

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

АГРОФИЗИКА

краткий курс лекций

для аспирантов

Направление подготовки
35.06.01 Сельское хозяйство

Профиль подготовки
Агрофизика

Саратов 2014

УДК 631.4
ББК 40.3
П73

Рецензенты:

Заведующий отделом «Экологии агроландшафтов и ГИС» ВНИИСХ Ю-В, доктор сельскохозяйственных наук, профессор ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»

И.Ф.Медведев

Доктор с.-х. наук, профессор кафедры «Земледелие, мелиорация и агрохимия»
ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»

Н.Е.Синицына

П73 **Агрофизика:** краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство» / Сост.: В.И. Губов// ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 71 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Агрофизика» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство». Краткий курс лекций содержит теоретический материал важнейшим процессам и свойствам почвы, путям их рационального использования. Направлен на формирование у аспирантов знаний об основных агрофизических свойствах почв, и умения применять эти знания для решения профессиональных задач.

УДК 631.4
ББК 40.3

© Губов В.И., 2014
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014

Введение.

Агрофизика - одна из основных самостоятельных дисциплин в цикле наук о почве, которая изучает физические свойства, процессы и режимы почв, отражающие взаимодействие почв с окружающей средой. Как всякое самостоятельное тело почвы имеют свой облик, свое строение, свои свойства. Часть этих свойств унаследована от почвообразующих пород. Но ряд свойств характерны только для почв, они позволяют отличить почву от других природных тел.

Физические свойства и физические процессы, протекающие в почве, во многом определяют направленность почвообразовательного процесса, условия для роста и развития растений (Вильямс, 1959; Кауричев, 1982; Раменский, 1938; Корнблум, 1975, 1982; Розанов, 1975).

Наиболее тесный контакт физика почв имеет с земледелием и мелиорацией, задачей которых является временное или коренное улучшение, главным образом, физических свойств почвы для практических целей. Физические свойства учитываются при разработке агротехнических приемов по зонам, а также должны быть положены в основу мелиоративных мероприятий. Так, для зон недостаточного увлажнения разрабатываются приемы улучшения физических свойств почвы, способствующие накоплению и сохранению воды. Наоборот, в зоне избыточного увлажнения агротехнические и мелиоративные мероприятия должны быть направлены в сторону уменьшения содержания воды в почве и увеличения ее аэрации, а для северных районов необходимы также приемы тепловых мелиораций.

Знание физических свойств почв и грунтов важно при оценке их как строительного фундамента, санитарного состояния (Воронин, 1979; Дояренко, 1963). В настоящее время изучению физических свойств почвы уделяется большое внимание; оно производится как в стационарных условиях, так и в экспедиционных.

Краткий курс лекций по дисциплине «Агрофизика» предназначен для студентов по направлению подготовки 35.06.01 «Сельское хозяйство». Он раскрывает фазовый состав почвы, особенности почвы как физического тела, основные физические свойства почв, их взаимосвязь, пути рационального их использования и мероприятия по мелиорации. Курс нацелен на формирование у аспирантов общепрофессиональных компетенций: «способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях» (УК-1); «владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции» (ОПК-1); «владением культурой научного исследования в области сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий» (ОПК-2); «способностью к разработке новых методов исследования и их применению в области сельского хозяйства, агрономии, защиты растений, селекции и генетики сельскохозяйственных культур, почвоведения, агрохимии, ландшафтного обустройства территорий, технологий производства сельскохозяйственной продукции с учетом соблюдения авторских прав» (ОПК-3); и профессиональных компетенций: «способностью распознавать закономерности почвообразовательного процесса, теоретические и практические проблемы изменения физических свойств и процессов в почвах, растительном покрове и приземном слое атмосферы» (ПК-1); «способностью оценивать почвенно-экологические условия и степень пригодности их для возделывания сельскохозяйственных культур» (ПК-2); «владением методами диагностики почвообразовательного процесса, системного исследования почв в агроэкосистемах, устойчивости почв к антропогенному воздействию» (ПК-3); «готовностью применять прие-

мы управления агрофизическими свойствами почв и рационального использования биологических ресурсов на основе теоретико-методологических основ системного исследования плодородия» (ПК-4).

Лекция №1

Вводная лекция

1.1. Понятие о почве

Почва—это верхний плодородный слой земной коры, образовавшийся из материнской горной породы при воздействии живых организмов в определенных условиях климата и рельефа, в определенный промежуток времени.

Почва представляет собой особое природное образование, обладающее только ей присущим строением, составом и свойствами, важнейшим из которых является плодородие, т.е. способность почвы обеспечивать рост и развитие растений.

Среди живых организмов и неживого (косного) вещества—горные породы, минералы, почва занимает промежуточное положение. Это объясняется тем, что почва состоит как из минеральных, так и органических соединений, а также промежуточных продуктов их взаимодействия—специфических органических и органо—минеральные соединений—почвенный гумус. Кроме того, неотъемлемой частью почвы являются живые организмы (живая фаза почвы). Поэтому почва является многофазной системой, включающей твердую, жидкую, газообразную и живую фазы.

Всякая природная почва состоит из последовательно сменяющих друг друга, от поверхности, слоев—генетических горизонтов, образовавшихся в результате изменения исходной горной породы в процессе почвообразования. Вертикальная последовательность горизонтов образует почвенный профиль.

1.2. Функции почвы

Различают понятия «почва» и «земля». **Почва** представляет собой природное тело, состоящее из 4—х фаз, тесно взаимодействующих между собой. Земля— это не столько почва как природное тело, но и определенная часть земной поверхности, ее географическое расположение.

Почва—это важнейший компонент всех наземных биоценозов и биосферы Земли в целом. Через почвенный покров идут многочисленные связи всех живых организмов (в том числе и человека) с литосферой, гидросферой и атмосферой.

Роль почвы для человека огромна. Ее изучение необходимо не только для сельскохозяйственных целей, но и для развития лесного хозяйства, инженерно—строительного дела. Знание свойств почвы необходимо для решения ряда проблем здравоохранения, разведки и добычи полезных ископаемых, организации зеленых зон в городском хозяйстве, экологического мониторинга и прочее.

Функции почвы.

- без почв невозможна жизнь на земле (продуцентам негде расти);
- осуществляется связь между компонентами живой и неживой природы, чем достигается целостность биосферы;
- минерализация органического мёртвого вещества, образующегося в результате отмирания растений и животных;
- почва — местообитание человека и животных;
- почва обладает поглощающей способностью. Благодаря этому в ней удерживаются элементы пищи растений; закрепляются тяжелые металлы и другие загрязнители, а также предотвращается их свободная миграция в окружающей среде;
- почва — источник пищи для растений, а, следовательно, продуктов питания для человека;
- информационная функция, т.е. сама почва информирует человека о своём происхождении и основных процессах, протекавших в самом верхнем слое земной коры;

–почва обладает буферностью, т.е. «защитным экраном». Она регулирует силу ветра, температуру, водный режим и другие климатические показатели. Регулирует потоки химических элементов в различных условиях;

–регулятор стока воды. Выпадающие осадки не полностью стекают в связи с особенностями рельефа, а частично впитываются почвой;

–почва способна накапливать различные полезные ископаемые (руды, торф, уголь);

–почва– регулятор газового состояния атмосферы (приземный слой почвы);

–почва поглощает и отражает солнечную радиацию.

– почва–это средство сельскохозяйственного производства, объект труда и условие существования человека.

1.3.Понятие о почвенном плодородии, факторы и виды плодородия.

Еще в четвертом веке до н.э. в Китае выделяли почвы с разными свойствами, обладающие «высоким», «средним» и «низким» уровнем плодородия. Различия в уровне плодородия разных почв учитывались при исчислении земельных налогов и податей, при продаже и оценке земли, особенно в эпоху феодализма и капитализма.

Как специфическое свойство почвы, ее плодородие формируется в процессе образования самой почвы. Почва как материнский организм использует энергию солнца, вещества и элементы питания окружающей среды, трансформирует их в процессе сложных био–физико–химических процессов и обеспечивает растения всем необходимым.

Важнейшими факторами обеспечения жизни растений (элементами плодородия) являются:

1. **Гранулометрический состав** – от него зависит тепловой и водный режим, водно–воздушные свойства и пищевой режим почвы. Лучшими для роста большинства культурных растений являются почвы суглинистые.

2. **Структурность и водно–физические свойства почвы** – плотность почвы, ее физические свойства и связанные с ними водный, воздушный и пищевой режим зависят от ее структурности, а тем самым от нее зависит и урожай растений.

3. **Тепловые свойства почвы** – способность почвы поглощать и отражать лучистую энергию солнца, проводить и удерживать тепло непосредственно определяет рост и развитие растений, а также биологические процессы, протекающие в почве.

4. **Содержание органического вещества**– в органическом веществе почвы содержится основная часть запасов азота, около 80% серы и 60% фосфора. Органическое вещество почвы является источником энергии для микроорганизмов. С количеством и качественным составом органического вещества связано образование водопрочной структуры и формирование благоприятных для растений водно–физических и технологических свойств почвы.

5. **Биологическая активность почвы** – численность, состав и активность почвенных микроорганизмов и почвенной фауны, активность ферментов непосредственно влияет на процесс трансформации недоступных элементов питания почвы и растительных остатков в доступные им соединения.

6. **Поглотительная способность почвы**– элементы питания удерживаются почвой и меньше вымываются осадками, оставаясь доступными для растений.

Виды плодородия:

1. **Естественное (природное)** – то плодородие, которым обладает почва в природном состоянии без вмешательства человека.

2. **Искусственное**– плодородие, которым обладает почва в результате воздействия на нее целенаправленной деятельности человека (распашка, периодическая обработка, мелиорации, внесение удобрений и др.)

3. **Потенциальное** – суммарное плодородие почвы, определяемое ее свойствами, как приобретенными в процессе почвообразования, так и созданными или измененными человеком.

4. **Эффективное** – та часть потенциального плодородия, которая реализуется в виде урожая растений при данных климатических и агротехнических условиях.

5. **Относительное** – плодородие почвы в отношении к какой-то определенной группе или виду растений (плодородная для одних растений почва может быть бесплодной для других).

6. **Экономическое** – экономическая оценка почвы в связи с ее потенциальным плодородием и экономическими характеристиками земельного участка.

Воспроизводство плодородия – совокупность природных почвенных процессов или система целенаправленных мелиоративных и агротехнических воздействий для поддержания эффективного почвенного плодородия на уровне, приближающемся к потенциальному плодородию.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Понятие о почве.
- 2) Основные функции почв.
- 3) Важнейшие элементы почвенного плодородия.
- 4) Понятие о плодородии, воспроизводство почвенного плодородия
- 5) Искусственное и естественное плодородие.
- 6) Потенциальное и эффективное плодородие.
- 7) Экономическое и относительное плодородие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. **Ковриго В.П.** Почвоведение с основами геологии: учебник /В.П. Ковриго, И.С. Кауричев, Л.М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
2. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
3. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.

Дополнительная

1. **Наумов В.Д.** География почв: учебное пособие / В.Д. Наумов. – М. : КолосС, 2008. – 288 с. : ил. – (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. Учеб.заведений).
2. **Баздырев Г.И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г.И. Баздырев, А.В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
3. **Синицына Н.Е.** Почвы Саратовской области/ Н.Е. Синицына, В.В. Кравченко, С.И. Сысоев, В.И. Губов, Ю.М. Гришин, Т.И. Павлова; Под общей ред. Синицыной Н.Е.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – 98 с.
4. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>

Лекция 2

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

2.1. Понятие о фазовом составе почв.

Почва состоит из четырех фаз: твердая, жидкая, газообразная и живая.

Твердая фаза почвы представлена обломками горных пород и минералов, органическими веществами и промежуточными продуктами взаимодействия органических веществ с минеральной частью почвы.

Жидкая фаза почвы – это почвенный раствор. Его состав определяется количеством органического вещества почвы, климатическими условиями, жизнедеятельностью живых организмов, составом материнской горной породы и др. факторами. Это наиболее активная фаза почвы, осуществляющая взаимодействие всех остальных фаз почвы.

Газообразная фаза – это почвенный воздух. По своему составу он практически идентичен атмосферному, так как происходит из него, но отличается несколько большим содержанием углекислого газа, летучих органических соединений и меньшим количеством кислорода.

Живая фаза почвы – это все живые организмы, населяющие почву, начиная от простейших и до землеройных млекопитающих.

2.2. Минералогический состав почвы. Первичные минералы почвы, их значение в плодородии.

Минералогический состав – это важнейшая характеристика, определяющая состав твердой фазы практически всех типов почв, за исключением торфяных.

Минеральные компоненты твердой фазы почвы по происхождению подразделяются на 2 группы:

1. Первичные

Представлены минералами магматического и метаморфического происхождения. Их образование не связано с выветриванием и почвообразованием.

2. Вторичные

Образуются из первичных при выветривании и почвообразовании, а также из продуктов их распада и зольных элементов растений.

Соотношение между первичными и вторичными минералами в почвах колеблется в широких пределах и зависит от степени устойчивости исходных породообразующих минералов, условий выветривания.

Первичные минералы в основном сосредоточены во фракциях механических элементов размером $>0,001$ мм. Из известных 2000 первичных минералов в почвах обычно представлено 35–40, из которых наиболее часто встречаются: кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксены, хлориты. По химическому составу большинство первичных минералов почвы – кислородные соединения (оксиды и силикаты).

Оксиды

Из этой группы в почвах чаще всего встречаются:

1. **Кварц (SiO_2)** – один из наиболее распространенных минералов почв. Содержание может достигать до 25–40%, а почвообразующих породах (кварцевых песках и песчаниках) – более 90%. Это типичный остаточный минерал древних кор выветривания кварцсодержащих пород и элювиальных горизонтов почв.

