотность почвы в естественном сложении болотных почв составляет 0,04—0,08 г/см³.

Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальное значение объемной массы на суглинистых и глинистых почвах составляет 1,00—1,25 г/см³. При уплотнении тяжелых по механическому составу почв уменьшается пористость, снижается скорость фильтрации, затрудняется распро-

странение корней. При избыточном рыхлении почва быстрее теряет воду.

При уплотнении почвы происходит снижение урожая за счет изменения водно-физических и воздушных свойств почвы. Так, на суглинистых горизонтах с объемной массой пахотного горизонта $1,5 \text{ г/см}^3$, как правило, урожай в 3—4 раза ниже, чем на землях с плотностью почвы в естественном сложении, равной $1,1 \text{ г/см}^3$.

Объемную массу используют для определения общих запасов веществ в почве. Обычно такие данные химических анализов, как содержание питательных элементов, гумуса, воды, выражают в почвоведении на 100 г почвы, т. е. определяют содержание того или иного вещества в твердой фазе почвы. В то же время определение этих параметров проводят в почвах с нарушенным сложением. Необходимо учитывать, что твердая фаза составляет 50—70% объема почвы. Плотность в естественном сложении используют для расчета пористости почвы, доз извести и других химических мелиорантов и при решении многих других теоретических и практических задач.

Пористость почвы (порозность, или скважность) представляет собой суммарный объем всех пор, выраженный в % от общего объема почвы.

Как бы почва ни была уплотнена, в ней обязательно присутствуют поры, промежутки между твердыми частичками, которые заполнены водой, воздухом, живыми и мертвыми организмами, например, корнями растений. Для почв значение пористости колеблется в пределах от 25 до 80%. Торфяные почвы, содержащие много органических веществ, имеют значение скважности $>80\text{—}90\%$. Пористость можно рассчитать по данным о плотности твердой фазы почвы $d_{\text{тф}}$ и плотности почвы в естественном сложении $d_{\text{еc}}$ по формуле

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{d_{\text{тф}}}{d_{\text{еc}}}\right) \cdot 100. \quad (9)$$

Оценку общей пористости можно проводить по шкале Н. А. Качинского (табл. 12).

Для обеспечения растений водой, воздухом необходимо учитывать не только общее количество пор, но и их качественный состав, т. е. размер пор, чем они заполнены, водой или воздухом.

Пористость аэрации (ПА) — часть порового пространства почвы, занятая воздухом. ПА выражается в % и равна раз-

Общая пористость почвы, %

Общая пористость	Оценка показателя
> 70	Избыточно пористая. Почва вспушена
55—65	Отличная. Хорошо окультуренная пашня
50—55	Удовлетворительная для пахотного горизонта
< 50	Неудовлетворительная для пашни
40—25	Очень низкая. Характерна для плотных иллювиальных горизонтов

ности между пористостью и объемом воды, содержащейся в порах почвы в момент определения пористости.

В агрономическом отношении необходимо, чтобы соотношение между порами, занятыми влагой и воздухом, было оптимальным. Оптимальным является высокое содержание капиллярных пор, заполненных водой. Одновременно необходимо, чтобы не менее 20 % общего объема почвы составляли поры, заполненные воздухом.

Физико-механические свойства почв

К физико-механическим свойствам относятся пластичность, липкость, набухание, усадка, связность, твердость и сопротивление при обработке. Физико-механические свойства активно воздействуют на рост и развитие растений, например, прорастание семян, распространение корней растений в глубину и ширину, оказывают большое влияние на почвообрабатывающие орудия.

Пластичность — способность почвы изменять свою форму под влиянием внешней силы без нарушения целостности и сохранять нужную форму после устранения действия этой силы. Пластичность проявляется только во влажном состоянии почвы. При сухом и избыточном увлажнении она практически не проявляется. Пластичность зависит от механического состава и определяется содержанием тяжелых глинистых частичек в почвенной толще. Определение механического состава полевыми методами (влажный способ) проводится по оценке пластичности. Химический состав также в значительной мере влияет на пластичность. Обогащение почв гидроксидами железа и алюминия — $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, насыщение ионами натрия ППК увеличивает пластичность

почв. Пластичность характеризуется числом, которое представляет разность между влажностью почвы при верхнем и нижнем пределах пластичности. Чем больше число пластичности, тем пластичнее почва. По этому показателю выделяют четыре категории почв:

высокопластичные > 17 ;

пластичные — $7-17$;

слабопластичные < 7 ;

непластичные — 0 .

Липкость — свойство влажной почвы прилипать к другим телам. Количественно этот параметр характеризуется нагрузкой (в г/см^2), требующейся для отрыва металлической пластинки от влажной почвы. В результате прилипания почвы к рабочим частям машин и сельскохозяйственным орудиям увеличивается их тяговое сопротивление, ухудшается качество обработки почвы, повышается расход горючего. Липкость может изменяться в широких пределах (табл. 13)

Т а б л и ц а 13

Категории липкости почв (Н. А. Качинский)

Липкость, г/см^2	Состояние почвы
Предельная	> 15
Сильновязкая	$5-15$
Средневязкая	$2-5$
Сильновязкая	$0,5-2$
Рассыпчатая	$0,1-0,5$

и зависит от химического состава почвы, особенно от состава поглощенных катионов. Так, при увеличении насыщенности почвы основаниями, т. е. возрастании в ППК Ca^{2+} и Mg^{2+} , происходит снижение липкости и, наоборот, при увеличении содержания Na^+ липкость возрастает.

Набухание — увеличение объема почвы при увлажнении. Обусловлено оно поглощением воды почвенными коллоидами, выражают в объемных % к исходному образцу.

Усадка — сокращение объема почвы при высыхании.

Связность почвы — способность противодействовать внешнему усилию, стремящемуся разъединить частицы почвы. Степень связности определяется силой взаимодействия между механическими элементами почвы и зависит от механиче-

ского, минералогического и химического состава, а также влажности почвы. Связность в значительной мере определяет твердость почвы.

Твердость почвы — способность почвы сопротивляться сжатию и расклиниванию. Это свойство почвы количественно выражается в кг/см^2 . Высокая твердость почвы и даже ее отдельных горизонтов неблагоприятно влияет на рост корневых систем растений, особенно плодовых и ягодных культур, указывает на плохие в агрономическом плане водно-физические свойства, увеличивает затраты энергии на обработку почв. С уменьшением влажности твердость почвы возрастает. Присутствие Ca^{2+} и Mg^{2+} в ППК способствует уменьшению твердости в 10—15 раз по сравнению с таковой в солонцовых горизонтах. Механический состав в значительной мере влияет на твердость почвы. Так, глинистые почвы имеют максимальную твердость на раздавливание — 150—180 кг/см^2 . Твердость почвы определяет такое важное в технологическом плане свойство, как удельное сопротивление при обработке.

Удельное сопротивление — это сопротивление почвы при обработке, приходящееся на единицу поперечного сечения пласта. Удельное сопротивление выражается в кг/см^2 . Оно затрачивается на надрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность плуга и сельскохозяйственных орудий. Удельное сопротивление может изменяться в пределах 0,2—1,2 кг/см^2 и зависит от механического, химического состава и влажности почвы. Наименьшее сопротивление имеют почвы легкие, не насыщенные основаниями, например песчаные и супесчаные. Самым большим удельным сопротивлением обладают глинистые почвы, насыщенные Na^+ .

Физические и физико-механические свойства определяют такое важное в агрономическом плане состояние почвы, как **спелость**. Выделяют физическую и биологическую спелость почвы, которая имеет очень важное практическое значение.

Физическая спелость — состояние почвы, при котором она легко поддается механической обработке, а качество пашни — ее рыхлость и комковатость — наилучшее. Почва перестает прилипать к сельскохозяйственным орудиям и приобретает способность крошиться на комки.

В Нечерноземной зоне РСФСР весной быстрее всего достигают физической спелости почвы легкого механического состава (песчаные и супесчаные) по сравнению с тяжелыми (глинистыми и суглинистыми).

Биологическая спелость — состояние почвы, при котором

активно идут биологические процессы (микробиологическая деятельность, растения высшие и т. д.). В Нечерноземной зоне физическая и биологическая спелость наступает практически одновременно. Физические и физико-механические свойства почв могут изменяться в результате агрономического, химического и биологического воздействия.

Агротехнические мероприятия, такие, как вспашка, культивация, прикатывание, могут изменять плотность почвы, а значит, и порозность как пахотного, так и подпахотного горизонтов, при этом также происходит снижение удельного сопротивления почв.

Химические воздействия активно изменяют физические и физико-механические свойства почвы. Так, известкование изменяет реакцию среды, состав обменных катионов, что приводит к уменьшению плотности почвы, пластичности, а также липкости и других свойств.

Гипсование также изменяет реакцию среды, состав обменных катионов и в значительной степени физические и физико-механические свойства. При гипсовании солонцов снижаются плотность и твердость солонцового горизонта, удельное сопротивление, ослабевают способность к заплыванию и т. д.

Биологические приемы помогают улучшить физическое состояние почвы. Так, непосредственное возделывание культурных растений изменяет физические и физико-механические свойства. Применение зеленых и органических, например навоза, удобрений помогает создавать благоприятные физические и физико-механические свойства почв.

Водный режим почвы

Вода является одним из незаменимых факторов, определяющих жизнедеятельность растений и животных. H_2O и CO_2 являются исходным строительным материалом, из которого в результате **фотосинтеза** образуется органическое вещество. Так, для создания 1 г сухого вещества различные растения потребляют от 200 до 1000 г воды. Вода является основным растворителем веществ в почве. В воде растворяются питательные элементы и их соединения (азот, фосфор, калий), которые из почвенного раствора поступают в растения. Важная роль принадлежит воде в процессах выветривания горных пород и почвообразования. С наличием в почвенной толще воды и ее перемещением связаны миграция органических,

органо-минеральных и неорганических соединений, формирование профиля почв.