2. **Магнетит (Fe_3O_4)** – минерал, легко подвергающийся процессам выветривания. В большинстве случаев его содержание составляет 0,5–1,0%. В тропических почвах встречается гематит (Fe_2O_3), Рутил (TiO_2).

3. **Дистен** (Al_2SiO_5) – сложный оксид алюминия и железа. Его содержание в почвах составляет 0,1–0,2%.

Силикаты

Это широко распространенная группа минералов, образованных солями метакремниевой (H_2SiO_3) и ортокремниевой (H_4SiO_4) кислот. Особенностью строения кристаллической решетки этих минералов – наличие кремнекислородного тетраэдра SiO_4^{4-} , в вершинах которого расположены 4 иона кислорода, а в центре – ион кремния.

Часть кремния в силикатах может замещаться на алюминий, образуя алюмосиликаты. Одними из наиболее распространенных алюмосиликатов почвы являются полевые шпаты, характеризующиеся высоким содержанием катионов щелочных и щелочно-земельных металлов: ортоклаз и микроклин содержат до 17% K_2O , альбит – до 11% Na_2O , анортит – до 20% CaO . Содержание полевых шпатов в почвах достигает 10–15%.

Слюды

Типичными представителями являются мусковит и биотит. Для них характерно высокое (до 10–12%) K_2O – важнейшего элемента питания растений, кроме того, биотит может содержать до 30% $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ и до 20–30% MgO . Эти минералы легко выветриваются.

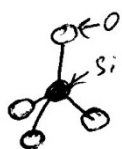
Пироксены и амфиболы

Среди пироксенов наиболее распространен авгит, из амфиболов – роговая обманка. Чаще всего это силикаты Ca и Mg . Содержание в почвах этих минералов составляет 5–15%.

Оливин (Mg, Fe) $_2$ $[\text{SiO}_4]$

Минерал неустойчив к процессам выветривания, поэтому содержание в почвах не превышает 1%.

Фосфаты и сульфиды



Наиболее распространен среди первичных фосфорнокислых солей апатит ($\text{Ca}_5(\text{Cl, F})(\text{PO}_4)_3$). Он содержится во всех почвах в количестве 0,3–0,5%.

Значение первичных минералов

1. Они служат исходным материалом для образования вторичных минералов.
2. Потенциальный источник элементов питания для растений и микроорганизмов (апатит – фосфор, полевые шпаты и слюды – калий, плагиоклазы – кальций).
3. Авгит, биотит, роговая обманка, ортоклаз – источники микроэлементов – Zn , Cu , Ni , Co и др.
4. Имеют низкую удельную поверхность и очень низкую емкость поглощения (1–8 мг·экв/100 г), низкую буферность.
5. При выветривании натриевых полевых шпатов может появляться сода в почвенном растворе, которая подщелачивает почву и может быть причиной её осолонцевания.

2.3. Вторичные минералы, их значение в плодородии.

Образование вторичных минералов связано с процессами выветривания и почвообразования. Они сосредоточены в основном в тонкодисперсных фракциях почвы размером менее 0,001 мм. В зависимости от строения, состава и свойств они подразделяются:

1. Минералы простых солей.

Они образуются в условиях засушливого климата в процессах выветривания и почвообразования. Но в почвах могут присутствовать соли и первичного происхождения.

В почвах и почвообразующих породах чаще всего накапливаются карбонаты (CaCO_3 , MgCO_3 , $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Наиболее распространенным является кальцит, представленный в виде различных скоплений – мучнистый налет, белоглазка, дутики, журавчики и др. Взаимодействуя с глинистыми минералами, он способен формировать карбонатные прослойки.

Среди сульфатов наиболее распространен гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а также мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, тенардит Na_2SO_4 , глауберит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Ca}_2\text{SO}_4$ и астраханит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Хлориды в почве в основном представлены галитом NaCl , встречающимся в виде отдельных кристаллов, зерен или солевых корок.

2. Минералы оксидов и гидроксидов.

В наибольших количествах в почве представлены оксиды и гидроксиды Si, Fe, и Al. Значительно меньше – оксиды и гидроксиды Mn и Ti. Они образуются при выветривании первичных и вторичных (глинистых) минералов.

3. Аллофаны

К ним относят соединения типа $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$. Они широко представлены в гумидном (влажном) климате. Кроме Si и Al они содержат Fe, Ti, Ca и другие элементы. При увлажнении способны набухать. Их емкость поглощения составляет 50 – 100 мг·экв/ 100 г.

4. Глинистые минералы

Представляют собой вторичные алюмосиликаты с общей формулой $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Они входят в состав глин и определяют их минералогический состав. Обладают высокой степенью дисперсности, что обуславливает проявление их коллоидных свойств: наличие заряда, поглощательная способность, коагуляция, пептизация и др.

Глинистые минералы подразделяются на несколько групп:

1. Минералы группы каолинита.

Чаще всего в почвах представлены каолинитом и галлаузитом. Они имеют общую формулу $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Эти минералы слабодисперсны (удельная поверхность 30 м²/г), характеризуются невысокой емкостью поглощения 25–40 мг·экв/ 100 г.

2. Минералы группы монтмориллонита.

В почвах чаще всего встречаются монтмориллонит, нонтронит (железистая его разновидность), бейделлит и др. Характерной чертой является подвижная кристаллическая решетка, способность к набуханию (на 150–250%). Обладают высокой дисперсностью (до 800 м²/г), высокой емкостью поглощения (80–120 мг·экв/ 100 г).

3. Гидрослюды.

К ним относят гидромусковит, гидробиотит, глауконит, иллит и др. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между слюдами и монтмориллонитом.

4. Вермикулиты.

По своим свойствам схожи с минералами группы монтмориллонита. Содержат много Mg (до 25%) и часто железа (до 15%). Емкость поглощения составляет 100–180 мг·экв/ 100 г.

Значение вторичных минералов в плодородии.

1. Важный источник элементов питания: K^+ – гидрослюды, S – гипс, мирабилит. Во вторичных минералах также содержатся Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} и др.

2. Многие вторичные минералы поглощают фосфат-ионы.

3. Простые соли могут являться причиной засоления и осолонцевания почв.

4. Глинистые минералы – это наиболее активная часть твердой фазы почвы и непосредственно они определяют важнейшие свойства почв: емкость поглощения, буферность, набухаемость, пластичность, липкость, фильтрационная способность и др.

5. Минералы высокой дисперсности, группы монтмориллонита, при высоком содержании гумуса в почве придают ей неблагоприятные агрофизические свойства, а при высоком содержании, с преобладанием гуминовых кислот, создают качественную водопрочную структуру и хорошие агрофизические свойства.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Какая из фаз почвы наиболее инертна?
- 2) Что такое жидкая фаза почвы?

- 3) Какие минералы называются первичными, чем они представлены в почве?
- 4) Перечислите группы вторичных минералов почвы. Пути образования вторичных минералов.
- 5) Значение первичных минералов почвы в ее плодородии.
- 6) Значение вторичных минералов почвы в ее плодородии.
- 7) В фракциях почвы какого размера сосредоточены первичные минералы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии : учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
2. **Суворов А. К.** Геология с основами гидрологии: учебное пособие / А. К. Суворов. - М. : КолосС, 2007. - 207 с. : ил.
3. Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
4. **Орлов Д.С.** Химия почв: Учебник/ Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И.Суханова.– М.: Высш. Шк., 2005–558 с.: ил.
5. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.

Дополнительная

1. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
2. **Палагина Т.Я.**, Сеницына Н.Е., Павлова Т.И. Горные породы: Метод.указания к лабораторным работам. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – 44 с.
3. **Сеницына Н.Е.** Почвы Саратовской области/ Н.Е. Сеницына, В.В. Кравченко, С.И. Сысоев, В.И. Губов, Ю.М. Гришин, Т.И. Павлова; Под общей ред. Сеницыной Н.Е.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – 98 с.
4. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
<http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
2. <http://library.sgau.ru>.; <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>

Лекция 3.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

Почва - многофазное природное тело, вещество которого представлено фазами: жидкая, газовая, живая и твёрдая.

Твёрдая фаза состоит из минеральной части и органической. Основную же массу почвы, как природного образования, составляет ее минеральная часть. Органическая часть преобладает в органогенных горизонтах (подстилки, торфяные горизонты, степной войлок). В гумусо-аккумулятивных горизонтах на долю органической части приходится 5-15% общей массы горизонта.

Минеральная часть профиля составляет основную его часть, следовательно, в ней и происходят все процессы почвообразования, включая физические. Поэтому необходимо детально знать состав и свойства минеральной части почв, как их матрицы.

Твёрдая фаза почв состоит из частиц различных минералов. Эти частицы, или элементарные почвенные частицы (ЭПЧ). Представляют собой обособленные минеральные, органо-минеральные, органические образования кристаллического или аморфного строения, все молекулы которого находятся в химической взаимосвязи. Различают первичные механические элементарные частицы, которые образуются в процессе выветривания, дробления горных пород и минералов, и вторичные частицы, образующиеся путём синтеза конечных продуктов выветривания молекулярного и коллоидного размеров, коагуляции, а также биологическим путём.

3.1. Состав минеральной части почв

Минеральная часть почвы происходит от горной породы и минералов, трансформирующихся в процессе выветривания, и наследует химический, гранулометрический и минералогический состав последних.

Напомним, что в формировании земной коры принимают участие три основных типа горных пород:

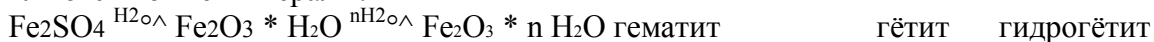
- магматические - образовались путём охлаждения и затвердения магмы в толще земной коры или путём охлаждения и затвердения лавы, излившейся на поверхность Земли при вулканических извержениях;
- метаморфические - образовались в глубинных зонах Земли из осадочных и магматических пород путём перекристаллизации под воздействием высокого давления, температуры, горячих вод, газов;
- осадочные - представляют собой продукты механического и химического выветривания магматических и метаморфических пород. Формируются на дне океанов, морей, озёр, болот и на поверхности суши.

Все три типа горных пород подвергаются воздействию климата, живых организмов, что приводит к их трансформации, сопряженной с усложнением строения минералов, образованием вторичных минералов, перераспределением химических элементов. Данный процесс называют выветриванием. Выветривание горных пород можно представить в виде общей схемы: порода

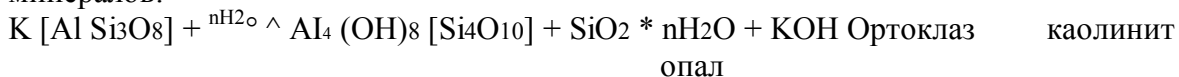
(100% первичных минералов) + температура воздуха + H_2O + O_2 + CO_2 + органическое вещество + первичные минералы (30-90%) + вторичные минералы (глинистые) + растворимые соли + оксиды.

По Польшову, процесс выветривания происходит в несколько этапов. На I этапе происходит механическое дробление горных пород и минералов без изменения их химического состава. На этом этапе преобладает физическое выветривание. Порода начинает пропускать и задерживать влагу, в более глубокие слои проникают газы O_2 и CO_2 . Постепенно под воздействием атмосферных осадков продукты выветривания лишаются соеди-

нений хлора и серы - начинается химическое выветривание. На II этапе минеральная масса, уже лишенная соединений хлора и серы, теряет щелочные и щелочноземельные основания. Химическое выветривание сопряжено с реакцией окисления первичных минералов. При этом к окислителям относятся кислород (O₂), сера в форме (S₀) и углерод в форме (CO₂). Так, Fe²⁺, Mn²⁺, S²⁻ окисляясь, переходят в соединения Fe₂O₃, MnO₂, Na₂SO₄, CaSO₄. Следующая реакция при химическом выветривании - гидратация минералов. При этом появляются новые минералы:



При химическом выветривании характерно также взаимодействие веществ с водой с образованием различных соединений - это реакция гидролиза. Она приводит к замещению щелочных и щелочноземельных катионов на ионы водорода в кристаллических решетках минералов:



Химическое выветривание приводит к изменению физического состояния минералов, их кристаллической структуры, к формированию вторичных глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит и др.), обладающих высокой ёмкостью поглощения и влагоёмкостью. Процесс химического выветривания неотделим от биологического выветривания, которое заключается в преобразовании минералов и горных пород под воздействием живых организмов и продуктов их жизнедеятельности (микроорганизмы, лишайники, макроорганизмы - сурки, кроты и др.).

Свойства почв во многом определяются химическим составом первичных минералов, их кристаллической структурой и количеством образовавшихся из горных пород в процессе выветривания вторичных минералов. Принято считать, что к первичным минералам относятся частицы более 0,001 мм, ко вторичным - менее 0,001 мм. Такое разделение довольно условно, но всегда подразумевается, что первичные минералы в процессе выветривания трансформируются во вторичные (глинистые) минералы.

Первичные минералы Как уже отмечалось, первичные минералы унаследованы от исходной, материнской почвообразующей породы. Но количество первичных минералов и их соотношение между собой отличается от исходного состояния вследствие внутрипочвенных процессов выветривания.

Первичные минералы отражают минералогический состав почвообразующей породы. Но в минералогическом составе почв, в отличие от исходной горной породы, из первичных минералов преобладают наиболее устойчивые, не подвергшиеся разрушению.

По степени нарастания степени устойчивости первичных минералов к разрушению они располагаются в следующем порядке:

Кальцит ^ доломит ^ оливин ^ авгит ^ диопсид ^ гиперстен ^ роговая обманка ^ биотит ^ хлорит ^ эпидот ^ плагиоклазы ^ полевые шпаты ^ апатит.

Устойчивые первичные минералы остаются в почве, формируя её скелет, гранулометрический состав, а менее устойчивые трансформируются во вторичные минералы. Из устойчивых минералов наибольший агрономический интерес представляют полевые шпаты, слюда, кварц, амфиболы и пироксены, составляющие основную массу магматических пород (по Ф.У. Кларку):

Минералы	Содержание, %
Полевые шпаты	59,5
Кварц	12,0
Амфиболы и пироксены	16,8
Слюды	3,8
Прочие минералы	7,9

В почвах, первичными минералами наиболее богаты крупные фракции мелкозема (более 0,001 мм), но больше всего их содержит песчаная фракция (более 0,01 мм).

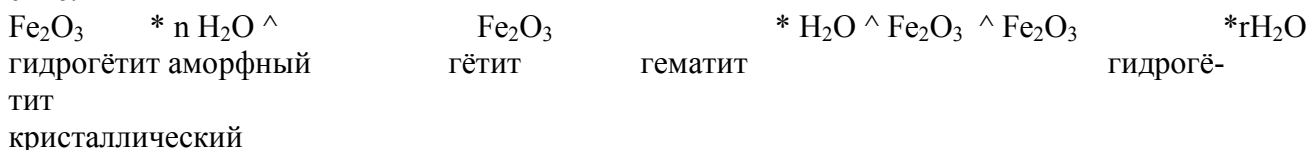
Вторичные минералы

Вторичные минералы являются продуктом процессов почвообразования. Исключением могут служить глинистые (глинные) минералы, в основном унаследованные от древнего почвообразования или от процессов гипергенеза коры выветривания.

Способы образования вторичных минералов в процессе выветривания разнообразны. Наиболее распространены следующие:

1. Кристаллизация твердых минералов (минералы простых солей) из раствора заключается в том, что соли, находящиеся в растворённом состоянии, при испарении воды или понижении температуры кристаллизуются. В условиях сухого климата в почве накапливаются галит (NaCl), мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), сода ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), кальцит (CaCO_3), магнезит (MgCO_3) и другие минералы. Эти минералы определяют степень и характер засоления, формирование горизонтов, насыщенных карбонатом кальция, гипсом.

2. Кристаллизация твердых аморфных веществ (минералы класса гидроксидов и оксидов). Образование минералов таким способом широко распространено. Примером является переход аморфных гидроксидов железа и алюминия в кристаллические:



3. Гидролиз, гидратация и дегидратация, окислительно-восстановительные реакции, диспергирование, изоморфные замещения первичных и вторичных минералов.

Глинистые минералы составляют в основном самые мелкие фракции мелкозема (менее 0,001 мм). Именно эти фракции (состоящие в основном из глинистых минералов) и определяют многие процессы, протекающие в почвах, включая физические.

Среди глинистых минералов резко отличаются по своему строению и по свойствам минералы двух групп:

- минералы группы каолинита, имеющие слоистое строение, с двухслойным пакетом, обладающие небольшой емкостью поглощения, и поэтому менее активные в процессах обмена, поглощения;
- минералы группы монтмориллонита, имеющие также слоистое строение, но пакет трехслойный; расстояния между слоями в пакете способны изменять свои размеры. Благодаря такому свойству минералы с трехслойным пакетом обладают высокой емкостью поглощения, и поэтому они более активны в процессах обмена и поглощения.

Глинистые минералы, особенно группы монтмориллонита, играют наиважнейшую роль в проявлении физических процессов, а, следовательно, и в формировании физических свойств почв.

Кроме глинистых минералов, в почвах широко распространены и другие вторичные минералы: соли простых солей (хлориды, сульфаты одно- и двухвалентных катионов), оксиды трехвалентных катионов (R_2O_3) и их гидроксиды.

3.2. Гранулометрический состав твердой фазы почв

Гранулометрический состав почв отражает содержание минеральных частиц в мелкоземе, в состав которого входят частицы менее 1 мм.

Под гранулометрическим (механическим) составом почв и почвообразующих пород понимается *относительное содержание в почве элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) различного диаметра, независимо от их минералогического и химического состава*. Гранулометрический состав выражается, прежде всего, в виде массовых процентов фракций гранулометрических частиц разного размера.

Элементарные почвенные частицы

Частицы почвенные элементарные - это обломки пород и минералов, песчаные, пыле-

ватые, илистые и коллоидные частицы почв, все элементы которых находятся в химической связи и не поддаются общепринятым методам пептизации, применяемым при подготовке почв к гранулометрическому анализу. Почвенные частицы в почве соединены в микро- и макроагрегаты природным «клеем». Таким, агрегирующим ЭПЧ в почве веществом, как правило, являются ионы Ca^{2+} , органические вещества. К микроагрегатам в физике почв (К.К.Гедройц) относят почвенные агрегаты размером $< 0,25$ мм.

Принципиальное отличие микроагрегатов от ЭПЧ состоит в том, что микроагрегаты являются устойчивыми структурами при определенных внешних воздействиях, состоящими из ЭПЧ.

В почвоведении под почвенными частицами (гранулами) понимают обломки минералов (или горной породы), имеющие разные размеры в диаметре. Эти частицы называют почвенными фракциями гранулометрического состава.

Разные авторы используют разные названия почвенным фракциям, а также для разных фракций предлагают использовать разную размерность. Для оценки гранулометрического состава мелкозема почв (и грунтов) в почвоведении в настоящее время принята система названий почвенных фракций и их размерность, предложенная Н.А. Качинским (табл.1).

Среди выделенных фракций наибольшую роль в проявлении и протекании различных процессов, играют самые мелкие фракции (в основном менее 0,01мм). Но в гранулометрическом составе почв всегда присутствуют как мелкие, так и крупные фракции, имеющие следующую размерность:

- гравий, частицы размером 1-3 мм в диаметре; обычно состоит из обломков первичных минералов;
- песок, частицы размером 0,05-1 мм в диаметре; также представлен первичными минералами;
- пыль, частицы размером 0,001-0,05 мм в диаметре; состоят из вторичных минералов;
- ил, частицы размером менее 0,001 мм, представлен высокодисперсными вторичными минералами.

Частицы различных размеров объединяются во фракции: глинистую и песчаную.

Песчаная фракция (физический песок), в которую входят частицы крупнее 0, 01 мм, не обеспечивает необходимый для растений влагозапас в почвах, так как эти частицы имеют низкую влагоемкость. Но частицы этой фракции хорошо фильтруют воду, обеспечивая хорошую водопроницаемость почв. Почвы, содержащие много песчаной фракции? хорошо дренированы, не переувлажняются, всегда обеспечены воздухом.

Фракции пыли и ила (физическая глина), в которую вошли частицы размером менее 0,01 мм, обладают лучшей влагоемкостью, и поэтому являются более водонакопляющими и водозадерживающими. Почвы, содержащие относительно большое количество фракции пыли, более влагоемки, но менее водопроницаемы, чем песчаные фракции. Воздушный режим этой фракции хуже, чем песчаной.

Почвы, обладающие оптимальными водно-воздушными режимами, содержат все фракции гранулометрического состава в определенных соотношениях (табл. 2).

Как правило, в большинстве почв (кроме горных, щебнистых) преобладает фракция мелкозема (менее 1 мм).

Таблица 1

<i>Фракции</i>	<i>Размер частиц, мм</i>	<i>Фракции</i>	<i>Размер частиц, мм</i>
Камни	> 3	Пыль	0,05-0,001
Гравий	3-1	крупная	0,05-0,01
Песок	1-0,05	средняя	0,01-0,005
крупный	1-0,5	мелкая	0,005-0,001

<i>средний</i>	0,5-0,25	Ил	<0.001
<i>мелкий</i>	0,25-0,05	<i>глинистый</i>	0,001-0,0005
		<i>коллоидный</i>	0,0005-0,0001
		Коллоиды	<0,0001

Таблица 2

Классификация почв по гранулометрическому составу (по Качинскому)

Состав	Физический песок (>0,01мм), %	Физическая глина (<0,01мм), %	Преобладающая фракция, мм
Суглинок тяжелый:	40-60	60-40	<0,001
<i>иловатый</i>			
<i>пылеватый</i>			0,01-0,001
<i>крупнопылеватый</i>			0,05-0,01
Суглинок средний:	30-40	70-60	
<i>иловатый</i>			<0,001
<i>пылеватый</i>			0,01-0,001
<i>крупнопылеватый</i>			0,05-0,01
Суглинок легкий	20-30	80-70	
<i>песчаный</i>			>0,05
<i>крупнопылеватый</i>			0,05-0,012
Песок рыхлый	0-10	90-100	
<i>крупнопылеватый</i>			0,05-0,01

Соотношение фракций «физический песок» и «физическая глина» положено в основу принципа оценки гранулометрического состава мелкозема почв. На этом принципе построена и классификация гранулометрического состава почв. Следует иметь в виду, что разные почвы имеют разный гранулометрический состав. У них соотношение между фракциями может изменяться в различных пределах: то с преобладанием фракции физического песка (супесчаные, песчаные почвы), то с преобладанием фракции физической глины (суглинки, глины). Линия такого раздела фракций на физический песок и физическую глину обусловлена их разной степенью активности участия в протекающих процессах обмена, поглощения и т. п. Наиболее важным показателем в гранулометрическом составе почв, отражающем их активность в поглощении веществ и их обмене, является количественное наличие в них фракции >0,001 мм. Чем больше этой фракции в гранулометрическом составе почв, тем сильнее в них выражены такие их свойства, как емкость поглощения, активность обмена, пластичность, липкость и т.п.

3.3. Химический состав твердой фазы почв (минеральной части)

Известно, что почва состоит из минеральных, органических и органоминеральных веществ. Источником минеральных соединений почвы являются горные породы, из которых складывается оболочка земной коры - литосфера. Минеральная часть составляет 80-90 % и более от веса почв и только в органогенных почвах снижается до 10 % и менее.

В составе почв обнаружены почти все известные химические элементы. Средние цифры, показывающие содержание отдельных элементов в литосфере и почвах, по предложению академика А.Е. Ферсмана стали называть кларками в честь американского геохимика Ф.У. Кларка, впервые вычислившего в 1889 г. средний химический состав земной коры.

Изучение почв с геохимической точки зрения было впервые начато академиком В.И. Вернадским в 1911 г. Относительное содержание отдельных химических элементов в литосфере и почве колеблется в широких пределах (табл. 3).

Таблица 3

Среднее содержание (в весовых процентах) химических элементов в литосфере и почвах (по А.П. Виноградову, 1950)

Элемент	Литосфера	Почва	Элемент	Литосфера	Почва
O	47,2	49,0	Ti	0,60	0,46
Si	27,6	33,0	H	0,15	
Al	8,8	7,13	C	0,10	2,00
Fe	5,1	3,80	S	0,09	0,085
Ca	3,6	1,37	P	0,08	0,09
Na	2,64	0,63	N	0,01	0,10
K	2,60	1,36			
Mg	2,10	0,60			

Литосфера состоит почти наполовину из кислорода (47,2%), более чем на четверть из кремния (27,6%), далее идут алюминий, железо, кальций, натрий, магний. Восемь названных элементов составляют более 99% общей массы литосферы. На долю таких важнейших для питания растений элементов, как кислород, азот, сера, фосфор и др., приходятся десятые и сотые доли процента. Ещё меньше в земной коре элементов, необходимых растениям в малых количествах, так называемых микроэлементов.

Поскольку минеральная часть почвы в значительной степени обусловлена химическим составом горных пород литосферы, имеется сходство почвы с литосферой по относительному содержанию отдельных химических элементов. Как в литосфере, так и в почве на первом месте стоит кислород, на втором кремний, затем алюминий, железо и т.д. Однако в почве, по сравнению с литосферой, в 20 раз больше углерода и в 10 раз азота. Накопление этих элементов в почве обусловлено жизнедеятельностью организмов, в составе которых в среднем содержится углерода 11%, азота 0,3% на живое вещество (по А.П. Виноградову).

В почве больше кислорода и водорода как элементов воды. Значительно больше кремния и меньше, чем в литосфере, алюминия, железа, магния, натрия, калия и других элементов, что является следствием процессов выветривания и почвообразования. Первоисточником химических элементов всех почв и пород являются магматические породы. Они составляют 95% общей массы пород, слагающих верхнюю 16-километровую толщу литосферы.

Магматические породы по химическому составу очень разнообразны. По среднему со-

держанию кремнезёма, как самой главной составной части, магматические породы делятся на пять групп: ультракислые, содержащие 75% и более; кислые - 75-65 %; среднекислые - 65-52 %; основные - 52-40 %; ультраосновные - меньше 40 %. Основные породы не содержат свободного кварца, богаты щелочно-земельными основаниями, бедны щелочами. С переходом к средним и кислым породам уменьшается содержание кальция, возрастает количество калия. В кислых породах количественно преобладает калиевый полевой шпат. Ультраосновные породы сложены минералами, у которых нет кальция.

На долю осадочных пород приходится только 5 % литосферы.

Метаморфические породы в расчёт не принимаются, так как причисляются к породам, из которых они образовались.

Процессы выветривания, переотложения продуктов выветривания горных пород, слагающих литосферу, приводят к образованию рыхлых пород различного химического состава, являющихся главными почвообразующими породами. В верхних частях этих пород формируются почвы. На долю магматических пород поверхности литосферы приходится только около 25 %.

Химический состав рыхлых почвообразующих пород обуславливается химическим составом продуктов выветривания первичной горной породы.

По содержанию щелочноземельных и щелочных оснований почвообразующие породы делятся на засоленные карбонатные и выщелоченные. Химический состав почвообразующей породы отражает в известной мере её гранулометрический и минералогический состав. Песчаные породы, богатые кварцем, состоят преимущественно из кремнезёма. Чем тяжелее гранулометрический состав породы, тем больше в ней высокодисперсных вторичных минералов, а, следовательно, меньше кремнезёма, больше оксидов алюминия, железа, химически связанной воды.