Влажность в значительной степени определяет физико-механические свойства и структуру почвы. Поступающая в почву влага подвержена воздействию сил различной природы, под действием которых она может задерживаться или передвигаться в различных направлениях. Такими силами могут быть сорбционные, осмотические, менисковые и гравитационные.

Выделяют следующие основные категории почвенной влаги (Роде, 1955):

1. **Кристаллизационная влага** — вода, входящая в состав кристаллогидратов. Например, вода в составе гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Кристаллизационная влага отличается высокой прочностью связи и практически неподвижна в почве (химически связанная вода).

2. **Твердая влага** — лед. Неподвижная влага.

3. **Парообразная влага** — пары воды в почве. Может передвигаться в форме водяного пара.

4. **Прочносвязанная влага** — адсорбированная почвой вода, находящаяся под непосредственным воздействием сорбционных сил. Как правило, малоподвижна, выше подвижность в парообразном состоянии, может перемещаться в незначительных масштабах.

5. **Рыхлосвязанная влага** — вода, закрепляемая сорбированными слоями прочносвязанной влаги. Рыхлосвязанная влага удерживается на поверхности тонких слоев прочносвязанной воды силой ориентированных молекул (диполей воды), а также за счет гидратирующей способности обменных катионов. Передвигается под действием сорбционных сил.

6. **Свободная влага** — часть почвенной влаги, которая не находится под влиянием химических или сорбционных сил. Она имеет особо важное значение, так как может активно передвигаться под действием капиллярных и гравитационных сил и является основным источником воды для растений. Свободная влага почвы может быть капиллярной, гравитационной и представлена в почве в виде грунтовых вод.

7. **Капиллярная влага** — вода, находящаяся и передвигающаяся в капиллярных порах под влиянием менисковых и капиллярных сил. Эта влага, как правило, является основным источником водоснабжения растений. Капиллярная вода, в свою очередь, может быть разделена на группы:

- 1) капиллярно-подпертая влага, когда близко к поверхности залегают грунтовые воды;
 - 2) капиллярно-подвешенная — грунтовые воды залегают на значительной глубине;
 - 3) капиллярно-разобшенная — вода, содержащаяся в очень тонких капиллярах в виде отдельных участков, ограниченно передвигается в виде пара и является труднодоступной для растений.
8. **Гравитационная влага** — свободная вода, находящаяся в крупных некапиллярных порах. Свободно передвигается по профилю почв под влиянием сил тяжести. Активно перемещается и трансформируется в другие формы.
9. **Грунтовые воды** — свободная вода, образующая в грунте водоносный горизонт под водоупорным слоем, обнаруживаемый по появлению зеркала свободной воды в скважине, колодце или шурфе.

Водно-физические свойства

Влажность почвы (В) характеризует содержание влаги (воды) в почве. Выражается в % от массы сухой почвы, в % от объема почвы — объемная влажность.

Влажность почвы (В) можно найти из простого соотношения:

$$B = \frac{m_{H_2O}}{m_n} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где m_{H_2O} — масса воды;
 m_n — масса сухой почвы.

Объемная влажность почвы определяется отношением:

$$B = \frac{V_{H_2O}}{V_n} \cdot 100, \quad (11)$$

где V_{H_2O} — объем воды в почве;
 V_n — объем почвы.

Относительная влажность определяется при сравнении влажностей, определенных в разные сроки.

Водоудерживающая способность — свойство почвы удерживать влагу. Обусловлена сорбционными, капиллярными и некоторыми другими силами.

Влагоемкость — количество воды, характеризующее водоудерживающую способность почвы.

Максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ) — наибольшее количество прочносвязанной воды. Эта влага недоступна для растений.

Максимальная гигроскопичность (МГ) — наибольшее количество влаги, которую почва может сорбировать из воздуха, почти насыщенного водяным паром (95%). Влага недоступна для растений.

Влажность устойчивого завядания растений (ВЗ) — влажность, при которой растения начинают обнаруживать признаки завядания, не исчезающие при перемещении растений в атмосферу, насыщенную водяными парами; нижний предел содержания доступной растениям почвенной влаги.

Влажность разрыва капиллярной связи (ВРК) — влажность почвы, при которой подвижность капиллярной влаги в процессе иссушения резко уменьшается.

Предельно полевая влагоемкость (ППВ) указывает на количество воды, которое однородная по механическому составу почва удерживает сорбционными и капиллярными силами при глубоком (>3 м) залегании грунтовых вод или верховодки. Она определяется после полного насыщения почвы водой и свободного стекания гравитационной влаги при отсутствии трансформации и испарения влаги с поверхности почв. Это очень важный показатель, его используют при расчетах избыточного количества влаги, которое необходимо удалить при осушительных мероприятиях. В засушливых районах орошение следует проводить до влажности, равной ППВ, так как влага сверх этого количества не удерживается верхними слоями почв и будет бесполезно теряться. Оптимальный для роста и развития растений диапазон доступной влаги находится в пределах 0,6—0,8 ППВ.

Разница между ППВ и ВЗ характеризует, по данным Н. А. Качинского, диапазон продуктивной влаги. По данным А. М. Шульгина, оптимальные запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы находятся в пределах 100—200 мм. Запас влаги больше 250 мм характеризуется как избыточный, а менее 50 мм — недостаточный.

Динамическая влагоемкость (ДВ) — максимальное количество воды, которое почва может длительно удерживать после полного насыщения и стекания свободной гравитационной влаги в условиях данного положения грунтовых вод, при отсутствии трансформации и испарения с поверхности.

Водовместительность (ВВ) — количество воды, соответствующее полному заполнению почвенных пор и трещин вла-

гой. ВВ — показатель непостоянный и изменяется в зависимости от положения грунтовых вод. Он всегда больше показателя ППВ и при высоком залегании грунтовых вод приближается к ДВ.

Для расчета запасов различных категорий влаги необходимо иметь исходные данные о влажности (В) почвы (% к массе почвы), плотности в естественном сложении (d_{ec}) и мощности слоя почвы (h, см), для которого рассчитывается это содержание. Тогда количество влаги (W) определяется произведением

$$W = Vd_{ec}h, \text{ м}^3/\text{га}. \quad (12)$$

Водопроницаемость — способность почвы воспринимать и пропускать через себя воду. Водопроницаемость можно оценить по шкале Н. А. Качинского, представленной в табл. 14.

Водоподъемная способность — свойство почвы вызывать капиллярный подъем влаги — подъем влаги по капиллярам.

Таблица 14

Водопроницаемость почв тяжелого механического состава

Водопроницаемость почвы, мм/г	Оценка показателя
<30	Неудовлетворительная
30—70	Удовлетворительная
70—100	Хорошая
100—500	Наилучшая
500—1000	Излишне высокая
>1000	Провальная

Водный режим почвы — совокупность всех явлений поступления влаги в почву, ее передвижения, изменения формы и агрегатного состояния, а также ее расхода из почвы, например, фильтрации, поверхностный сток, потребление растениями и другие потери.

В зависимости от количественного соотношения этих явлений, которое определяет преобладающее направление в передвижении вверх или вниз почвенной влаги и пределы колебаний влажности почвы, создаются различные типы водного режима. О количественной характеристике можно судить по коэффициенту увлажнения.

Коэффициент увлажнения — отношение количества осадков к испаряемости

$$K_{\text{увл.}} = \frac{\text{испарение}}{\text{осадки}} = \frac{\text{мм}}{\text{мм}}. \quad (13)$$

Типы водного режима (Г. Н. Высоцкий, А. А. Роде)

В почвах выделяют:

1) **мерзлотный** — специфический тип водного режима, когда при оттаивании почвы над слоем многолетней мерзлоты образуется мерзлотная почвенная верховодка. Влага расходуется на испарение и отсос воды корнями растений — десукция;

2) **промывной** — осадки преобладают над испарением, $K_{\text{увл.}} > 1$;

3) **периодически промывной** — средняя сумма осадков равна величине испарения. Характерно однократное промачивание в году, $K_{\text{увл.}} = 1$;

4) **непромывной** — количество осадков меньше объема испарения. Промачивание почвы происходит на некоторую глубину (1—2 м, не более 4 м), далее идет горизонт с низкой влажностью ~ ВЗ, $K_{\text{увл.}} < 1$;

5) **выпотной** — объем испарения значительно больше количества осадков при неглубоком залегании грунтовых вод (5—7 м). Испарение происходит за счет поднятия воды из грунтовых вод;

6) **десуктивно-выпотной** — близок к выпотному, но грунтовые воды глубоко, поэтому здесь наблюдается десукция — отсос воды корнями растений.

Способы регулирования водного режима

Регулирование направлено на достижение оптимальных условий для роста и развития растений. Эти условия создаются при $K_{\text{увл.}} = 1$. В таежно-лесной зоне имеются обширные районы избыточного или временного избыточного увлажнения. Для регулирования водного режима пригодны простые агротехнические приемы, например, вспашка специальным способом — гребневание при осенней обработке. Гребни способствуют увеличению физического испарения, а по бороздам происходит удаление избыточной воды за пределы поля. Создание мощного пахотного слоя и рыхление подпахотного горизонта создают благоприятный водный режим почв для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Если эти мероприятия недействительны, необходимо рекомендовать гидромелиоративные мероприятия, например дренаж.

В регионах лесостепной и степной зон и особенно в зоне сухих степей основные агротехнические мероприятия направлены на накопление, сохранение и бережный расход влаги. Это в первую очередь снегозадержание, специальные и своевременные обработки почв и лесомелиоративные приемы. При явном недостатке влаги наиболее эффективно орошение как обычное — надпочвенное, так и подпочвенное, позволяющее более экономно расходовать влагу.

Воздушный режим почв

Почва как пористое тело всегда содержит какое-то количество воздуха. Состав воздуха почвы отличается от состава атмосферного воздуха (табл. 15).