Почвы наследуют геохимические черты исходного материала почвообразующих пород. Богатство породы кремнезёмом сказывается на содержании этого оксида в почве. Почвы, развивающиеся на карбонатной породе - лёссе, отличаются большим содержанием кальция. Засоленность почвообразующей породы является источником засоления почвы и т.д. Однако порода, являясь материнским материалом почв, в процессе почвообразования подвергается изменению. В зависимости от типа почвообразования происходят изменения в содержании и распределении по профилю почвы различных химических элементов или оксидов. Каждый тип почвы приобретает характерную дифференциацию на горизонты с определённым химическим составом.

3.4. Агрегатный состав почв (почвенная структура)

Агрегатный состав минеральной части почв представляет собою совокупность почвенных агрегатов, имеющих разную форму и разную размерность.

Элементарные (индивидуальные) почвенные частицы и микроагрегаты, взаимодействуя между собой, укрупняются, образуя макроагрегаты, получившие название - *педы*.

Педами называют почвенные агрегаты, имеющие естественную форму и свой размер. Форма, размер и структура агрегатов, тесно связаны с гранулометрическим и микроагрегатным составами, и особенностями процесса почвообразования. Более мелкие минеральные частицы агрегируются (образуют комочки) лучше, чем крупные частицы. Образующиеся агрегаты (комочки) обуславливают важные свойства почв, особенно водно-воздушный режим их. Поэтому форма и размеры почвенных агрегатов являются одним из основных морфогенетических признаков, используемых при диагностике почв.

Все почвенные агрегаты по своим размерам разделяют на три группы (табл.4). Размер почвенных агрегатов, как и их форма, определяют характер сложения (упаковки) минеральных частиц почвы. Это обуславливает формирование и характер одного из важнейших свойств почвы - ее водно-воздушного режима.

Водно-воздушный режим почв создают не все почвенные агрегаты, а только агрегаты,

с размером диаметра более 0,25 мм. Почвенные агрегаты меньшей размерности упаковываются довольно плотно, поэтому не образуют между мелкими агрегатами пор, и в целом - порозность. Отсутствие порозности, или ее маленькая величина, не обеспечивают воздухоемкость, или она крайне мала. Поэтому, в почвоведении принято различать и выделять два вида почвенной структуры, для чего и введены два понятия:

- *почвенно-генетическая структура*
- *агрономически ценная структура.*

Под *почвенно-генетической* структурой понимается наличие почвенных агрегатов любой формы и любой размерности. Даже пылеватая частица, песчинка и т. п. оцениваются как отдельный почвенный агрегат. Для теории генетического почвоведения необходимо учитывать все формы почвенных агрегатов, включая песчаные зерна и частицы, размером пыли. Эти показатели дают возможность оценить степень дисперсности почв и степень возможности мелкозема агрегироваться, т. е. образовывать почвенные агрегаты.

Таблица 4

Группы структур	Размер агрегатов, мм	Подгруппы структур	Размер агрегатов, мм
1. Микро структура	< 0,25	1.Тонкая 2.Грубая	<0,01 0,01-0,25
2.Макроструктура: комковатая	0,25-10	1.Мелкокомковатая 2.Среднекомковатая 3.Крупнокомковатая	0,20-1 1-3 3-10
3. Мегаструктура: глыбистая	>10	1.Мелкоглыбистая 2.Крупноглыбистая	10-100 >100

Группы и подгруппы почвенных агрегатов

В практике же земледелия главное значение имеет агрономически ценная структура, ибо только она обеспечивает оптимальный водно-воздушный режим почв.

В связи с этим напомним, что почвенное плодородие - это способность почв удовлетворять растения в пище, воде и воздухе. При оптимальном плодородии почв, 50% пор должно быть занято влагой, и 50% - воздухом.

Агрономически ценная структура почв

Под *агрономически ценной* структурой понимаются почвенные агрегаты (комочки), с размером их диаметра крупнее 0,25 мм. Наилучший максимальный размер агрегатов должен составлять 7мм, и не больше 10 мм. Эти агрегаты относятся к группе *мезоагрегатов*. Размер мезоагрегатов (10-0,25 мм) наиболее оптимален для равномерной их упаковки, обеспечивающий не только сохранение влаги, но и почвенного воздуха.

Почвенные мезоагрегаты должны быть прочными не только против механических воздействий, но и против воздействия воды, поэтому принято в почвоведении называть их *водопрочными*.

Н.А. Качинский установил, что для создания крупных пор, обеспечивающих хорошую воздухоемкость и водоемкость, а также воздухопроницаемость и водопроницаемость, в суглинистых, увлажненных почвах, почвенные мезоагрегаты должны иметь размеры в пределах 7-10 мм.

В почвах постоянно сухих (сухие зоны, где надо сохранять влагу) и хорошо аэрируемых - размеры почвенных агрегатов могут быть значительно меньше, близкими к размерам песчаных зерен.

Агрегированность твердой фазы почв обуславливает их влагоемкость и их воздухоемкость. В каждый конкретный момент времени, поровые пространства могут быть заполнены или почвенным воздухом, или водой. В большинстве почв в каждый конкретный момент времени часть пор может быть занята водой, а часть - воздухом. Но это соотношение не остается величиной постоянной и во времени непрерывно меняется, в зависимости от погодных условий и других факторов.

Это и составляет водно-воздушный режим почв.

При этом следует иметь в виду, что в почвах поток воды всегда стремится вытеснить из пор (полостей) почвенный воздух.

Агрегатный состав почв влияет на механические свойства почв (твердость, сложение и т.п.), на обеспечение растений влагой и воздухом, т.е. на рост и развитие корней растений. Поэтому, агрономы уделяют большое внимание вопросам создания именно агрономически ценной структуры почв.

Оценка качества структуры почв (почвенных агрегатов)

Для оценки достоинств (качества) агрономической структурности почв введено понятие *о коэффициенте структурности (К)*. Он выражается как отношение количества мезоагрегатов к сумме макро- и микроагрегатов:

$$K = a / b,$$

где: а - количество мезоагрегатов, b - сумма микро- и макроагрегатов. Качинский Н.А. предложил понятие «*фактор дисперсности*» (K_d). Выражается фактор дисперсности величиной процентного отношения содержания ила [фракции <0,001 мм], освобожденного из почвенного агрегата под воздействием воды [I_m], к его общему содержанию в мелкоземе [I_g]:

$$K_d = I_m / I_g * 100\%.$$

Фактор дисперсности служит косвенным показателем способности плазмы образовывать водоустойчивые агрегаты. Чем больше ила высвободится из почвенного агрегата при воздействии на него воды (выше величина K_d), тем, следовательно, менее водоустойчивы к разрушению микро и макроагрегаты. И способность к агрегированию у таких почв невысокая.

Исходя из этого принципа, Н.А. Качинский предложил шкалу (градацию) микрооструктурности почв по величине K_d . Она выглядит следующим образом:

при величине $K_d < 15$ - способность к оструктурированию почв высокая,

при величине K_d равной 15-25 - хорошая

при величине K_d равной 25-40 - удовлетворительная

при величине K_d равной 40-60 - не удовлетворительная

при величине $K_d > 60$ - весьма низкая.

Фигелер [1932] ввел представление о факторе структурности K_c :

$$K_c = [I_g - I_m] / I_g * 100\%.$$

Бэвер и Родес [1932] предложили за величину степени агрегированности почв (K_a) считать величину, отражающую отношение содержания частиц, размером более 0,05 мм в микроагрегатах к их содержанию в мелкозему:

$K_a = [P_m - P_g] / P_m * 100\%$, где: P_m - содержание фракций размером >0,05 мм в микроагрегатах;

P_g - содержание фракций >0,05 мм в мелкозему.

На основании этих показателей предложена следующая градация почв по микроагрегированности:

>90 - очень высокая

80-90 - высокая 65-80 - хорошая

50-65 - удовлетворительная

35-50 - слабая

20-35 - весьма слабая

<20 - низкая.

А.Д. Воронин и М.С. Кузнецов [1970] предложили оценивать способность почвы к агрегированию величиной отношения активной (цементирующей) части мелкозема почвы [$<0,001$ мм] к ее и пассивной (скелетной) части почвы ($>0,001$ мм)

Чем выше содержание активной части и меньше - пассивной, тем выше способность почвы к агрегированию.

Характер водно-воздушного режима почв обуславливается не только размерами почвенных агрегатов, но и их формой.

Форма почвенных агрегатов

По форме все почвенные агрегаты разделяются на три большие группы:

- округло-кубовидная
- призмовидная
- плитовидная.

Каждая группа включает несколько родов почвенной структуры. *1.Округло-кубовидная включает 7 родов:*

- глыбистая
- комковатая
- пылеватая
- ореховатая
- зернистая
- конкреционная
- икряная

II. *Призмовидная включает 3 рода:*

- столбовидная
- призмовидная
- призматическая

III. *Плитовидная включает 2 рода:*

- плитчатая
- чешуйчатая.

Условия и механизмы образования агрегатов следующие. В почвах одновременно с процессами слипания и связывания ЭПЧ, способствующими образованию сплошной массы, происходят процессы, приводящие к обособлению почвенной массы в виде отдельных фрагментов - педов, или макроагрегатов. Ведущее место среди этих процессов занимают непрерывно протекающие в почвах и сменяющие друг друга процессы иссушения и увлажнения, а также тесно связанные с ними процессы усадки и набухания. Процессы иссушения и увлажнения почв оказывают двойное влияние на формирование почвенных агрегатов. Сильное увлажнение приводит к разрыву связей между минеральными частицами и агрегатами, что проявляется при иссушении в виде трещин. Длительное иссушение почв, наоборот, способствует сближению минеральных частиц, что усиливает упаковку (плотность сложения). Эти процессы приводят к объемным изменениям в почве и вызывают в ней напряжения и образование трещин и плоскостей ослабления.

При образовании трещин илистые частицы ориентируются вдоль осей сдвига. Это способствует образованию и сохранению плоскостей ослабления, по которым формируются грани почвенных агрегатов. На образующихся гранях аккумулируются диспергированные глинистые частицы (ил, коллоиды), гумусовые вещества, полуторные окислы и

другие продукты почвообразования. Эти отложения, возникшие на гранях агрегатов, получили название - *почвенные кутаны*. Мощность кутан может достигать размера 0,1 мм, а из глинистых частиц - нескольких миллиметров. Характерной особенностью кутан является наличие в них ориентированных глин. Тогда как в плазме почвенного агрегата (тонкодисперсная его часть), как правило, отсутствует направленная ориентация илистых частиц, что приводит к образованию трещин многогранной формы.

И плазма, и кутаны являются хорошими цементами (клеями), скрепляющими почвенные агрегаты.

В зависимости от свойств и состава мелкозема, почвенные агрегаты образуются разной размерности и формы. Так, при большом содержании в мелкоземе гумуса и карбонатов образуются многогранные агрегаты. При большом содержании гумуса в верхнем горизонте образуется зернистая структура. В горизонтах, богатых карбонатами, железом, образуются агрегаты ореховатой формы.

Заметное влияние на образование почвенных агрегатов оказывают процессы замерзания и оттаивания. Вода, замерзая и увеличиваясь в объеме, разрывает связи между частицами мелкозема. В результате возникают криогенные трещины разных размеров. При оттаивании почвы, эти трещины ослабляют связи между частицами, в результате чего структурные отдельности обособляются, формируясь в самостоятельные агрегаты.

Степень и характер промерзания почв зависят от многих факторов, но, прежде всего, от степени увлажнения. При небольшом содержании воды объем образующегося льда ничтожен, поэтому его влияние на объемные изменения в почве незначительно. В переувлажненной почве льдообразование идет почти одновременно во всем ее объеме. Сложение почвы при этом не изменяется и образование трещин не происходит.

При средней степени увлажнения большая часть воды сосредоточена в капиллярах. Объем образующегося льда превышает размеры пор, вследствие чего возникают трещины. Почва расчленяется на структурные отдельности.

Чем плотнее бывает упакован мелкозем, тем больших размеров образуются почвенные агрегаты. Существенную роль в образовании почвенных агрегатов играют корневые системы растений, преимущественно травянистых. Корни, пронизывая почву, разделяют ее на структурные отдельности.

3.5. Состав и свойства почвенных агрегатов

Образование водоустойчивых почвенных агрегатов зависит от содержания в них илистой фракции, гумусовых и других цементирующих веществ (оксиды железа, карбонаты и т.п.). В хорошо агрегированных, тяжелых и средних почвах почвенные агрегаты (кроме агрегатов размером < 2 мм), имеют такой же гранулометрический состав, как и вся почва в целом. В агрегатах, размером < 2 мм, преобладают в основном фракции песка и пыли. Эта особенность характерна для всех почв, независимо от их гранулометрического состава. В тесной связи с составом и формой почвенных агрегатов находятся и свойства почв (плотность, порозность и др.). Пористость почв целиком обусловлена характером, а именно - формой, размерами и составом почвенных агрегатов

В порах почвенных агрегатов и в межагрегатных полостях совершаются все физические, химические и биологические процессы. В них сосредоточены запасы воды и почвенного воздуха. Как указывалось выше, характер почвенных агрегатов влияет и на механические свойства почв, на прорастание семян, на рост и развитие корней растений. Поэтому, создавая почвенные агрегаты и формируя их форму и размеры - можно управлять и физическими свойствами почв. Пористость почвенных агрегатов, при плотной их упаковке, обычно составляет 25-26% объема почвы. Создание дополнительного количества микроагрегатов увеличивает пористость вдвое (до 40-50%). Разрушение почвенных агрегатов уменьшает объем порового пространства, ухудшается инфильтрация воды в почву, аэрация почвы; возрастает количество тонко капиллярных пор, что вызывает усиление про-

цессов испарения.

Уменьшение количества водопрочных агрегатов создает условия для возникновения и развития процессов эрозии почв. Агрегаты, находящиеся на поверхности почвы, больше уязвимы к внешним воздействиям (механическая обработка, атмосферные осадки) и поэтому быстрее разрушаются. Разрушение почвенных агрегатов обуславливает запыливание почв с поверхности, особенно во влажное время. В сухое время на поверхности почв образуются плотные корки.

Все изложенное указывает на то, что почвы, обладающие хорошей структурой, обладают и более благоприятными свойствами (по сравнению с бесструктурными почвами) для развития растений. Это выражается в следующем:

1. Структурные почвы меньше испаряют влаги, обладают большей водопроницаемостью и водоудерживающей способностью. Они больше накапливают влаги и более продуктивно ее используют.
2. В структурных почвах создаются более благоприятные условия для микробиологических процессов и перевод питательных веществ из недоступной формы химических соединений в усвояемую (доступную для растений) форму.
3. Структурные почвы отличаются повышенной устойчивостью к эрозии и дефляции почв.
4. Структурные почвы требуют меньше затрат труда и средств на механическую обработку.
5. В структурных почвах создаются лучшие условия для прорастания семян, роста и развития возделываемых культур.

3.6. Дисперсность почвы

Дисперсность почв - это степень дробления минеральной части почв на элементарные почвенные частицы. Как показано выше, дисперсность почв отображается гранулометрическим составом их минеральной части. Основным показателем степени диспергированности минеральной части почв является наличие в ней частиц менее >0.001 (илистая и коллоидная фракции). Эти показатели находятся в прямой зависимости. Частицы наименьших размеров обладают наиболее активной способностью поглощения и обмена. Это определяет многие физические и химические свойства почв.

Минеральная часть твердой фазы почв не однородна по своему составу и свойствам - в ней присутствуют почвенные частицы всех размерностей. Но количественные соотношения между ними в разных почвах разные. От этого зависят такие физические свойства почв как их сложение (упаковка), плотность, рыхлость, способность формировать почвенные агрегаты (почвенную структуру). Это, в свою очередь, обуславливает характер и степень проявления различных элементарных процессов почвообразования (ЭПП). Наиболее активными в процессах обмена и поглощения являются коллоидные частицы. Коллоидные частицы различают по составу:

- минеральные,
- органические,
- органоминеральные.

Основная масса почвенных коллоидов представлена в почвах минеральными частицами. Их разделяют по размерам на:

- предколлоидную фракцию ($0,0001-0,00001$ мм) и
- собственно коллоидную ($>0,2$ мм).

Благодаря малым размерам радиуса частиц, коллоиды обладают большой удельной поверхностью. Величина удельной поверхности обуславливает такие свойства почв как адсорбция и физико-химическое поглощение катионов и анионов. Увеличение степени дисперсности одной единицы массы вещества, приводит к увеличению его суммарной по-

верхности.

Напомним, что почва представляет собою полидисперсную систему, где дисперсионной средой является жидкая фаза (почвенный раствор), а фазой - коллоидные частицы. Между жидкой фазой (среда) и коллоидами (фаза) существуют межфазные поверхности раздела. Их характер определяют взаимоотношения между фазами раздела, выражающийся в межмолекулярных силах различных форм воды (как дисперсной среды) и суммарная поверхность коллоидов.

Поверхностный слой воды обычно составляет несколько молекул.

Поверхность твердых частиц, в отличие от покрывающей их жидкости, в течение долгого времени остается неизменной. Поэтому межфазную поверхность раздела определяет не вода, а формы поверхности твердых частиц, что необходимо учитывать при оценке характера этих поверхностей.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая из фаз почвы наиболее инертна?
2. Что такое жидкая фаза почвы?
3. Какие минералы называются первичными, чем они представлены в почве?
4. Перечислите группы вторичных минералов почвы. Пути образования вторичных минералов.
5. Значение первичных минералов почвы в ее плодородии.
6. Значение вторичных минералов почвы в ее плодородии.
7. В фракциях почвы какого размера сосредоточены первичные минералы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии : учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
2. **Суворов А. К.** Геология с основами гидрологии: учебное пособие / А. К. Суворов. - М. : КолосС, 2007. - 207 с. : ил.
3. Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
4. **Орлов Д.С.** Химия почв: Учебник/ Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И.Суханова.– М.: Высш. Шк., 2005–558 с.: ил.
5. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.

Дополнительная

1. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
2. **Палагина Т.Я.**, Сеницына Н.Е., Павлова Т.И. Горные породы: Метод.указания к лабораторным работам. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – 44 с.
3. **Сеницына Н.Е.** Почвы Саратовской области/ Н.Е. Сеницына, В.В. Кравченко, С.И. Сысоев, В.И. Губов, Ю.М. Гришин, Т.И. Павлова; Под общей ред. Сеницыной Н.Е.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – 98 с.
4. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
<http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
2. <http://library.sgau.ru>; <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>

Лекция 4.

СТРУКТУРА ПОЧВЫ

4.1. Понятие о структуре почвы

Почва является полидисперсным и пористым телом. Ее твердая часть состоит из частиц различного размера — механических элементов. Они могут находиться в раздельно-частичном (бесструктурном) состоянии или в виде структурных отдельностей (агрегатов). При любом уплотнении механических элементов и агрегатов между ними всегда имеются поры. С наличием пор и их размером тесно связаны проникновение корней, воды и воздуха, воздухообмен, запас, расход и передвижение влаги, нагревание и охлаждение почвы, интенсивность и направленность микробиологических процессов, т. е. важнейшие показатели плодородия почвы — ее способности обеспечивать растения водой, воздухом, элементами питания и в определенной степени теплом.

Особенности почвы как полидисперсного и пористого тела определяют ее специфические физические свойства. К ним относят структуру, общие физические, физико-механические, водные, воздушные, тепловые свойства почвы. В настоящей главе рассматриваются структура, общие физические и физико-механические свойства.

Физические свойства почвы — важный, а иногда решающий фактор формирования урожая сельскохозяйственных культур и эффективности различных приемов их возделывания.

4.2.. Агрономическая характеристика структуры

Физические свойства почвы и их влияние на плодородие в большой степени зависят от ее агрегатного состояния. В главе 4 рассмотрена структура почвы как ее морфологический признак. При изучении физических свойств необходимо знать характеристику структуры с точки зрения агрономии.

Агрономически ценной структурой является комковатая и зернистая структура верхних горизонтов почвы размером от 0,25 до 10 мм, обладающая водопрочностью и связностью.

Благоприятное влияние на агрономические свойства почв оказывает и микроструктура при условии ее пористости и водопрочности. Наилучшими являются микроагрегаты размером 0,25—0,05 и 0,05—0,01 мм. Более мелкие забивают поры, ухудшают пористость, воздухо- и водопроницаемость.

Водопрочность — способность агрегатов противостоять разрушающему действию воды. Связность — устойчивость агрегатов к механическому воздействию. Структурной считается почва, содержащая более 55 % водопрочных агрегатов (табл. 32). Важно, чтобы структурные отдельности пахотных горизонтов не разруша-

32. Шкала оценки структурного состояния почвы (по Долгову и Бахтину, 1966)

Содержание агрегатов 0,25—10 мм, % к веществу		Структурное состояние
водопрочных	воздушно-сухих	
>80	>70	Отличное
80—60	70—55	Хорошее
60—40	55—40	Удовлетворительное
40—20	40—20	Неудовлетворительное
<20	<20	Плохое

лись при увлажнении почвы и при механическом воздействии сельскохозяйственных машин и орудий.

Наличие такой структуры в корнеобитаемом слое создает устойчивое соотношение капиллярных и некапиллярных пор. В нем между агрегатами преобладают некапиллярные поры, а внутри агрегатов - капиллярные. Возникают хорошие условия для проникновения воды, воздуха, развития корней растений, нормальной аэрации, создания устойчивого и доступного запасов влаги. В бесструктурной почве или в почве с преобладанием неводопрочных и неустойчивых к механическому воздействию агрегатов крупные некапиллярные поры или отсутствуют, или быстро утрачиваются, почва уплотняется, и в ней господствуют капиллярные поры. При таком строении пахотного слоя в период увлажнения все поры заполняются водой, нарушается воздухообмен. Вода не может продуктивно использоваться растениями, так как они страдают от недостатка воздуха. При просыхании почвы условия обеспечения корней кислородом улучшаются, но за счет потери воды растения начинают страдать от недостатка влаги. Для бесструктурных почв характерен антагонизм между водой и воздухом. Кроме того, при высыхании бесструктурных почв, особенно тяжелых, они приобретают глыбистое монолитное сложение. Таким почвам значительно труднее придать благоприятное строение пахотного слоя при обработках.

Образование агрономически ценной структуры протекает под воздействием физико-механических, физико-химических, химических и биологических факторов.

Физико-механические (и физические) факторы обуславливают крошение почвенной массы главным образом под влиянием изменяющегося давления или механического воздействия. К ним относятся уплотняющее и рыхлящее действие корней, роющих и копающих животных, попеременное высушивание и увлажнение, замерзание и оттаивание почвы, воздействие почвообрабатывающих орудий.

К физико-химическим и химическим факторам относятся коагуляция почвенных коллоидов и цементирующее воздействие ряда почвенных соединений. Клеящими и цементирующими веществами могут служить гумус, глинистое вещество, гидроксиды железа и алюминия, карбонат кальция. Одни минеральные соединения без гумусовых веществ не образуют водопрочных агрегатов.

Основная роль в образовании агрономически ценной структуры принадлежит биологическим факторам — растительности и почвенным организмам. Помимо механического уплотняюще-рыхлящего воздействия корней растительность является главным источником образования гумуса, а гуматы кальция выступают как важнейшие клецементирующие вещества при возникновении высокопрочных агрегатов. При высоком содержании гуматов натрия образуются неводопрочные очень плотные агрегаты.

Наиболее сильное оструктурирующее воздействие на почву оказывает многолетняя травянистая растительность. Важную положительную роль играют почвенные насекомые и животные, особенно черви.

4.3. Утрата и восстановление структуры

Структура почвы динамична. Она разрушается под воздействием механической обработки, передвижения машин и орудий, людей, животных, под ударами дождевых капель. Важнейшие пути уменьшения механического разрушения структуры — обработка почвы в состоянии ее физической спелости, а также минимализация обработок. Утрата агрегативности водопрочности может быть связана с физико-химическими явлениями — заменой обменных ионов кальция и магния на ион натрия. В этом случае при увлажнении происходит пептизация клеящих гумусовых веществ и, как следствие, разрушение агрегатов. Поэтому приемы химической мелиорации (известкование, гипсование и др.), обогащая почву обменным кальцием, способствуют улучшению структуры.

Биологические причины разрушения структуры связаны с процессами минерализации гумуса.

Восстановление и сохранение структуры почв — важное условие их рационального сельскохозяйственного использования, поддержания и повышения плодородия. Его осуществ-

ляют агротехническими приемами: посев многолетних трав, обработка почвы в спелом состоянии, минимализация обработок, известкование кислых почв, гипсование солонцов и солонцеватых почв, внесение органических и минеральных удобрений.

Водопрочная структура восстанавливается под воздействием как многолетних трав, так и однолетних сельскохозяйственных растений. Однако оструктурирующее воздействие многолетних трав выше. Они развивают более мощную корневую систему, более длительное время воздействуют на почву, оставляют в почве больше органического вещества (корней и послеуборочной надземной массы), благоприятного по составу для деятельности микроорганизмов, образования гумуса.

Из однолетних культур пшеница, подсолнечник, кукуруза образуют мощные корневые системы и оказывают наибольшее положительное воздействие на структурообразование. Лен, картофель, капуста, имеющие слаборазвитые корневые системы, обычно оказывают незначительное оструктурирующее действие на почву.

Большое значение в оструктурировании почв имеет систематическое применение органических удобрений — навоза, торфокомпостов, сидератов. Они являются источником образования гумуса, значительно стимулируют деятельность червей и других представителей почвенной биоты, положительно влияющей на структурообразование.

Улучшение структурного состояния почв возможно также с помощью искусственных структурообразователей, преимущественно различных органических веществ, в частности полимеров и сополимеров, состоящих из производных акриловой, метакриловой и малеиновой кислот.

4.4. Физико-механические свойства

К физико-механическим свойствам относятся пластичность, липкость, набухание, усадка, связность, твердость и удельное сопротивление. Физико-механические свойства имеют большое значение для оценки технологических свойств почвы — условий ее обработки, работы посевных и уборочных агрегатов.

Пластичность — способность почвы изменять свою форму (деформироваться) без образования трещин под воздействием внешних сил и сохранять приданную форму после прекращения механического воздействия. Пластичность обусловлена илистой фракцией и зависит от влажности почвы. Сухие почвы не обладают пластичностью. Избыточно увлажненные начинают течь и теряют пластичность. В связи с этим различают верхний и нижний пределы пластичности. Верхний определяется величиной весовой влажности, при которой почва начинает течь, нижний — при которой почву еще можно раскатать в шнур диаметром 3 мм без образования трещин. Пластичность зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов, состава обменных катионов. Наибольшей пластичностью обладают глинистые почвы, наименьшей — песчаные. Повышенное содержание обменного иона натрия увеличивает пластичность. Более гумусированные почвы характеризуются меньшей пластичностью. Пластичные почвы обладают меньшим сопротивлением к механическому воздействию. Чем выше пластичность, тем почва больше подвержена образованию колеи на ее поверхности при проходе агрегатов.

Липкость — способность влажной почвы прилипать к другим телам. Это свойство проявляется в определенных пределах влажности, когда сцепление между почвенными частицами меньше, чем между ними и соприкасающимися предметами. Она определяется силой, требующейся для отрыва металлической пластинки от почвы, и выражается в г/см². По липкости почвы подразделяют (по Н. А. Качинскому): на предельно вязкие (>15 г/см²), сильновязкие Е—15), средневязкие В—5) и слабовязкие (<2 г/см²).