Таблица 15

Состав атмосферного и почвенного воздуха, об. %

Газ	Атмосферный	Почвенный
N ₂ — азот	78,08	79,0
O ₂ — кислород	20,95	20,3
Ar — аргон	0,93	—
CO ₂ — углекислый газ	0,03	0,15—20,0
Остальные газы (Ne, He, CH ₄ , O ₃ и др.)	0,04	—

В почвенном воздухе по сравнению с атмосферным происходит увеличение содержания CO₂, иногда до 20% за счет кислорода. Это наиболее динамичные газы почвы, которым принадлежит главная роль в жизни почвы и населяющих ее организмов. Значение O₂ для дыхания, а CO₂ — для образования органических веществ при фотосинтезе трудно переоценить.

К основным воздушным свойствам почв и грунтов относят воздухоемкость и воздухопроницаемость.

Воздухоемкость — часть объема почвы, занятая воздухом при заданной влажности.

Воздухопроницаемость — способность почвы пропускать через себя воздух. Непременное и необходимое условие — это газообмен между почвой и атмосферным воздухом.

Воздушный режим почвы — совокупность явлений поступления воздуха в почву, его передвижения, расхода из почвы за счет обмена газами между твердой и жидкой фазами и

почвенным воздухом, потребления организмами и выделения из почвы.

Воздушный режим почвы, его масштаб и направленность определяются воздухоемкостью, воздухопроницаемостью и диффузией газов, т. е., с одной стороны, воздушными свойствами самой почвы, а с другой — внешними факторами, такими, как колебания температуры и атмосферного давления, скорость диффузии газов, изменение влажности, влияние ветра и некоторыми другими. Оптимальные условия роста и развития растений создаются при благоприятных воздушно-физических свойствах почвы. Хорошая аэрация почвы способствует лучшему развитию корневых систем растений, что, естественно, увеличивает поступление в них воды и питательных элементов и ведет к усилению роста сельскохозяйственных культур и повышению их урожайности. При недостатке кислорода угнетается рост всех сельскохозяйственных культур. Оптимальное содержание O_2 в почвенном воздухе составляет $\sim 20\%$, повышенное содержание CO_2 в почвенном воздухе отрицательно влияет на прорастание семян, рост корневой системы и общую урожайность сельскохозяйственных культур.

При регулировании воздушных свойств почв необходимо достигать оптимальных значений **пористости аэрации**. Для дерново-подзолистых почв хороший воздушный режим образуется при пористости аэрации более $15-20\%$ от общего объема почв, для торфяных — $30-40\%$.

Важным условием обеспечения благоприятных воздушно-физических свойств является создание водопрочной структуры почвы, которая обеспечивает снабжение растений одновременно в оптимальных соотношениях водой и воздухом. Осушение избыточно увлажненных почв (например, болотных) повышает продуктивность сельскохозяйственных растений за счет улучшения условий аэрации почвы. При этом создаются благоприятные окислительно-восстановительные условия, значительно уменьшается содержание токсичных форм соединений, железа и марганца, а также улучшается режим основных элементов питания (N, P) растений.

Тепловой режим почв

Тепловой режим — совокупность явлений поступления тепла в почву, передвижение и отдача тепла почвой.

Тепловой режим имеет огромное значение как в процес-

сах почвообразования, так и в практике возделывания сельскохозяйственных культур.

Основной показатель теплового режима — температура почвы. Определяют его по изменению температуры почвы на различных глубинах и в разные сроки. Кроме этого, используют другие тепловые свойства почвы.

Теплоемкость — способность почвы поглощать тепло. Она зависит от механического, минералогического состава и влажности почвы. Например, глинистые почвы более влаге-емки и медленнее прогреваются весной, тогда как легкие поч-вы (супесчаные, песчаные) весной прогреваются быстрее, поэтому их иногда называют теплыми.

Теплопроводность — способность почвы проводить теп-ло. Она определяется химическим и механическим составом, влажностью, содержанием воздуха, плотностью и температу-рой почвы.

В зависимости от среднегодовой температуры и характера промерзания выделяют четыре типа температурного режима почв (Димо, 1972):

1. **Мерзлотный** — среднегодовая температура отрицатель-ная. Вечный мерзлотный слой, расположенный на некоторой глубине, определяет этот тип теплового режима.

2. **Длительно-сезонно-промерзающий** — в почве преобла-дает среднегодовая положительная температура. Промерза-ние на глубине не менее 1 м, в течение не менее 5 мес в году.

3. **Сезонно-промерзающий** — характеризуется положитель-ной среднегодовой температурой почвенного профиля. Про-исходит сезонное промерзание почвы — от нескольких дней до 5 мес в году.

4. **Непромерзающий** — промерзание почвенного профиля не наблюдается. Отмечаются положительные температуры почвы даже в самый холодный месяц года. Регулирование теплового режима осуществляется агротехническими, мелио-ративными и метеорологическими мероприятиями.

Агротехнические приемы включают различные специаль-ные способы обработки почвы: прикатывание повышает сред-несуточную температуру в слое почвы 10 см на 3—5° за счет возрастания теплоемкости при уплотнении почвы; **гребневание** в северных областях увеличивает на гребне температуру на 3—5° по сравнению с ровными участками поля; **снегозадер-жание** приводит к меньшему промерзанию почвы зимой, что благоприятно влияет на температурный режим; **мульчирова-ние** — внесение на поверхность веществ, изменяющих темпе-

ратуру: **черная мульча** увеличивает теплопоглодительную способность почвы, **белая мульча** уменьшает теплопоглодительную способность за счет отражения части тепловых лучей и предохраняет, например в степных районах, почву от перегрева в жаркие месяцы; **мелиоративные** включают такие общеизвестные мероприятия по регулированию тепловых свойств, как осушение, которое заметно увеличивает тепловую аккумуляцию почв, особенно в северных районах, **орошение**, которое увеличивает теплопроводность почвы, способствует равномерному прогреву и уменьшает температурные колебания.

Лесомелиоративные приемы представляют собой насаждение древесных растений, так, например, лесные полосы активно задерживают снег, изменяют мезоклимат и микроклимат, снижают губительное действие суховеев.

Метеорологические приемы включают: окуривание, дымовые завесы, которые предохраняют растения от заморозков, излучения тепла из почвы; притенение в южных районах предохраняет от перегрева, уменьшает приток тепла.

ОСНОВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Изучение химических и физико-химических свойств почв имеет важное значение для познания процессов почвообразования. Знание характера и направления химических и физико-химических процессов позволяет глубже понять суть почвообразовательного процесса, установить закономерности почвообразования, помогает выяснить генезис почв.

С химических позиций сущность почвообразовательного процесса заключается в сложной цепи взаимонаправленных химических превращений вещества и энергии вначале в почвообразующих породах, а затем и в самой почве, таких, как растворение и осадкообразование; окисление и восстановление; гидратация и дегидратация; коагуляция и диспергирование.

Самой важной задачей является определение оптимальных условий развития растений на разных почвах и способов воздействия на их химические свойства с целью поднятия плодородия и создания оптимального режима основных элементов питания (N, P, K).

Широкое развертывание производства минеральных удобрений в нашей стране заставляет особое внимание уделять

вопросам научного обоснования применения удобрений, важнейшим из которых является взаимодействие почвы с растением и почвы с удобрением. Важную роль при взаимодействии почвы с удобрениями играют их химические и физико-химические свойства.

Особое значение приобретает знание физико-химических и химических свойств при использовании различных химических мелиораций (известкование, гипсование).

Коллоиды и сорбционная способность почв. Химические и физико-химические свойства почв в значительной мере определяются агрегатным состоянием, химическим составом системы, размером твердых частичек почвы. При рассмотрении физико-химических свойств особое значение приобретают жидкая фаза (почвенный раствор) и продукты взаимодействия жидкой и твердой фаз почвы.

Растворы представляют собой однородные системы, состоящие из двух или нескольких компонентов и продуктов их взаимодействия, равномерно распределенных друг в друге. **Система** — тело или группа тел, изучаемых изолированно. **Фаза** — физически однородное тело или совокупность физически однородных (тождественных) тел. Системы могут быть гомогенными, состоящими из одной фазы, например истинные растворы химических соединений (NaCl в H_2O), и гетерогенными, состоящими из нескольких фаз, например пересыщенный раствор поваренной соли, где истинным раствором является NaCl в воде, т. е. жидкая фаза, а избыток соли — твердая фаза.

Растворы могут быть жидкими, твердыми, газообразными. В почве наибольшее значение имеют жидкие растворы, поэтому более подробно остановимся на них. Растворы составляют дисперсные системы, т. е. такие системы, в которых компоненты равномерно распределены друг в друге.

В дисперсных системах выделяют **дисперсную фазу** — мелкораздробленное вещество — и дисперсную среду, представляющую собой, как правило, однородное вещество, в котором равномерно распределена дисперсная фаза. В растворах почвы дисперсная среда представлена, как правило, водой, а растворенные в ней вещества — дисперсной фазой. Так, в мутной воде, содержащей глинистые частички ($\text{ФГ} < 0,01$ мм), дисперсной фазой являются твердые частички глины, а дисперсной средой — вода.

В зависимости от размера частиц дисперсной фазы выделяют истинные растворы, коллоидные системы, а также суспензии и эмульсии.

Истинные растворы — гомогенные системы с размером растворимых частиц менее 0,001 мкм (микрометр — миллионная часть метра). Они состоят из молекул и ионов растворимого вещества. Их можно рассматривать как однофазную гомогенную систему, например, растворы солей, кислот и щелочей (NaCl , H_2SO_4 , NaOH).

Коллоидные растворы — двухфазные системы, состоящие из дисперсионной среды и дисперсионной фазы с размерами частиц в пределах от 0,01 до 0,2 мкм. Системы с размерами дисперсионной фазы более 0,2 мкм образуют грубодисперсные системы, такие, например, как **суспензии и эмульсии**.

Одно и то же вещество в зависимости от степени дисперсности может образовывать как грубодисперсные системы, так и коллоидный и истинный растворы.

Коллоидные растворы по **химическому составу** могут быть:

1. Неорганические (минеральные), например, растворы кристаллических и аморфных минералов как первичных, так и вторичных.

2. Органические — растворы гумусовых веществ (гуминовые кислоты и фульвокислоты).