Липкость оказывает отрицательное влияние на условия обработки, если состояние влажности и повышенная пластичность почвы вызывают ее прилипание к рабочим частям сельскохозяйственных машин. При этом увеличивается тяговое сопротивление и ухудша-

ется качество обработки почвы. Липкость зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов почвы, ее структурности и состава обменных катионов.

Наибольшей липкостью обладают тяжелые бесструктурные и слабооструктуренные почвы; насыщенность ППК ионом кальция снижает липкость, а внедрение в ППК иона натрия увеличивает ее.

Набухание — увеличение объема почвы при увлажнении. Выражается в объемных процентах от исходного объема почвы. Это свойство связано со способностью коллоидов почвы сорбировать воду и образовывать гидратные оболочки вокруг минеральных и органических частиц. Набухание наиболее выражено у глинистых минералов с расширяющейся решеткой, что обуславливает не только поверхностную сорбцию воды, но и проникновение ее в межпакетные промежутки минералов. При этом объем таких коллоидов может увеличиваться в 2 раза. Повышению набухаемости способствует внедрение иона натрия в ППК. Набухание — отрицательное свойство; его проявление может сопровождаться выпиранием почвенной массы, разрушением структурных отдельностей.

Усадка — сокращение объема почвы при высыхании. Это явление обратное набуханию и зависит от тех же факторов. Чем выше набухание почвы, тем сильнее ее усадка. Выражается она в процентах от объема исходной почвы. Усадка может вызывать разрыв корней, приводит к образованию трещин, что способствует непроизводительной потере влаги за счет испарения.

Связность — способность почвы сопротивляться внешнему усилию, стремящемуся разъединить почвенные частицы. Выражают ее в кг/см^2 . Связность обусловлена силами сцепления между частицами почвы, зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов, влажности, а также оструктуренности почвы и факторов, ее обуславливающих (гумусированности, состава обменных катионов и др.). Наибольшей связностью обладают глинистые почвы и почвы, содержащие большое количество обменного натрия. Оструктуренные почвы характеризуются меньшей связностью. Невысокую связность имеют песчаные почвы. Минимальная связность наблюдается при влажности, близкой к влажности завядания.

Учет связности почвы имеет большое значение для качества выполняемых технологических операций - рыхления, перемешивания почвенных слоев, крошения почвы, вспашки и т. п. Эти приемы должны выполняться при наименьшей связности почвы. Определение такого состояния связано с понятием «физическая

спелость почвы».

Физическая спелость — состояние почвы, при котором она хорошо крошится на комки, не прилипая к орудиям обработки. Она определяется влажностью почвы и зависит от тех же факторов, что связность и липкость. Для среднесуглинистых почв физическая спелость наступает при следующей их абсолютной влажности ($\text{в}\%$): дерново-подзолистые — 12-21, серые лесные — 15—23, черноземы — 15—24, каштановые — 13—25, каштановые солонцеватые — 13—20. С утяжелением гранулометрического состава интервал физической спелости почв во времени и по показателям влажности становится уже.

Помимо физической спелости выделяют биологическую спелость, которая характеризуется таким температурным состоянием почвы, при котором активно развиваются биологические процессы (деятельность почвенной биоты, прорастание семян и др.). Для большинства почв она близка к $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Твердость — свойство почвы в естественном залегании сопротивляться сжатию и расклиниванию. Выражается она в кг/см^2 . Измеряется при помощи твердомеров. Ее показатели колеблются от 5 до 60 кг/см^2 и выше. Высокая твердость почвы — показатель плохих ее агрофизических качеств. Твердость зависит от влажности, гранулометрического состава, оструктуренности, состава поглощенных катионов, содержания гумуса. С понижением влажности почвы твердость возрастает. Почвы хорошо гумусированные и структурные имеют меньшие показатели твердости, чем малогумусные и бесструктурные. Насыщение ППК кальцием снижает твердость, а внедрение натрия в ППК значительно повышает ее.

Так, у черноземов твердость в 10—15 раз ниже, чем у солонцов. Высокая твердость увеличивает тяговое сопротивление при обработке, снижает всхожесть семян, затрудняет проникновение корней растений.

Удельное сопротивление — усилие, затраченное на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность. Измеряют сопротивление почвы в килограмме, приходящемся на 1 см² поперечного сечения пласта, поднимаемого плугом. В зависимости от гранулометрического состава, физико-химических свойств, влажности, характера угодья удельное сопротивление почвы может изменяться от 0,2 до 1,2 кг/см². От удельного сопротивления почвы зависят затраты на ее обработку; с этой величиной связана норма выработки машинно-тракторного парка, расход топливно-смазочных материалов.

4.5. Приемы регулирования общих физических и физико-механических свойств почв

Для регулирования физических и физико-механических свойств почв в соответствии с требованиями растений и выбора наиболее эффективной технологии их возделывания агроному необходимо дать оценку параметрам этих свойств, а также оценить роль отдельных факторов в их формировании. Поскольку гранулометрический и минералогический составы трудно поддаются изменениям при земледельческом использовании почв, следует учитывать главным образом их значение при выборе приемов регулирования физических и физико-механических свойств почв: выбор оптимальных сроков обработки почв разного гранулометрического состава в зависимости от их влажности, применение рыхления подпахотного слоя на тяжелых почвах, дифференцированное осуществление прямых приемов их изменения (внесение органических удобрений, культура сидератов, регулирование состава обменных катионов и др.).

Сильное отрицательное влияние на физические и физико-механические свойства почвы оказывает тяжелая техника. Уплотняющее воздействие на почву может проявляться до глубины 50—80 см, а наиболее резко оно сказывается на плотности и порозности пахотного слоя. По подсчетам разных авторов, при возделывании зерновых культур уплотняющему воздействию подвергается от 30 до 80 % площади поля, при этом значительная часть двукратному и более.

В результате уплотняющего воздействия техники снижается порозность, особенно некапиллярная, ухудшаются условия для проникновения корней, уменьшаются водообеспеченность растений и аэрация, содержание нитратов в почвенном растворе. Следствием такого ухудшения физических свойств является значительное снижение урожая. Даже при однократном проходе техники урожай зерновых на следах прохода колес машин уменьшается до 50—60 %. Особенно сильно ухудшаются физические свойства на тяжелых слабооструктурных почвах с повышенной влажностью (почвы таежно-лесной зоны, орошаемые земли).

Ослабления вредного уплотняющего воздействия тяжелой техники на почву достигают применением современных технологий возделывания культур, сокращающих количество проходов агрегатов по полю, строгим соблюдением оптимальных сроков проведения полевых работ с учетом состояния влажности почвы, ее физических и физико-механических свойств, осуществлением мероприятий по их улучшению, использованием активных приемов по борьбе с уплотнением (глубокое рыхление). Важное значение также имеют применение существующих и разработка новых машин и агрегатов с минимальным уплотняющим воздействием на почву (широкозахватные и комбинированные агрегаты с многоцелевыми рабочими органами, машины и агрегаты на гусеницах и шинах низкого давления и др.).

Вопросы для самоконтроля

1. Какие процессы определяют образование структуры, ее утрату и каковы процессы и приемы восстановления структуры почв?
2. В чем заключается роль структуры почвы в формировании ее свойств, режимов и плодородия?
3. Дайте понятия плотности почвы и плотности ее твердой фазы, порозности почвы и раскройте их агрономическое значение.
4. Назовите физико-механические свойства почв, дайте им определение и укажите их зависимость от состава почвы, ее физико-химических свойств и других факторов.
5. Как влияют физико-механические свойства на агрономическую оценку почв?
6. Перечислите приемы регулирования общих физических и физико-механических свойств почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
2. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
3. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
4. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

1. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
2. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

Лекция 5.

Удельная поверхность почв

5.1. Научно-методические основы определения показателей физических и водно-физических свойств почв

Изучение физических свойств почв является необходимой составной частью комплексной оценки и мониторинга и плодородия почв. В агрохимслужбе эти исследования ранее не проводились, что не позволяло проводить комплексную оценку плодородия почв и разработку мероприятий по его воспроизводству. Перечень показателей физических и водно-физических свойств почв при проведении комплексного мониторинга определен ОСТами 10 294-2002 — 10 297-2002.

Для отработки методических и организационных вопросов в первую очередь целесообразно организовать эти исследования в системе локального мониторинга плодородия почв на реперных участках.

Необходимость изучения физических и водно-физических свойств почв вызвана следующими соображениями:

- содержание агрегатов агрономически ценного размера (10-0,25 мм) при сухом просеивании почвы определяет условия протекания почвенно-физических процессов, степень крошения почвы при обработке, устойчивость ее к водной и ветровой эрозии, относительную устойчивость почвы к уплотняющему воздействию сельскохозяйственной техники;
- содержание глыбистой фракции при сухом просеивании является информативным показателем изменения физического состояния почв как при окультуривании, так и при их физической деградации;
- содержание водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм характеризует устойчивость создаваемого обработкой сложения почв во времени;
- равновесная плотность почв, являющаяся в значительной мере интегральным показателем физического состояния, определяет многие условия жизни растений, степень окультуренности или деградированности почв;
- показатель водопроницаемости почв определяет впитывание выпадающих осадков и поливной воды;
- полевая или наименьшая влагоемкость отражает водоудерживающую способность почв, определяет влагообеспеченность растений и длительность межполивного периода в орошаемых условиях;
- показатели максимальной гигроскопической влажности и влажность устойчивого завядания используют для определения содержания доступной влаги в почве;
- мощность пахотного слоя используют для определения в нем запасов влаги и питательных элементов, расчета доз удобрений и химических мелиорантов, оценки степени окультуренности почв.

5.2. Определение физических и водно-физических свойств почв

5.3.

Описание методов изучения основных агрофизических свойств почв приведено в книге А.Ф. Вадюниной, З.А. Корчагиной «Методы исследований физических свойств почв».

Отбор проб для определения структурного состояния (сухое и мокрое просеивание по методу Н.И. Саввинова), определение равновесной плотности, водопроницаемости, полевой или наименьшей влагоемкости проводятся на специальных площадках по основным почвенным выделам.

Пробы для определения структурного состояния почв в количестве 0,5-1,0 кг каждый отбирают из пахотного горизонта в слоях 0-10, 10-20 и 20-30 см, если мощность пахотного слоя достигает 30 см, — в 3-кратной повторности.

Равновесную плотность определяют в конце вегетационного периода (перед уборкой или после уборки урожая) в пахотном слое с поверхности, с 10 и 20 см — в пятикратной повторности, в подпахотном горизонте до 50 см — в 3-кратной повторности.

Водопроницаемость почв определяется с поверхности почвы методом заливаемых площадей (методом рам, прибором ПВН) в 3-кратной повторности. Напор воды в рамках или кольцах ПВН — 5 см. Водопроницаемость определяют в течение 6 ч с тем, чтобы установить не только скорость впитывания влаги (первые 2-3 ч), но и фильтрации (5-6-й часы).

Полевую (наименьшую) влагоемкость определяют через 2-3 дня после определения водопроницаемости в тех же рамках (кольцах ПВН), которые после завершения 6-часового опыта определения водопроницаемости заливают до верха водой, тщательно укрывают пленкой (сеном и т.п.) для предотвращения потери влаги из почвы на испарение. Пробы отбирают через 2-3 суток послойно через каждые 10 см на глубину промачивания. Одновременно определяется влажность по тем же глубинам вне рам (контроль).

Структурный анализ (сухое и мокрое просеивание по Н.И. Саввинову) проводят в лаборатории. На основе сухого просеивания рассчитывают содержание агрономически ценных агрегатов (10-0,25 мм), содержание глыбистой фракции (> 10 мм), а на основе мокрого просеивания — содержание водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм.

Отклонение показателей физических и водно-физических свойств от оптимального состояния приводит к ухудшению водно-воздушного и теплового режимов, биологической активности, пищевого режима и в целом к снижению почвенного плодородия. Соответственно резко снижаются эффективность применения средств химизации, урожайность и качество продукции растениеводства.

Поэтому задача земледельца — поддержать физические и водно-физические свойства почв в пределах оптимума и не допускать их выхода за пределы слабого снижения и превышения от оптимальных значений.

Результаты обследования почв по агрофизическим и водно-физическим показателям используют при комплексной оценке плодородия почв, разработке рекомендаций по применению средств химизации и проектов производства продукции растениеводства, механической обработке почвы, при планировании мелиоративных мероприятий и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое Закон горизонтальной изменчивости?
2. Закон вертикальной изменчивости.
3. Закон фациальности почв.
4. Закон аналогичных топографических рядов.
5. Агропроизводственная группировка почв.
6. Что такое классификация почв. Основные таксономические единицы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

- 1) **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. — 2-е изд., доп. И перераб. — М. : КолосС, 2008. — 439 с. : ил.
- 2) **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. — М.: КолосС, 2006. — 456 с.
- 3) **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. — М.: КолосС, 2003.— 528 с.

- 4) **Наумов В. Д.** География почв: учебное пособие / В. Д. Наумов. – М. : КолосС, 2008. – 288 с. : ил. – (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. Учеб.заведений).

Дополнительная

- 1) Агрохимическая, агроэкологическая характеристика почв и научно-обоснованная система удобрений. Государственная станция агрохимической службы «Саратовская». Саратов, 2008.
- 2) **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).

Болдырев В.А. Полевые исследования морфологических признаков почв/ В.А. Болдырев, В.В. Пискунов// Учеб.пособие.– 2–е изд., перераб. И доп.– Саратов: Изд–во Саратовского ун–та, 2006.–60 с

Лекция 6

ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ

6.1. Понятие о почвенной влаге

Вода в почве — один из важнейших факторов плодородия и урожайности растений. С содержанием воды в почве связаны скорость выветривания и почвообразования, гумусообразование, биологические, химические и физико-химические процессы. В воде растворяются питательные вещества, которые из почвенного раствора поступают в растения, вода является и терморегулятором почвы и растений.

Вода поступает в почву в виде атмосферных осадков, грунтовых вод, при конденсации водяных паров из атмосферы, при орошении. Главным источником воды в почве на богаре являются атмосферные осадки.

Содержание влаги в процентах к массе абсолютно сухой почвы называется **влажностью почвы**. Ее можно также выразить в процентах объема почвы (*в $\text{м}^3/\text{га}$, мм или $\text{т}/\text{га}$*).

В составе растений содержится 80—90 % воды. В процессе своей жизнедеятельности они тратят огромное ее количество. Для создания 1 г сухого вещества требуется от 200 до 1000 г воды.

В изучение закономерностей взаимосвязей между водой, почвой и растением большой вклад внесли А. А. Измаильский, Г. Н. Высоцкий, П. С. Коссович. Основы учения о водных свойствах почв и водных режимах изложены в трудах А. Ф. Лебедева, С. И. Долгова, А. Н. Роде, Н. А. Качинского и других ученых.

6.2. Категории (формы) почвенной воды

Вода в почвах неоднородна. Разные ее количества имеют неодинаковые физические свойства. Количество почвенной воды, обладающие одинаковыми свойствами, получили название категорий или форм почвенной воды.

По А. А. Роде 1965 выделяют следующие формы влаги:

Твердая вода — лед. Эта категория воды является потенциальным источником жидкой и парообразной воды. Эта форма воды может быть **сезонной и многолетней** («вечная» мерзлота).

Химически связанная вода входит в состав минералов в виде гидроксильной группы — так называемая конституционная вода $[\text{Fe}(\text{OH})_3, \text{Al}(\text{OH})_3]$ или целыми молекулами — кристаллизационная вода ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Она недоступна растениям.

Парообразная вода содержится в почвенном воздухе, в порах, свободных от воды, в форме водяного пара. Конденсируясь, пар переходит в жидкую воду. За счет водяного пара в зимнее время в метровом слое почвы засушливых районов аккумулируется до 10—14 мм влаги.

Физически связанная, или сорбированная, вода образуется путем сорбции парообразной и жидкой воды на поверхности твердых частиц почвы. Физически связанную воду в зависимости от прочности связи с твердой фазой почвы подразделяют на прочносвязанную (гигроскопическая) и рыхлосвязанную (пленочную).

Прочносвязанная вода удерживается на поверхности почвенных частиц, образуя вокруг почвенных частиц тончайшие пленки воды.

По физическим свойствам вода приближается к твердым телам. Она обладает высокой плотностью (1,5-1,8 г/см³), отличается повышенной вязкостью, замерзает при температуре от -4 до -78 °С, недоступна растениям.

Предельное количество воды, которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха, близкой к 100 %, называют **максимальной гигроскопической (МГ)** водой.

Пленочная вода удерживается почвенными частицами менее прочно. Частично доступна для растений.

Свободная вода — это вода, свободно передвигающаяся в почве. Различают две формы свободной воды в почве: капиллярную и гравитационную.

Капиллярная вода передвигается по капиллярам под влиянием капиллярных сил. Эта вода наиболее доступна растениям.

Различают **капиллярно-подвешенную** и **капиллярно-подпертую воду**. При увлажнении почвы сверху атмосферными осадками или оросительными водами формируется **капиллярно-подвешенная вода**. При увлажнении почвы снизу за счет грунтовых вод в почве образуется **капиллярно-подпертая вода**.

Гравитационная вода размещается в крупных некапиллярных порах, свободно просачивается вниз по профилю под действием силы тяжести.

6.3. Водные свойства почв

Основными водными свойствами почв являются водоудерживающая способность, водопроницаемость и водоподъемная способность.

Водоудерживающая способность - свойство почвы удерживать воду, за счет сорбционных и капиллярных сил. Наибольшее количество воды, которое способна удерживать почва теми или иными силами, называется **влагоемкостью**.

Влагоемкость подразделяется:

Полная (максимальная) влагоемкость (ПВ) — это количество влаги, удерживаемое почвой когда все поры заполнены водой. Оптимальной для растений считается относительная влажность почв в пределах 50- 60 % ПВ.

Наименьшая влагоемкость (НВ) — это максимальное количество капиллярно-подвешенной влаги, которое способна длительное время удерживать почва после обильного ее увлажнения и свободного стекания воды.

При НВ в почве 55-75 % пор заполнено водой, создаются оптимальные условия влаго- и воздухообеспеченности растений.

Величина НВ зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса и сложения почвы. Чем тяжелее почва по гранулометрическому составу, чем больше в ней гумуса, тем выше ее наименьшая влагоемкость.

По мере испарения и потребления воды растения теряют сплошное заполнение водой капилляров. Влажность, соответствующая разрыву капилляров, называется **влажностью разрыва капилляров (ВРК)**. Это нижний предел оптимальной влажности. Для суглинистых и глинистых почв ВРК составляет 65—70 % НВ.

Влажности почвы, при которой растения обычно начинают устойчиво завядать, называют **влажностью завядания (ВЗ)** или «мертвым», недоступным для растений запасом влаги в почве.

На основании данных ВЗ и общего содержания влаги в почве вычисляют запас влаги, которая доступна для растений и расходуется на формирование урожая - **продуктивная влага**

Оптимальные запасы продуктивной влаги (по А. М. Шульгину) в метровом слое почвы в период вегетации растений находятся в среднем в пределах от 100 до 200 мм.

Водопроницаемость почв — способность почв впитывать и пропускать через себя воду. Различают две стадии водопроницаемости: впитывание и фильтрацию. Водопроницаемость измеряется объемом воды (мм), протекающей через единицу площади почвы (см²) в единицу времени (ч) при напоре воды 5 см.

Водоподъемная способность — свойство почвы вызывать восходящее передвижение содержащейся в ней воды за счет капиллярных сил. Чем почвы тяжелее и менее структурны, тем больше водоподъемная способность.

6.4. Водный режим почв. Регулирование водного режима

Водный режим — это совокупность явлений поступления влаги в почву, ее удержание, расход и передвижение в почве. Количественно его выражают через водный баланс, характеризующий приход влаги в почву и расход из нее.

Общее уравнение водного баланса выражают следующим образом:

$$B_0 + B_{ос} + B_г + B_к + B_{пр} + B_б = E_{исп} + E_t + B_{и} + B_{п} + B_{с} + B_1$$

где B_0 — начальный запас влаги; $B_{ос}$ — сумма осадков за период наблюдения; $B_г$ — количество влаги, поступающей из грунтовых вод; $B_к$ — количество влаги, конденсирующейся из паров воды; $B_{пр}$ — количество влаги, поступающей в результате поверхностного притока; $B_б$ — количество влаги, поступающей от бокового притока почвенных и грунтовых вод; $E_{исп}$ — количество влаги, испарившейся с поверхности почвы (физическое испарение); E_t — количество влаги, расходуемое на транспирацию (десукция); $B_{и}$ — влага, инфильтрующаяся в почвенно-грунтовую толщу; $B_{с}$ — количество воды, теряющейся за счет поверхностного стока; $B_п$ — влага, теряющаяся при боковом внутрисочвенном стоке; B_1 — запас влаги в почве в конце периода наблюдения.

По соотношению годовых осадков и годовому испарению водного баланса формируются основные типы водного режима.

Отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости называют **коэффициентом увлажнения (КУ)**. В разных природных зонах КУ колеблется от 3 до 0,1.

Г. Н. Высоцкий установил 4 типа водного режима: промывной, периодически промывной,

непромывной и выпотной. Развивая учение Г. Н. Высоцкого, профессор А. А. Роде выделил **6 типов водного режима**, разделив их на несколько подтипов.

1. Промывной тип ($KY > 1$). Сумма годовых осадков больше испаряемости. Весь профиль почвы ежегодно подвергается сквозному промачиванию до грунтовых вод (подзолистые почвы).

2. Периодически промывной тип ($KY = 1$, от 1,2 до 0,8). Для него характерны чередование ограниченного промачивания почв и пород в сухие годы и сквозное промачивание во влажные (серые лесные почвы, черноземы оподзоленные и выщелоченные).

3. Непромывной тип ($KY < 1$). Осадков не достигают грунтовых вод (степные почвы — черноземов, каштановых, бурых). Коэффициент увлажнения снижается с 0,6 до 0,1.

4. Выпотной тип ($KY < 1$). Проявляется в степной, полупустынной и пустынной зонах при близком залегании грунтовых вод.

Преобладают восходящие потоки влаги по капиллярам от грунтовых вод. При высокой минерализации грунтовых вод в почву поступают легкорастворимые соли, происходит ее засоление.

Регулирование водного режима

В таежно-лесной почвенно-климатической зоне - различные агротехнические приемы, направленные на отвод избыточной влаги из верхних горизонтов почвы.

В зонах лесостепи и степи - накопление, сохранение и продуктивное использование влаги выпадающих (снегозадержание, уменьшение физического испарения воды из почвы).

В засушливых районах Заволжья, Западной Сибири эффективны кулисные пары, проведение весеннего боронования полей, после дождей - разрушение корки.

Применение минеральных и органических удобрений способствует более экономичному использованию влаги; водопотребление в расчете на 100 кг зерна снижается в среднем на 26 % (Листопадов, Шапошникова).

В овощеводстве для сохранения влаги широко применяют мульчирование почвы различными материалами.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Что такое влажность почвы? Единицы измерения.
- 2) Формы почвенной влаги.
- 3) Виды химически связанной воды.
- 4) Как подразделяется физически связанная вода?
- 5) Водные свойства почв.
- 6) Понятие о водном режиме почв.
- 7) Регулирование водного режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

5. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
6. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
7. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.
8. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

3. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
4. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

Лекция 7

ОСНОВНАЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (ОГХ)

Взаимосвязь между твердой и жидкой фазами выражается в проявлении большого разнообразия процессов и формировании целого ряда свойств почв. Жидкая фаза почв осуществляет несколько процессов в почве:

- процессы растворения,
- процессы гидролиза,
- процессы синтеза веществ в водных растворах,
- процессы осаждения веществ из водных растворов,
- процессы перемещения (транспортировки, миграции) веществ внутри почвенного профиля.

Жидкая фаза, совместно с твердой фазой, формирует такие свойства почв, как водно-воздушный режим, окислительно-восстановительные процессы, процессы обмена катионами и анионами и т. д. Чтобы понять все эти особенности, необходимо рассмотреть основные характеристики жидкой фазы.

Различные формы воды в почвах неодинаково взаимодействуют с минеральной частью твердой фазы почв. Это отражено в названиях форм воды (гигроскопическая, свободная и т. д.). От характера взаимосвязей воды с минеральной частью, а главное - от прочности этих связей, зависит доступность ее растениям. Это же определяет степень активности воды в проявлении различных процессов (растворение, гидролиз, гидратация и т. п.). При этом следует иметь в виду, что свойства самой воды имеют не менее важное значение во всех отмеченных процессах. Поэтому, наряду с другими показателями, надо учитывать энергетическое состояние воды.

7.1. Энергетическое состояние воды в почве

Молекулы и ионы воды в почве подвергаются воздействию сил различной природы, что оказывает влияние на ее состояние. Энергетическое состояние воды в почве зависит от многих факторов, но главным образом от состава и свойств минеральной части и почвенного раствора. Это проявляется в основном на линии раздела «вода - твердая частица». Энергетическое состояние воды в почве зависит также от температуры и атмосферного давления. Потенциальная энергия воды в почве выражается величиной давления столба жидкости определенной высоты.

Терминологическим комитетом Комиссии по физике почв Международного общества почвоведов (МОП) рекомендованы следующие определения *потенциала воды*:

- полный потенциал почвенной воды,
- потенциал давления (тензиометрический потенциал),
- капиллярно-сорбционный потенциал почвенной воды,
- пневматический потенциал,
- потенциал давления окружающей поверхности (потенциал нагрузки),
- потенциал влажности,
- осмотический потенциал,
- гравитационный потенциал.

Сумма всех потенциалов равна *полному потенциалу* воды в почве.

7.2. Капиллярность

При смачивании почвы водой возникают капиллярные явления. Они проявляются в

условиях, когда расстояние между почвенными частицами соизмеримо с радиусом кривизны поверхности жидкости (радиус мениска жидкости).

Капиллярность является основной причиной *всасывания* воды почвой. Вызвано это тем, что мениск жидкости имеет отрицательную (вогнутую) кривизну, при которой лапласовское давление стремится растянуть жидкость (выровнять поверхность мениска), и в результате она (жидкость) поднимается в капилляре. Подъем жидкости продолжается до тех пор, пока лапласовское давление не уравнивается гидростатическим давлением столба воды (h).

7.3. Смачивание и растекание

При взаимодействии (соприкосновении) твердых и жидких тел могут происходить явления смачивания и не смачивания твердого тела. Проявление смачивания или не смачивания зависит от двух факторов:

- сил молекулярного притяжения молекул жидкости и
- сил взаимного притяжения молекул твердого и жидкого тел.

Если силы притяжения молекул жидкого тела сильнее сил взаимодействия (притяжения) молекул жидкого тела к молекулам твердого, то явления смачивания происходят не будут. Если силы притяжения между молекулами жидкости слабее сил притяжения молекул жидкости к молекулам твердого тела, то явления смачивания будут проявляться.

Смачивание происходит при наличии третьей, газовой (воздушной) фазы. Степень смачивания зависит от соотношения работ адгезии и когезии, которое проявляется в величине угла наклона поверхности жидкости к поверхности твердого тела.

На рис. 1 показана капля воды на поверхности твердого тела. Угол между касательной АВ к поверхности жидкости и смоченной поверхностью АС называется краевым углом. Величина степени смачивания является безразмерной и выражается косинусом краевого угла.