3. Органо-минеральные коллоиды представляют собой, например, растворы соединений гумусовых веществ с глинистыми и некоторыми другими вторичными минералами.

Образование коллоидных систем происходит по двум направлениям: 1 — конденсационное — вследствие ассоциации молекул или ионов под действием физических и химических сил, например, из истинных растворов;

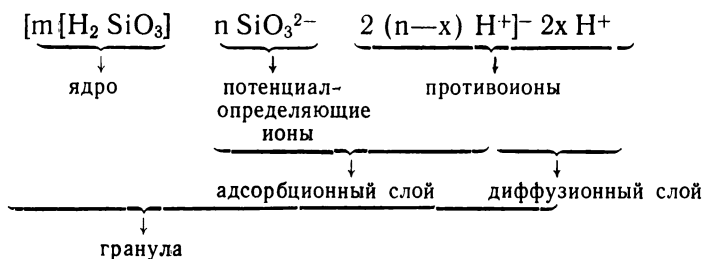
2 — дисперсионное — за счет механического или химического (диссоциации, растворение) раздробления более крупных частиц или грубодисперсных систем.

Таким образом, коллоидные частички почвы могут быть разного размера, различного происхождения и химического состава. Их принято в почвоведении объединять в одну группу под общим названием коллоидный комплекс почвы и по К. К. Гедройцу — ППК (почвенно-поглощающий комплекс). Коллоиды почвы оказывают исключительно большое влияние на ее химические и физико-химические свойства и обуславливают сорбционные явления, рН, буферность и некото-

рые другие. Почвенные коллоиды представляют собой вещества, находящиеся в высокодисперсном состоянии. Они обладают большой поверхностной энергией и при взаимодействии коллоидных частиц с растворами (например, твердой фазы почвы с водой) в системе возникают электрические силы. Вокруг коллоидных частиц образуется двойной электрический слой, состоящий из зарядов противоположного знака.

Коллоидные системы почв имеют сложное строение. Отдельные коллоидные частички, составляющие дисперсную фазу, называются **мицеллой**. Мицелла состоит из гранулы, имеющей заряд, и противоположно заряженного диффузионного слоя. Поэтому мицелла всегда электронейтральна, т. е. не имеет заряда. **Гранула** — собственно коллоидная частица, состоящая из ядра и адсорбционного слоя. Она, как правило, имеет заряд. **Ядро** — центральная часть коллоидной частицы, несущей заряд.

Строение гранулы кремниевой кислоты можно выразить схемой:

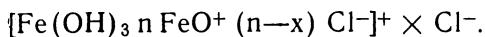


Потенциалопределяющие ионы, в нашем случае SiO_3^{2-} — это ионы, поглощенные на поверхности ядра, как правило, близкие по природе к составу ядра, они образуют заряд частиц. Поглощенные на поверхности ядра потенциалопределяющие ионы притягивают из раствора ионы противоположного знака — противоионы — в нашем случае ионы H^+ , причем часть их сорбируется на частице $2 (n-x)$.

Адсорбционный слой состоит из потенциалопределяющих ионов (SiO_3^{2-}) и противоионов, поглощенных на коллоидной частице.

Диффузионный слой — другая часть противоионов, отдиссоциированная в дисперсную среду ($2xH^+$). Из схемы видно, что мицелла кремниевой кислоты электронейтральна, тогда как гранула несет отрицательный электрический заряд.

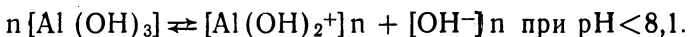
Строение коллоидной мицеллы гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



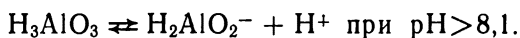
Очевидно, что почвенные коллоиды могут давать как отрицательно, так и положительно заряженные частицы в растворе.

Поэтому по знаку заряда гранулы выделяют коллоиды: ацилиды — отрицательно заряженные, такие, как H_2SiO_3 , гумусовые кислоты; базоиды — положительно заряженные коллоиды (гидраты окислов железа, алюминия); амфотерные — способны менять заряд с изменением кислотности среды и при поглощении ионов из раствора, например, гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$, железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Эти соединения могут изменять знак своего заряда в зависимости от реакции среды.

В кислой среде, когда в растворе находится много ионов H^+ и мало OH^- , соединение $\text{Al}(\text{OH})_3$ диссоциирует в раствор OH^- и заряжается положительно



В щелочной среде в растворе при высокой концентрации OH^- подавляется диссоциация OH^- в растворе. При этом $\text{Al}(\text{OH})_3$ ведет себя как кислота



По отношению к растворителям различают лиофильные и лиофобные коллоиды. По отношению к воде коллоиды делятся на гидрофильные, способные сильно гидратироваться, удерживать молекулы воды под влиянием своего заряда (кремниевая кислота, белки, ГК ФК) и гидрофобные, которые слабо гидратируются, обладают малой емкостью поглощения.

В почве коллоиды могут находиться в виде коллоидного раствора, они носят название золя. В этом состоянии коллоиды активно взаимодействуют с окружающими их соединениями, могут участвовать в процессах миграции и перемещения по профилю почв. Наиболее агрессивная часть почвенных коллоидов активно вступает в процессы разнообразных взаимодействий физических, химических, физико-химических.

Коллоиды из раствора могут переходить в осадок, который носит название гель. Аккумуляция химических элементов

в виде гелей активно происходит в результате проявления почвообразовательных процессов.

Процесс перехода золь в гель называется коагуляцией. При коагуляции происходит потеря устойчивости коллоидных частиц и их укрупнение, агрегация и выделение из раствора в осадок. Коагуляция может происходить под действием, например, дегидратации (потеря H_2O), высушивания или замерзания почв.

Изменение электрокинетического потенциала (заряда), например при увеличении концентрации электролитов в растворах, приводит к коагуляции. В результате притяжения разноименно заряженных частиц также золь переходит в гель. Коагуляция может быть обратимой и необратимой. Явление перехода геля в золь, т. е. растворение, называется **пептизацией**. Пептизация может происходить под действием гидратации или в результате изменения электрического потенциала.

Некоторые коллоиды могут коагулировать и пептизироваться многократно и называются обратимыми коллоидами, например, кремнекислота, ГК, ФК, некоторые белки. Гидрофобные коллоиды, насыщенные двух- и трехвалентными катионами, не нейтрализуются (из геля не могут перейти в золь), например $Fe(OH)_3$.

Коагуляция и пептизация играют важную роль в почвенных процессах и определяют в значительной мере реакционную способность, перемещение по профилю почв веществ или отдельных химических элементов и в конечном счете приводя к дифференциации почвы на генетические горизонты.

Пептизация и коагуляция определяют закрепление коллоидных частиц в почвенных горизонтах, а также многие физические, химические и физико-химические свойства, такие, как удельная поверхность, емкость поглощения, формирование почвенной структуры и многие другие.

Сорбционная (поглотительная) способность почв

В почве происходят разнообразные химические, физико-химические процессы, например, растворение, комплексообразование, осадкообразование и др. Значительное влияние на эти процессы оказывает поглотительная сорбционная способность почв.

Сорбция (поглощение) — перераспределение поглощаемого вещества между фазами системы (твердой, жидкой, газо-

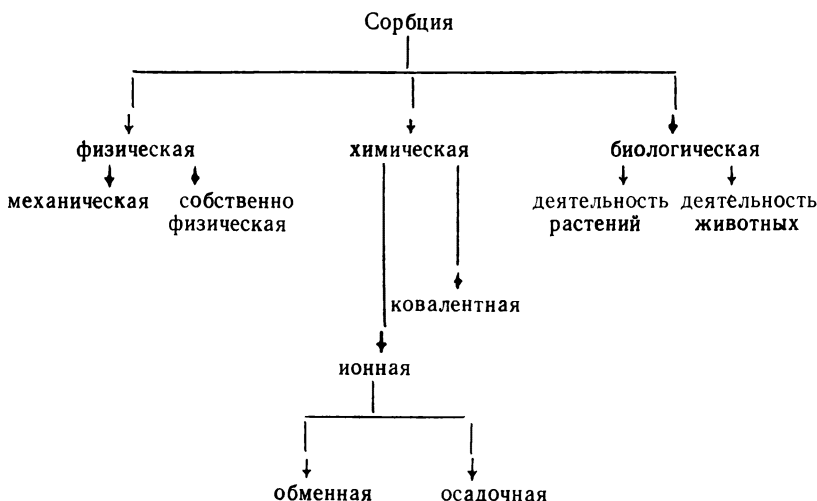
образной и биофазой). Из общего понятия сорбции выделяют адсорбцию и абсорбцию.

Адсорбция — сорбционный процесс, при котором происходит изменение концентрации вещества на поверхности раздела фаз, например, жидкость — твердая часть почвы, газообразная часть — почвенный раствор и т. д. **Абсорбция** — сорбционный процесс, при котором происходит проникновение поглощаемого вещества внутрь сорбента. **Сорбент** — вещество, которое поглощает другое вещество. **Сорбтив** — вещество, поглощаемое другим веществом.

Классификация сорбционных процессов

К. К. Гедройц предложил выделять следующие виды поглощения: биологическое, механическое, физическое, физико-химическое, химическое.

Современную классификацию сорбционных процессов, основанную на типе взаимодействия сорбтива с сорбентом, можно представить схемой



Физическая сорбция — поглощение за счет действия физических сил. Из физического поглощения выделяют: **механическое** — удерживание почвенными пора́ми мелких частиц другого вещества, например, поглощение в тонких порах глинистых и песчаных частиц, и **собственно физическое поглощение** веществ за счет электростатических сил притяжений, напри-

мер, поглощение целых молекул воды почвой за счет сил Ван-Дер-Ваальса.

Химическая сорбция — поглощение за счет действия химических сил. Выделяют ковалентную химическую сорбцию и поглощение с образованием ионной связи. **Ковалентная сорбция** характеризуется поглощением сорбтива с образованием координационной связи. Примером такого поглощения будет удержание Fe^{3+} , Al^{3+} и других поливалентных катионов гумусовыми веществами, расположенными на поверхности гранулометрических фракций с образованием устойчивых органико-минеральных комплексов. **Ионная сорбция** — поглощение почвой веществ с образованием ионной химической связи. Это сложное понятие включает обменную и осадочную сорбции. **Обменная сорбция** — физико-химическое поглощение ионов в почве по обменному типу. **Осадочная сорбция** — поглощение ионов с образованием труднорастворимых химических соединений из легкорастворимых, например, поглощение с образованием гипса или фосфатов железа и алюминия.

Биологическое поглощение — способность живых организмов сорбировать вещества и отдельные химические элементы, например, обменные реакции корней растений с почвой, или способность микроорганизмов поглощать калий, фосфор и другие элементы минерального питания.

Наибольшее значение в процессах почвообразования и формирования питательного режима имеет обменная сорбция, или физико-химическое поглощение анионов и катионов почвами.

Емкость поглощения (E) — максимальное количество молекул или ионов, которое способна сорбировать почва, количество выражается в мг·экв/100 г почвы. Почва может поглощать катионы и анионы. Наибольшее значение имеет поглощение таких катионов, как NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Al^{3+} и Fe^{3+} и др. Из анионов важными ионами являются нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды. Катионы в большей степени могут поглощаться почвой, так как в органической и минеральной частях преобладают функциональные группы, способные взаимодействовать в большей степени с катионами.

Емкость обмена катионов (S) — максимальное количество катионов, сорбированных почвой, способных обмениваться на другие катионы. Вычисляется в мг·экв на 100 г почвы. Иногда ее называют сумма обменных катионов. Это катионы, поглощенные по обменному или физико-химическому типу по Гедройцу. Величина суммы поглощенных катионов

может составлять от 3—5 мг·экв на 100 г почвы в песчаных подзолистых почвах и до 60 мг·экв и более в суглинистых черноземах. Емкость поглощения почв зависит от многих причин. С одной стороны, она определяется свойствами сорбтива, такими, как природа поглощаемого компонента, его размер, заряд, гидратационная способность и др., с другой стороны, поглощительная способность зависит от свойств сорбента, в первую очередь от содержания гранулометрических фракций, общего количества и состава гумуса, минералогического и химического состава неорганической части почвы. Почвы легкого механического состава (песчаные, супесчаные) имеют небольшую емкость поглощения. Емкость поглощения органических коллоидов почвы выше, чем минеральных. Так, например, емкость поглощения гуминовых кислот достигает 300—400 мг·экв на 100 г препарата, а емкость поглощения монтмориллонитовой глины — 80—120 мг·экв, тогда как коалинитовая глина имеет емкость поглощения 3—15 мг·экв на 100 г.

Реакция среды

Кислотность или щелочность в почве характеризуются **водородным показателем рН**.

рН — это отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов, взятый с обратным знаком

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]; \quad (14)$$

$$\text{H}^+ = 10^{-\text{pH}}, \quad (15)$$

где $[\text{H}^+]$ — концентрация ионов водорода, г·ион/л.

Величины рН количественно характеризуют кислотность и щелочность раствора. Например, раствор с рН 2 содержит водородных ионов 10^{-2} г·ион/л, что соответствует кислотности 0,01 М раствора HCl , а раствор с рН 3 содержит $10^{-3} [\text{H}^+]$ г·ион/л, что соответствует кислотности 0,001 М раствора HCl . Видно, что кислотность первого раствора по сравнению со вторым в десять раз больше. С помощью рН реакция раствора характеризуется

$$\text{pHO} \leftarrow \text{pH } 7 \rightarrow \text{pH } 14 \quad (16)$$

кислая нейтральная щелочная

$$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-] \quad [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] \quad [\text{H}^+] < [\text{OH}^-].$$

Кислая реакция среды проявляется в болотных подзолистых и дерново-подзолистых почвах; **нейтральная** — в черно-

земах (табл. 16); щелочная реакция характерна для солонцов, солончаков (засоленных почв).

Кислотность почв — способность давать ионы H^+ в раствор, а точнее протоны. Проявляется в нейтрализации растворов со щелочной реакцией и подкислении воды и растворов нейтральных солей. Размерность выражается в рН и мг·экв на 100 г почвы.

Таблица 16

Значение рН некоторых типов почв (Н. И. Горбунова)

Тип почвы	Глубина взятия образца, см	рН вытяжки	
		водной	солевой
Дерново-подзолистая	5— 11	5,0	3,8
	16— 24	5,3	4,2
	58— 68	5,0	3,6
	90—100	5,2	3,4
Чернозем обыкновенный	0— 10	7,0	6,1
	40— 50	7,1	6,2
	90—100	7,0	6,3
Солонец	0— 20	7,5	6,6
	20— 40	7,7	6,8
	40— 60	7,6	6,5
	80—100	8,2	
Краснозем	0— 10	4,9	4,3
	40— 50	5,0	4,3
	155—160	5,0	4,1

Создаваемая в почве кислотность обусловлена соединениями, выделяющими протоны, а именно органические и минеральные кислоты, кислые и гидролитически распадающиеся соли, обменные ионы H^+ и Al^{3+} в ППК. Из всех этих составляющих складывается общая кислотность почвы. Наличие кислых почв характеризует Нечерноземную зону. Так, из 72,5 млн обследованных почв РСФСР 41 млн га сильнокислые, кислые, слабокислые, из них 2,5 млн га требуют первоочередного изменения реакции среды, так как для большинства растений оптимальной является нейтральная или слабокислая (табл. 17).

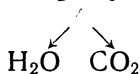
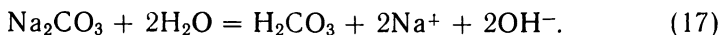
Из общего понятия кислотность почвы выделяют кислотность актуальную и потенциальную. **Актуальная кислотность** — это кислотность почвенного раствора, т. е. непосред-

Требования некоторых растений к реакции среды (Д. Н. Прянишников)

Растения	Оптимальные значения pH	Допустимое значение pH
Люпин	4—5	4—6
Картофель	5	4—8
Овес	5—6	4—8
Рожь	5—6	4—7
Пшеница	6—7	5—8
Горох	6—7	5—8
Клевер	6—6,5	5—8
Свекла	7	6—8
Кукуруза	7	6—8
Люцерна	7—8	6—8

ственно действует на растение. **Потенциальная кислотность** — это кислотность твердой фазы почвы. Она, в свою очередь, может быть разделена на обменную и гидролитическую. **Обменная кислотность** — такая потенциальная кислотность, которая обусловлена ионами H_3O^+ и в меньшей степени Al^{3+} , поглощенным по обменному типу (физико-химическая сорбция по К. К. Гедройцу). **Гидролитическая кислотность** — такая потенциальная кислотность, которая обусловлена прочносвязанными соединениями, в состав которых входит H^+ и Al^{3+} , и проявляется при действии гидролитических солей. Эта кислотность обозначается Нг и выражается мг·экв на 100 г почвы. При определении гидролитической кислотности почву обрабатывают уксуснокислым натрием (CH_3COONa), при этом в растворе обнаруживается актуальная, обменная и собственно гидролитическая кислотности, т. е. все виды кислотности.

Щелочность почв — способность почвенных соединений давать в среду гидроксильные ионы OH^- . Из общего понятия щелочности почвы выделяют по аналогии с кислотностью актуальную и потенциальную щелочность. **Актуальная щелочность** обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (например, Na_2CO_3 , CaCO_3)



Потенциальная щелочность — щелочность твердой фазы

почвы, обусловлена соединениями, в основном за счет поглощения ионов Na^+ . Выражается в мг·экв на 100 г почвы.

Состав обменных катионов

Состав обменных катионов зависит от типа почв. Он определяет физико-химические и химические свойства, например, реакцию среды, подвижность соединений в профиле почвы, степень дисперсности, и имеет важное значение для плодородия почвы.

В зависимости от состава поглощенных оснований все почвы К. К. Гедройц предложил разделить на две группы:

- 1 — насыщенные основаниями — много Ca и Mg в ППК;
- 2 — не насыщенные основаниями — много H^+ в ППК.

Степень насыщенности почвы основаниями рассчитывают по гидролитической кислотности и сумме поглощенных оснований (Ca , Mg) и выражают в %:

$$V\% = \frac{S}{S + H_r} \cdot 100, \quad (18)$$

где S — сумма обменных оснований, мг·экв на 100 г почвы;
 H_r — гидролитическая кислотность, мг·экв на 100 г почвы.

Как видно из табл. 18, степень насыщенности основаниями показывает, какая часть емкости обменного поглощения катионов приходится на Ca , Mg . V — изменяется в почвах от 5—20 до 100%.

Почвы, насыщенные основаниями, не содержат в ППК H^+ и Al^{3+} , характеризуются нейтральной или щелочной реакцией среды, так как основную массу поглощенных катионов составляют Ca^{2+} и Mg^{2+} . Для этих почв характерна высокая емкость обменного поглощения катионов — до 500 мг·экв на 100 г почвы. Они отличаются хорошей в агрономическом плане структурой и благоприятными водно-физическими свойствами для роста и развития растений (табл. 18).

Не насыщенные основаниями почвы в основном содержат в ППК водород и алюминий и имеют кислую реакцию среды, низкую емкость поглощения (около 20—30 мг·экв на 100 г). Эти почвы отличаются плохой структурностью и неблагоприятными водно-физическими свойствами, например подзолистая почва. Почвы, в составе ППК которых отмечается большое количество натрия, имеют тоже неблагоприятные водно-физические свойства, щелочную реакцию среды.

Гумусовые и минеральные вещества диспергируют под

Таблица 18

Состав обменных катионов в почвах СССР (Н. И. Горбунов);
мг · экв на 100 г почвы

Тип почвы	Глубина взятия образца, см	Содер- жание гумуса, %	Обменные катионы				Емкость погло- щения Е, мг · экв/100 г	Степень насы- щенности осно- ваниями, V%
			Ca	Mg	H	Na		
Дерново- подзолистая легкосугли- нистая	0— 10	1,7	2,0	0,3	3,3	—	5,6	41
	10— 20	1,6	1,7	0,4	3,3	—	5,4	39
	80— 90	0,3	5,8	1,4	2,8	—	10,0	72
	120—130	Не опр.	4,9	0,8	1,7	—	7,4	77
Черозем типичный глинистый	0— 10	9,6	46,0	9,1	3,0	Нет	58,1	95
	20— 30	7,6	44,4	7,5	2,0	—	58,9	96
	60— 70	4,1	36,7	7,0	0,8	—	44,5	98
	80— 90	3,1	36,4	7,0	Нет	—	43,4	100
Солонец черноземный тяжело- суглинистый	2— 8	4,6	12,8	4,4	—	2,9	90,1	100
	10— 16	2,8	14,1	11,2	—	10,4	35,7	100
	74— 80	0,2	20,2	6,5	—	7,6	34,3	100
	100—106	Не опр.	21,4	7,6	—	6,4	34,9	100
Краснозем суглинистый	3— 6	3,0	1,3	0,7	26,6	Нет	28,6	7
	17— 25	1,2	1,2	1,2	44,8	—	47,2	5
	60— 70	0,3	1,5	1,1	32,0	—	34,6	8
	120—130	Не опр.	1,5	1,1	26,1	—	28,7	9

действием высокого содержания натрия и вымываются в нижележащие горизонты. При этом солонцовые почвы характеризуются неблагоприятной в агрономическом отношении структурой, плохими механическими, физико-химическими и водно-физическими свойствами. В сухом состоянии верхние горизонты этих почв пылят, а аллювиальные горизонты отличаются большей прочностью. Таким образом, состав обменных катионов имеет очень важное значение при формировании агрономических свойств почвы и в значительной степени определяет плодородие почв.

Существуют надежные способы регулирования состава обменных оснований. Для кислых почв необходимо известкование, т. е. внесение извести. При этом Са извести замещает водород из состава ППК:



Для регулирования состава обменных катионов в солон-
цах применяют внесение гипса:



Окислительно-восстановительные свойства и буферность почв

В химическом отношении разложение органических веществ — процесс окислительно-восстановительный, так как органические вещества окисляются до простых органических и минеральных соединений, таких, как $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, соли фосфорной, серной и других кислот. Главный окислитель — свободный кислород — при этом восстанавливается. Сущность почвообразования с химических позиций заключается в окислительно-восстановительных реакциях, поэтому значительные изменения состава и свойств почв связаны в большой степени с окислительно-восстановительными условиями. **Окисление** — процесс отдачи электронов. **Восстановление** — их приобретение. Свободный кислород, окислив углерод, водород, серу и другие элементы, приобрел электроны, следовательно, восстановился. Восстановитель отдает электроны — окисляется. Окислитель приобретает электроны — восстанавливается.

Для большинства почв характерно присутствие в почвенном воздухе и почвенном растворе свободного кислорода — очень сильного окислителя, который поступает в почву из атмосферы. В почвах с достаточным содержанием кислорода многие элементы находятся в окисленном состоянии, т. е. характеризуются более высокой валентностью. Так, железо может присутствовать в форме Fe^{3+} и Fe^{2+} . Минералы трехвалентного железа — гематит, гетит и другие — имеют желтую, красную и коричневую окраску, легко обнаруживаются при наблюдении почвенных профилей. Если в данных природных условиях в почвенном воздухе и растворе много свободного кислорода, то железо находится преимущественно в форме Fe^{3+} и почвы окрашены в теплые тона. Такую обстановку называют окислительной. Она характерна для ландшафтов с глубоким залеганием грунтовых вод, плоских водоразделов и слабых склонов почвы, расположенных на равнинах и выравненных участках, где формируются черноземы, каштановые почвы, буроземы, большинство почв пустынь. Такие поч-

вы называются автоморфными, т. е. без избыточного увлажнения.

Почвы с восстановительной обстановкой — так называются гидроморфные — почвы избыточного увлажнения. Это происходит при формировании почв в понижениях, при близком залегании грунтовых вод или при скоплении поверхностных вод. Почвенного воздуха недостаточно, все поры почвы заполнены водой, т. е. представлены почвенным раствором, кислород содержится только в почвенном растворе, поэтому его явно недостаточно для окисления растительных остатков. При этом возрастает роль микробиологического разложения органических веществ. В этих условиях господствуют анаэробные бактерии, способные окислить органические вещества при отсутствии свободного кислорода воздуха. Трехвалентное железо в этих условиях служит окислителем и восстанавливается до двухвалентного состояния $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, а углерод органических соединений при этом окисляется. Соединения двухвалентного железа имеют зеленую, сизую, синеватую, серую окраску, поэтому почвы и горизонты, где протекают подобные процессы, приобретают зеленоватый или сизый оттенок, характерный для глеевых почв.

Г. Н. Высоцкий впервые ввел термин глей. Районов с глеевой обстановкой особенно много в Западно-Сибирской низменности (тундра, заболоченная тайга, березовые леса), Подмосковной Мещере (болота), Белорусском Полесье и т. д.

При глеевой обстановке в почвенном растворе много органических веществ, в том числе органических кислот, которые образуются при неполном окислении растительных остатков. Продукты окисления органических веществ образуют органо-минеральные подвижные соединения со многими металлами — железом, марганцем, медью, никелем, кобальтом, цинком, свинцом и т. д. Поэтому глеевая обстановка — это образование агрессивных соединений, которое способствует энергичной миграции многих металлов по профилю почв.

Для количественной характеристики окислительно-восстановительного состояния почв используют окислительно-восстановительный потенциал ($E_{\text{ов}}$).

$E_{\text{ов}}$ — окислительно-восстановительный потенциал, который выражает суммарный эффект разнообразных окислительно-восстановительных систем почвы в данный момент.

E — окислительно-восстановительный потенциал по отношению к воздуху.

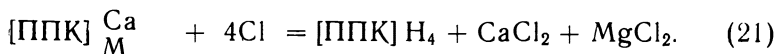
При падении потенциала E_h до 200 мВ и ниже начинается

интенсивное развитие восстановительных процессов глееобразования (глеевые почвы меньше 200). Оптимальные условия для нитрификации при E_h 350—500 мВ. При резком падении потенциала развивается денитрификация. Снижение потенциала E_h до 200—350 мВ вызывает накопление Fe^{2+} и Mn^{2+} , т. е. форм, токсичных для роста и развития большинства растений. Таким образом, при избыточном увлажнении создаются неблагоприятные воздушно-физические режимы (недостаток кислорода), накапливается много токсичных форм тяжелых металлов (Fe^{2+} , Mn^{2+}), ухудшается режим основных элементов питания, например, создаются неблагоприятные условия для нитрификации или идет связывание фосфат-ионов в труднорастворимые соединения с поливалентными металлами (Fe, Al), а также создается кислая и сильноокислая реакция среды.

Буферность

Буферность почвы—способность жидкой и твердой фаз почвы противостоять изменению условий среды, например, pH, окислительно-восстановительным свойствам и другим. Так, противодействие изменению реакции среды (pH) при добавлении сильной кислоты или физиологически кислых удобрений (кислое плечо, кислый интервал буферности или щелочки, щелочное плечо, щелочной интервал), при известковании или внесении физиологически щелочных солей. Буферность зависит от состава и свойств почвы и свойств почвенного раствора. Буферность почвенного раствора зависит от наличия ионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} и HCO_3^- , растворенного CO_2 , гуматов и фульватов и некоторых других веществ. Буферность почвенного раствора обусловлена присутствием солей сильных кислот и слабой кислоты, которые и создают буферность. Сильными основаниями являются Na, K, более слабыми—Ca, Mg. Органические слабые кислоты — ГК, ФК.

Буферность почвы зависит от механического состава почв. У тяжелых почв, например глинистых или суглинистых, больше буферная способность за счет большего содержания илистых и коллоидных частиц, которые, в свою очередь, содержат значительное количество поглощенных катионов, таких, как Ca, Mg. Если в такую почву внести кислоту, то подкисления не произойдет в силу обменной реакции:



Вместо водорода появляются нейтральные соли $CaCl_2$ и

$MgCl_2$, т. е. реакция среды не изменится или изменится незначительно. В песчаных почвах, обедненных коллоидами, в которых поглощенных оснований содержится мало, ионы водорода кислоты остаются в растворе, в результате чего резко изменяется реакция среды, т. е. для этих почв характерна низкая буферность.

Практика сельского хозяйства показывает, что в слабо удобренных почвах реакция среды может довольно резко меняться от внесения физически кислых или щелочных удобрений. В почвах, обладающих большой буферной емкостью, этого не происходит.

Буферность почвы можно повысить путем внесения органических и минеральных коллоидов. В кислых почвах буферную емкость по отношению к кислотам можно повысить известкованием. На почвах с малой буферностью рекомендуется вносить минеральные удобрения, особенно физиологически кислые и физиологически щелочные, в несколько приемов и малыми дозами, чтобы предотвратить резкое изменение реакции среды.

СУЩНОСТЬ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Почва образуется из горной породы, которая является исходным минеральным материалом, т. е. основным веществом содержанием для ее формирования. Процессы изменения горных пород под влиянием природных факторов и в результате взаимодействия геосфер земли (атмосферы, гидросферы и биосферы) называют почвенными процессами.

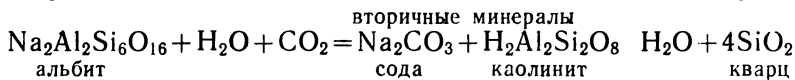
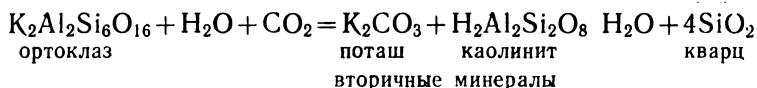
Почвообразование — сложный природный процесс, представляющий собой совокупность взаимосвязанных явлений превращения и передвижения веществ и энергии, протекающих вначале в толще породы, а затем в почве и ведущих к образованию почвенного профиля.

Почвообразование представляет собой сочетание физических, физико-химических, химических и биологических процессов и является составной частью более широкого по масштабу процесса, круговорота веществ и энергии, протекающего во всей биосфере и называемого малым биологическим круговоротом, т. е. обменом веществ и энергии между, например, растениями и почвой.

Малый биологический круговорот, в свою очередь, представляет собой часть большого геологического круговорота веществ, происходящего на земном шаре.

Большой геологический круговорот — обмен веществ и элементов — изучает наука **геохимия**. Это важная естественная наука, направленная на изучение химического состава Земли, миграции элементов, отдельных химических соединений, таких, как Р, N, К, H₂O и т. д. в земной коре, т. е. различных процессов выветривания (физическое, химическое и биологическое).

При выветривании горных пород и минералов происходит их изменение и образуются новые вещества, в том числе и легкорастворимые. Так, в результате химического выветривания из первичных минералов, например, ортоклаза, альбита, образуются вторичные минералы, такие, как поташ, каолинит, сода:



Поташ и сода являются хорошо растворимыми соединениями, поэтому они легко вымываются из коры выветривания атмосферными осадками, а затем поверхностными водами переносятся на длительное расстояние и в конечном счете попадают в моря и океаны, т. е. вовлекаются в большой геологический круговорот веществ и энергии. При этом легкорастворимые соединения, образующиеся при выветривании, безвозвратно теряются из литосферы и становятся недоступными для питания растений. Полностью эти вещества возвращаются на сушу только в случае регрессии моря, когда его дно становится сушей. Такого рода процессы являются составной частью крупномасштабных плантарных процессов обмена вещества и энергии, их называют **большим геологическим круговоротом**. В результате его действия почвообразующая порода теряет основные элементы питания, такие как Р, К, Са, Mg и некоторые другие.

По данным Г. В. Лопатина, в современную геологическую эпоху на сушу в виде остатков выпадают 98 тыс. км³ воды, испаряется с поверхности земли — 62, стекает 36 тыс. км³ (большой геологический круговорот воды). При этом вода уносит с поверхности суши в мировой океан 1,3 · 10⁴ млн. т взвешенных частичек и 4,9 · 10³ млн. т растворенных веществ. Под влиянием выветривания порода измельчается, приобретает рыхлость, пористость, влагоемкость и водопроницае-

мость. Таким образом, в результате выветривания в почво-образующих породах образуются легкорастворимые соединения, которые могут стать источниками пищи для растений и животных. При этом плотные породы приобретают ряд новых свойств, что дает им возможность поглощать влагу и обеспечивать водой и воздухом живые организмы.

С поселением зеленых растений и микрофлоры появляется возможность для осуществления обмена веществ между живыми и неживыми компонентами биосферы.

Под биологическим круговоротом веществ понимают поступление химических элементов и минеральных веществ из горных пород, почвы, атмосферы в живые организмы, синтез органических веществ и их разрушение, возвращение химических элементов в литосферу и атмосферу.

Современное представление о биологическом обмене веществ основано на научных идеях В. И. Вернадского (1934) о роли живого вещества в биохимических процессах на нашей планете. Учение о биологическом круговороте веществ в почве разработано В. Р. Вильямсом (1939).

Процессы выветривания создают условия для поселения растений на продуктах разрушения горных пород. Они не могут сразу превращать породу в почву, так как в рухляке выветривания нет устойчивых запасов питательных веществ и воды. Со временем появляются запасы гумуса и устойчивые запасы воды под влиянием гумуса, почвенная структура и другие элементы почвенного плодородия. Эти свойства приобретаются породой в результате формирования на ней зеленых растений, которые способствуют, во-первых, отложению на поверхности породы и ее верхних слоях значительной массы органических остатков, накопление и превращение их приводит к созданию нового вида органического вещества—гумуса; во-вторых, наличию корневой системы растений, а также микроорганизмов и животных, которые извлекают из породы питательные, так называемые органогенные элементы (Са, М, К, Р, S и некоторые другие). После отмирания живых организмов эти зольные элементы вновь возвращаются в породы, но уже в другой форме и сосредотачиваются главным образом в верхних слоях породы.

Таким образом, происходит биологическое передвижение (миграция) зольных и других биогенных элементов и их накопление (аккумуляция).

Особенно важная роль в биологическом обмене веществ принадлежит зеленым растениям. По данным Л. Е. Родина

и Н. И. Базилевич (1965), максимальное накопление органического вещества наблюдается в лесных сообществах (2200—4000 ц/га), а луговые степи создают 250 ц/га биомассы.

В результате биологического обмена почва обогащается углеродом, азотом, фосфором, кальцием, магнием, калием и другими химическими элементами, которых мало содержится в горных породах. Сущность биологического обмена химических элементов состоит во взаимной связи процесса создания живого органического вещества с процессом разрушения мертвого органического вещества. Зеленые растения и другие живые организмы поглощают минеральные соединения, аккумулируют их. Зеленое растение создает из них живое органическое вещество. После завершения жизненного цикла растения и животные отмирают. Мертвое органическое вещество в процессе минерализации разрушается до простых органических соединений и минеральных солей. Зеленые растения могут поглощать эти вещества и создают вновь живое органическое вещество.

Биологический обмен веществ обуславливает взаимосвязь и взаимозависимость литосферы, атмосферы и биосферы и является частью большого геологического круговорота веществ на земной поверхности. Малый биологический круговорот веществ по своей природе противоположен большому геологическому. При геологическом круговороте порода теряет безвозвратно питательные вещества, тогда как при биологическом обмене происходит их аккумуляция в верхнем слое литосферы. С появлением и накоплением биогенных элементов порода вовлекается в новый природный процесс, называемый почвообразовательным.

Таким образом, наличие малого биологического круговорота веществ является одним из главных условий для возникновения последующего процесса почвообразования.

П. А. Костычев рассматривал почвообразование как исключительно биологический процесс. Биологическую теорию почвообразовательного процесса развивал В. Р. Вильямс. Сущность почвообразовательного процесса, по его пониманию, заключается в синтезе и разрушении органических веществ. В. Р. Вильямс создал учение о почвообразовательных процессах, исключительную роль в которых он отводил растительности, связывая изменения в направлениях почвообразовательного процесса со сменой растительных формаций. Ведущее положение биологического фактора в почвообразо-

вании определяется тем, что высшие растения, благодаря опаданию, вовлекают в процесс почвообразования радиационную энергию Солнца, трансформируя ее в процессе фотосинтеза в энергию химическую. Одновременно с этим высшие растения, также благодаря опаданию, вызывают при участии радиационной энергии, трансформированной в тепловую, сорбционную и капиллярную, восходящее движение минеральных веществ из глубоких слоев почвы на ее поверхность, определяя при этом и состав этого потока. Само же включение трансформированной радиационной энергии в процесс почвообразования происходит и при участии других живых организмов, например, некоторых микроорганизмов, в том числе бактерий, водорослей, простейших животных, составляющих живую фазу почв и осуществляющих разложение растительного опада.

Целый ряд органических веществ, которые, по-видимому, сопутствуют появлению почвы и играют существенную роль при разрушении (выветривании) как первичных, так и вторичных минералов и мобилизации продуктов этого разрушения. В результате деятельности живой фазы происходит ложное преобразование, например, фиксация из атмосферы молекулярного азота бобовыми культурами, освобождение зольных элементов, находящихся в составе остатков высших растений, и перевод их в формы, доступные для сельскохозяйственных растений.

Вместе с тем жизнедеятельность биофазы, физико-химические преобразования ведут к образованию гумуса, т. е. более или менее устойчивой органической составной части почвы, в которой аккумулируется радиационная энергия, трансформированная в энергию химическую. В результате этих процессов создается запас химической энергии.

С одной стороны, обмен веществами и энергией между почвой и другими природными телами, такими, как грунт, атмосфера, живое вещество, с другой — поступление радиационной энергии, жизнедеятельность живой фазы почвы и влияние гравитационного поля земли — вот важнейшие причины превращения и передвижения веществ и энергии в почве, т. е. все это является причиной возникновения разнообразных по своей природе, характеру, содержанию и сущности взаимосвязанных почвенных процессов.

Таким образом, сущностью почвообразовательного процесса являются биологический обмен веществ и энергии, процессы синтеза и разрушения органического вещества, при

которых почвообразующая порода непрерывно взаимодействует с растениями и животными, с продуктами их жизнедеятельности, а также с продуктами разложения органических остатков.

Почвообразование представляет собой очень сложный комплекс разнообразных по природе процессов. Можно выделить три группы относительно простых процессов преобразования вещества и энергии в почвах, условно называемых микропроцессами.

1. Процессы обмена веществами и энергией между почвой и другими природными телами. Поступление в почву веществ и энергии и вынос из нее, например, многосторонний обмен газами в системе атмосфера — почва — растение, или поступление воды в почву и выделение ее из почвы.

2. Процессы превращения вещества и энергии, происходящие в самом почвенном теле, например, бесчисленные и разнообразные реакции разложения органических соединений, входящих в состав растительного опада, или разложение и превращение минералов в почве.

3. Процессы передвижения веществ и энергии в почвенном теле. Передвижение воздуха внутри почвы при изменении атмосферного давления и температуры или перемещение жидкой влаги под влиянием силы тяжести.

Характерная черта почвообразовательного процесса — его цикличность. С одной стороны, она подчинена существующему в природе тройному (суточный, годичный и многолетний) ритму поступления на поверхность почвы радиационной энергии, связанному с вращением земли около своей оси, с ее обращением вокруг солнца, с многолетними колебаниями активности солнца, с другой — биологическому ритму развития растений, который определяет интенсивность и направленность процессов обмена вещества и энергии — вначале в почвообразующей породе, а затем и в почве.

Цикличность почвообразования обусловлена возникновением и взаимной сменой слагающих его микропроцессов противоположного характера и направления. Примерами такой смены являются: нагревание и охлаждение почвы; ее увлажнение и иссушение; реакции разложения органических веществ и синтез гумусовых соединений. Вместе с тем в почве процессы идут в одном направлении, хотя и с переменной скоростью. Так происходит, например, распад первичных минералов. Кроме этого, еще целый ряд превращений в почве имеет необратимый характер. Часть веществ удаляется из

данной почвы с нисходящими токами почвенных растворов и достигает грунтовых вод. Много растворимых соединений вымывается из растительного опада верхних горизонтов и выносятся с поверхностным или внутрипочвенным стоком. Вещества, перемещаемые в почвенном теле, могут терять подвижность и аккумуляроваться в определенных местах.

Цикличность почвообразования характеризуется тем, что циклы разной продолжительности и разной степени выраженности сочетаются друг с другом. В большинстве случаев наиболее резко выражен годичный цикл, так как ему свойственны наибольшая амплитуда изменений условий, в особенности радиационных и тепловых, например, при чередовании сезонов года. Однако полной обратимости, т. е. полного замыкания цикла, полной компенсации одного полуцикла, как правило, не возникает. По окончании цикла всегда сокращаются некоторые остаточные изменения. В следующих друг за другом циклах остаточные изменения, а также целый ряд необратимых процессов способствуют прогрессивному необратимому процессу, который можно назвать как почвообразовательный. В результате этих процессов происходит зарождение, становление и развитие обособленных почвенных слоев, которые в почвоведении называют генетические горизонты.

Генетический горизонт — относительно однородный, расположенный, как правило, параллельно земной поверхности, слой почвы, обособленный в результате почвообразования. Генетические горизонты отличаются по химическому и минералогическому составу, физическим, физико-химическим и водно-физическим свойствам, а также по морфологическим (внешним) признакам. Они выделяются по цвету, механическому составу, структуре, сложению, плотности, характеру новообразований, включений и другим свойствам.

Основными генетическими горизонтами являются следующие:

1. Лесная подстилка (A_0) — горизонт, представляющий собой наземный опад растений разной степени разложения, например, опавшие листья, хвоя, ветки и т. д., на лугах и в степях — дернина (A_d , сплошное переплетение корней с почвенными частичками) или степной войлок (A_0 , опавшие листья и стебли, а также живые и мертвые узлы кущения травянистых растений).

2. Гумусово-аккумулятивный горизонт (A) образуется в верхней части профиля почв, куда поступают максимальные количества наземных и корневых остатков. В результате гу-

мификации и накопления в нем гумуса этот горизонт имеет более темную окраску по сравнению с другими горизонтами. Мощность его может изменяться от нескольких сантиметров до нескольких метров.

3. Пахотный горизонт (A_n) выделяют на всех пахотных угодьях. Этот слой представляет смесь горизонтов и образуется в результате вспашки почв. В зависимости от типа почвы, мощности пахотного горизонта в этот слой входит лесная подстилка (A_o), или (A_d) и весь гумусовый горизонт (A_1), или его часть. Если мощность пахотного слоя превышает мощность горизонта A_1 , то в этот почвенный горизонт войдут и расположенные ниже горизонты, например, A_2 или A_2B и B в подзолистых почвах.

Элювиальные горизонты (A_2) образуются в результате вымывания из них различных продуктов почвообразования и накопления устойчивых труднорастворимых минералов, среди которых наиболее часто встречаются кварц и некоторые другие первичные минералы. Вымывание окрашенных веществ, таких, как гумус, соединения железа и остаточное накопление минералов, имеющих светлую окраску или содержащих SiO_2 , обуславливает светлую с белесым оттенком окраску элювиальных горизонтов. Вымывание глинистых частиц и коллоидов приводит к остаточному накоплению песчаных или пылеватых фракций механических элементов. Поэтому элювиальные горизонты выделяются среди других слоев более легким механическим составом, пылевой, непрочной пластинчатой или листоватой структурой.

Иллювиальный горизонт (B) формируется в средней или нижней части профиля за счет вымывания из верхних генетических горизонтов продуктов почвообразования, например из A_2 , и закрепления в этом слое почв благодаря испарению растворов, изменению физико-химических и термодинамических условий почвообразования. Иллювиальный горизонт отличается более тяжелым механическим составом, чем вышележащие горизонты и почвообразующие породы, и имеет более плотное сложение, обладает, как правило, призматической, глыбистой, а в некоторых почвах столбчатой структурой. Он более обогащен минеральными, органическими и органо-минеральными веществами, чем верхние горизонты. По составу аккумулирующихся веществ выделяют следующие иллювиальные горизонты: железистые (B_{Fe}), гумусовые (B_h), карбонатные (B_{Ca}), гипсовые (B_{Cs}), а также обогащенные глинистыми частицами (B_t) и илом (B_l). В некоторых

почвах можно наблюдать систему иллювиальных горизонтов, располагающихся один над другим. Встречаются почвы, в которых выделяют карбонатные (B_{Ca}), а ниже — гипсовый горизонты (B_{Cs}). В почвах, где не происходит сильного разрушения и перемещения минеральной части, например черноземах, индексом В обозначается не иллювиальный, а переходный горизонт от гумусово-аккумулятивного (А) к почвообразующей породе (С).

Глеевый горизонт (G) образуется в условиях постоянного и временно-избыточного увлажнения, например, при близком залегании грунтовых вод и плохой аэрации почвы. При этом интенсивно развиваются восстановительные процессы, в результате которых образуются закисные формы соединений железа, марганца и накапливаются подвижные формы алюминия. Появление закисных форм железа обуславливает голубовато-серую и зеленовато-серую окраску, т. е. холодные тона этого горизонта. По ходам корней и трещинам, т. е. в местах проникновения воздуха, образуются ржавые и охристые пятна оксидов и гидроксидов трехвалентного железа. Если признаки глеевого процесса проявляются в других генетических горизонтах, то к их основному обозначению добавляют символ (g), например, A_g , B_g и т. д.

Материнская порода (С) представляет собой незатронутую или слабоподвергнутую почвообразовательными процессами толщу горных пород, из которых формируется данная почва.

Подстилаящая порода (Д) выделяется в том случае, когда на небольшой глубине расположена другая порода, отличающаяся по составу и свойствам от почвообразующей породы.

Таким образом, определенное сочетание микропроцессов обуславливает образование отдельных генетических горизонтов. Эти процессы являются частными почвообразовательными. Примерами частных почвообразовательных процессов могут служить гумусово-аккумулятивный, который способствует образованию горизонта A_1 и поверхностных органо-генных горизонтов A_0 или A_d ; подзолообразовательный, который обуславливает образование горизонта A_2 ; глеевый, который приводит к формированию глеевого горизонта, и многие другие.

Изменения, происходящие в разных слоях формирующейся почвенной толщи, по своей качественной сущности различны. В силу этого почвенная толща расчленяется на несколь-

ко горизонтов, отличающихся признаками, но взаимосвязанных между собой. Эта связь выражается главным образом через передвижение различных веществ из одних горизонтов в другие. При этом частично такое передвижение может сопровождаться миграцией и аккумуляцией веществ и энергии в отдельных слоях почвы.

Сочетание частных почвообразовательных процессов приводит к формированию генетического профиля почвы как естественного исторического тела природы. Профиль почвы — совокупность генетически сопряженных и закономерно сменяющихся горизонтов почвы, на которые расчленяется материнская горная порода в процессе почвообразования.

Таким образом, почва является продуктом сложного процесса, слагающегося из множества различных взаимосвязанных простейших микропроцессов, объединяющихся в частные почвообразовательные. Этот сложный процесс называется почвообразовательным макропроцессом. В качестве примера можно привести такие процессы, как подзолистый, буроземный, солонцовый. Продуктом общего почвообразовательного макропроцесса всегда будет почвенное тело с характерным, присущим только ему сочетанием генетических горизонтов, обладающее определенным составом и свойствами. Так, подзолистый почвообразовательный процесс приводит к формированию подзолистых почв с элювиально-иллювиальным профилем, в состав которого входят: подстилка — A_0 , элювиальный горизонт — A_2 , переходный от элювиального к иллювиальному — A_2B , иллювиальный — B , переходный от иллювиального к почвообразующей породе — BC и материнская порода — C . Черноземы имеют гумусово-аккумулятивный профиль, включающий следующие генетические горизонты: степной войлок A_0 , A — гумусово-аккумулятивный горизонт, B_1 — переходный горизонт, B_{ca} — карбонатный горизонт и C — материнская порода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Глазовская М. А. Общее почвоведение и география почв. М.: Высшая школа, 1981.

Ковда В. А. Значение почвенных исследований в решении Продовольственной программы: Доклады генерального симпозиума VI съезда ВОП. Тбилиси, 1981.

Ковда В. А. Советское почвоведение на службе сельского хозяйства СССР: Доклад президиума ВОП VI Делегатскому съезду почвоведов. Тбилиси, 1981.

Почвоведение: Учебник / Под ред. проф. И. С. Кауричева. М.: Колос, 1985.

Практикум по почвоведению / Под ред. проф. И. С. Кауричева. М.: Агропромиздат, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Предмет, значение и задачи почвоведения	3
Происхождение, состав и свойства неорганической (минеральной) части почв	11
Происхождение, состав и свойства органической части почв	21
Физические свойства почв. Водный, воздушный режимы и тепловые свойства почв	37
Основные химические и физико-химические свойства почв	59
Сущность почвообразовательного профиля почв	75
Библиографический список	85

Учебное пособие
Анатолий Иванович Карпухин
ПРОИСХОЖДЕНИЕ, СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОЧВ

Редактор В. П. Павлова
Корректоры Е. Ю. Пятаева, Т. Н. Кузнецова
Технический редактор С. В. Камышова

Темплан № 37

Сдано в набор 16.08.89.	Подписано в печать 26.03.89
Л-40126 Формат 60×84 ¹ / ₁₆ .	Усл. печ. л. 5,12. Усл. кр.-отт. 5,06
Уч.-изд. л. 4,94.	Тираж 1000. Заказ 2247. Цена 20 коп.

Типография Московской с.-х. академии им. К. А. Тимирязева
127550, Москва И-550, Тимирязевская ул., 44