Поверхностная энергия твердого тела постоянно стремится уменьшиться, благодаря чему растягивает каплю по поверхности. Эта энергия равна поверхностному натяжению твердого тела на границе с воздухом. Межфазная энергия, возникшая на контакте твердого тела с жидкостью стремится, наоборот, сжать каплю. Площадь соприкосновения твердого и жидкого тел при этом уменьшается, т. е. растекания жидкости не происходит. Растеканию препятствуют также силы когезии. Эти силы направлены по касательной к сферической поверхности капли. Чем меньше (острее) угол смачивания (тем, соответственно, и больше $\cos \alpha$), тем сильнее смачивание. При остром угле α (при $\cos \alpha > 0$) поверхность считают хорошо смачиваемой данной жидкостью. Если же образуется тупой угол, то есть $\cos \alpha < 0$, значит данная жидкость плохо смачивает поверхность. Полного смачивания поверхностей твердых тел, то есть когда краевой угол равен 180° , практически никогда не наблюдается.

Как видим, границей, отражающей смачиваемость и не смачиваемость поверхности твердого тела, является величина краевого угла смачиваемости (α). Этой границей является угол, равный 90° или $\cos \alpha$, равный нулю (0°). При этом разные тела смачиваются одной и той же жидкостью по-разному. Так, например, кварц плохо смачивается водой ($\cos \alpha$ равен нулю), графит хорошо смачивается ($\cos \alpha = 55^\circ$) для парафина $\cos \alpha = 106^\circ$.

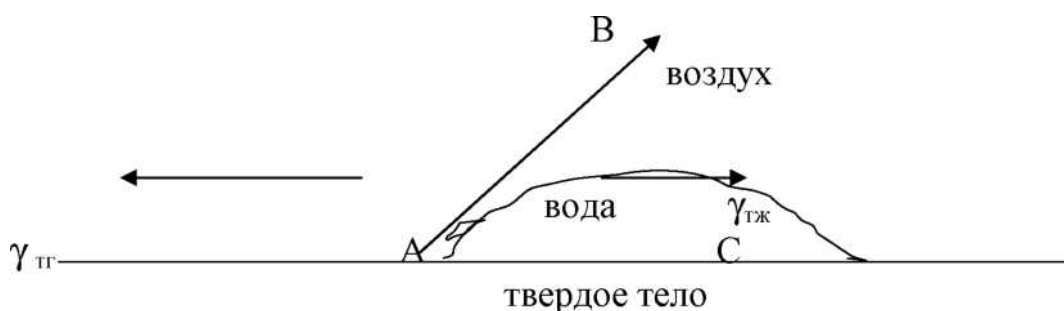


Рис. 1. Краевой угол

Условные обозначения к рис.1. Границы раздела сред: $\gamma_{тг}$ - твердой и газовой, $\gamma_{жг}$ - жидкой и газовой, $\gamma_{тж}$ - твердой и жидкой.

Отмеченные характеристики смачивания твердых тел свойственны для идеально гладких поверхностей. Поверхности почвенных частиц всегда отличаются наличием шероховатостей, что влияет на проявление и интенсивность смачивания. Шероховатости приводят к отклонению краевых углов от равновесного значения, характерного для гладких поверхностей. В связи с этим различают:

- краевые углы натекания (когда площадь смоченной поверхности увеличивается)
- краевые углы оттекания (когда площадь смоченной поверхности уменьшается).

Это непостоянство значений неравновесия краевых углов смачивания называется *гистерезисом смачивания*. В том случае, когда работа адгезии превышает работу когезии, происходит растекание жидкости по твердой поверхности раздела. Разницу между работой адгезии (A_a) и работой когезии (A_k) называют *коэффициентом растекания* f (по Гаркинсу): $f = A_a - A_k$.

Положительные значения коэффициента растекания означают, что данная жидкость растекается по поверхности твердого тела. Отрицательное значение коэффициента растекания указывает на то, что данная жидкость не растекается по поверхности твердого тела.

При взаимодействии жидкой воды с твердой поверхностью на линии раздела выделяется теплота. Эту теплоту принято называть *теплотой смачивания*.

Различают дифференциальную и интегральную теплоту смачивания. И та и другая формы теплоты зависят от количества воды, смачивающей твердую поверхность почвы.

Дифференциальная теплота смачивания возникает при добавлении бесконечно малого количества воды на твердую, уже смоченную поверхность.

Интегральная теплота смачивания - это теплота, выделяющаяся при взаимодействии воды с единицы площади твердой поверхности. Чем больше площадь взаимодействия воды с поверхностью, тем больше теплота смачивания. Измеряется в Дж * м⁻².

7.4. Водные свойства почвы

Термин "водные свойства" означает совокупность свойств почвы, отражающих состояние воды в ней. К водным свойствам почв относятся:

- водоудерживающая способность,
- влагоемкость,
- водопроницаемость,
- водоподъемная способность.

Водные свойства почв в совокупности формируют и отражают водный режим почв. Рассмотрим основные водные свойства и их особенности.

Водоудерживающая способность почв, или способность удерживать поглощенную воду в своем профиле. Водоудерживающая способность почв противодействует стеканию воды вниз по профилю и за пределы почвенного профиля. Основными силами, удерживающими воду в почве, являются сорбционные и капиллярные. Водоудерживающая способность почв может быть выражена количественно - ее величина соответствует величине влагоемкости.

Влагоемкость почвы - максимальное количество воды, которое способна почва поглотить и удерживать в себе.

Различные формы воды, поглощенной и удерживаемой почвой, характеризуют разными константами. Все константы разделяют на две группы:

- энергетические и
- гидрологические.

Энергетические константы включают следующие:

- максимальную адсорбционную влагоемкость (МАВ),
 - максимальную молекулярную влагоемкость (ММВ), максимальную капиллярно-сорбционную влагоемкость (МКСВ),
- капиллярную влагоемкость (КВ).

Гидрологические константы включают следующие:

- наименьшая влагоемкость (НВ) и
- полная влагоемкость (ПВ).

Под водопроницаемостью понимается способность не насыщенных водой почв воспринимать воду с поверхности, проводить ее от слоя к слою и фильтровать ее сквозь определенную толщу горизонтов, насыщенных водой. Водопроницаемость - это не только водные свойства почв, но и форма передвижения воды в почвах. Водопроницаемость как процесс перемещения воды в почве складывается из нескольких этапов движения воды:

- *первая стадия* выражается во впитывании воды поверхностью почвы и, в соответствии с этим характером поведения потока, получила название *впитывание*;
- *вторая стадия* движения воды с поверхности получила название *фильтрация*.

Скорость впитывания на начальной стадии, когда почва еще сухая, оказывается очень большой. Затем, по мере насыщения почвы водой, скорость впитывания падает, и с увеличением мощности смоченного слоя процесс *впитывания* сменяется процессом *фильтрации*. Водопроницаемость измеряется величиной объема воды, фильтрующейся через единицу площади поперечного сечения почвы в единицу времени. По предложению Н.А. Качинского, стандартной величиной водопроницаемости почв следует считать объем воды, измеряемый в мм, прошедший через почву за первый час фильтрации при напоре 5 см и температуре 10° С (табл. 8).

Таблица 8

Оценка водопроницаемости почв (по Н.А. Качинскому)

Оценка (градация) водопроницаемости почв	Объем воды (в мм) в первый час впитывания почвой при напоре 5 см и t воды 10^0 С
Провальная	Более 1000
Излишне высокая	1000 - 500
Наилучшая	500 - 100
Хорошая	100 - 70
Удовлетворительная	70 - 30
Неудовлетворительная	Менее 30

Скорость впитывания становится равной коэффициенту фильтрации. И то и другое в насыщенной водой почве приобретает постоянную величину, равную величине насыщенной гидравлической проводимости. От водопроницаемости почв зависит степень восприятия почвой атмосферных осадков или поливных вод, формирование поверхностного или внутрипочвенного стока, интенсивность процессов эрозии, формирование почвенных горизонтов.

Водоподъемная способность почвы выражается в их способности обеспечить восходящий подъем воды под действием капиллярных сил. Высота и скорость подъема воды зависят от гранулометрического состава почв, их структуры и величины порозности.

Таблица 9

Подъем воды по профилю почвы в зависимости от гранулометрического состава

Гранулометрический состав	Высота подъема воды, м
Песок крупный	до 0,5
Песок средний	0,5 - 0,8
Супесь	1,0 - 1,5
Супесь пылеватая	1,5 - 2,0
Суглинок средний	2,5 - 3,0
Суглинок тяжелый	3,0 - 3,5
Глина тяжелая	4,0 - 6,0
Лессы	4,0 - 5,0

Подъем воды по капиллярам наиболее интенсивен при диаметре пор 0,1 - 0,003 мм. Высота подъема воды по капиллярам колеблется от 0,5 - 0,8 м в песчаных почвах и до 3 - 6 м, в суглинистых и глинистых. По данным Ковды В. А., для почв различного гранулометрического состава высота подъема воды следующая (табл. 9).

Сосущая сила почвы - свойство, отражающее способность сухой почвы впитывать (всасывать) воду с величиной силы, равной давлению воды. Выражается величиной давления водяного столба, равной 0,102 мм. В настоящее время это выражают десятичным логарифмом этого числа (pF). Для сухой почвы величина $pF = 7,0$. Для почвы, насыщенной гигроскопической влагой, величина $pF = 4,6 - 7,0$, для почвы, содержащей капиллярную воду, она равна 3,0.

7.5. Водный режим почв

Как было сказано выше, водный режим почв складывается из характера проявления водных свойств почв, главным образом, он зависит от сочетания и соотношения различных водных свойств (водопроницаемость, влагоемкость, водоподъемная способность и т. д.).

Характер количественных и качественных соотношений различных водных свойств почв, а также проявление их во времени формируют определенные типы водного режима почв.

Выделяют четыре типа водного режима почв:

- мерзлотный,
- промывной,
- выпотной,
- застойный.

Мерзлотный тип водного режима почв характерен для почв, формирующихся в условиях многолетней мерзлоты, где почвенный профиль оттаивает на небольшую глубину и на короткое время летом.

В профиле мерзлотных почв преобладает в летнее время непромывной режим, частично застойный, и частично испарительный.

Промывной тип водного режима почв проявляется в почвах, формирующихся в условиях, где количество выпадающих осадков преобладает над количеством испаряющихся. В разных частях суши эти соотношения неодинаковы, при этом они не остаются постоянными во времени. Поэтому промывной водный режим еще разделяют на

- постоянно промывной и
- периодически промывной.

Выпотной водный режим почв (синоним - испарительный) характерен для почв, формирующихся в условиях аридного климата. Однако кратковременно он может проявляться и в условиях гумидного климата, где отмечаются периоды сухости. В этом случае для почв характерен периодически промывной водный режим.

Застойный водный режим почв проявляется в почвах, формирующихся в любом климате, на аккумулятивных поверхностях, где отсутствует сток воды. Это, как правило, замкнутые западины, впадины и т. п.

Разделение характера водного режима почв на описанные типы не означает, что каждый из них постоянен в одной и той же почве. Каждый из указанных типов водного режима является лишь преобладающим в почвах конкретных экологических условий. Господствующий (преобладающий) тип водного режима во времени сочетается (сменяется) другим каким-либо типом водного режима. Поэтому в каждой конкретной почве в течение летнего времени могут проявляться различные типы водного режима. Например, промывной режим может временно замещаться испарительным (выпотным), испарительный временно может замещаться промывным (и даже застойным) и т. д. Тип водного режима почв определяет характер и направленность процесса почвообразования, что проявляется в формировании типа почв как таксономического уровня.

Вопросы для самоконтроля

1. Энергетическое состояние воды в почве.
2. Перчислите основные механизмы передвижения влаги в почве
3. Что общего и в чем различия в процессе передвижения влаги в почвах, насыщенных и не-насыщенных влагой.
4. Особенности переноса влаги в форме пара
5. Дайте понятия «когезия» и «адгезия»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

9. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
10. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
11. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.
12. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

5. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
6. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В ПОЧВЕ

8.1. Механизмы передвижения влаги в почве

Как отмечено выше, в почвах вода находится в разных формах. Каждая форма имеет свою степень связей с твердой фазой. От этого зависит и степень подвижности воды в почве.

Прочносвязанная вода, например, не способна передвигаться внутри почвенного профиля, тогда как свободная вода передвигается в различных направлениях. Скорости передвижения разных форм воды, как и способы их перемещения, - разные. Это обусловлено характером связи воды с минеральными частицами, что зависит от состава и размера почвенных частиц (илистых и коллоидных).

Движение воды в почве бывает конвективное, ламинарное, турбулентное. *Конвективное* (син. *гравитационно-струйчатое*) - встречное движение системы струй почвенно-грунтовых вод различной концентрации, вызванное разницей в плотностях растворов. Наиболее характерен пример опускания более тяжёлых, засоленных вод вниз и замещение их более лёгкими, поднимающимися пресными водами. *Ламинарное* движение воды - это параллельно-струйчатое движение поверхностных и подземных вод (в том числе почвенных и грунтовых), при котором вода движется в виде параллельных, не перемешивающихся струй или слоёв, без разрывов, с плавным изменением скорости. *Турбулентное* (син. *вихревое*) движение воды - это поступательное движение надземных и подземных (в том числе почвенных и грунтовых) вод, сопровождаемое беспорядочным вихревым движением отдельных струй воды. Наблюдается в крупных трещинах и пустотах.

Передвижение влаги в почве подчиняется основному закону переноса массы и энергии. Согласно этому закону, плотность потока q (то есть объём субстанции V , переносимой через единицу площади поперечного сечения A в единицу времени t) пропорциональна градиенту движущихся сил:

$$V / At = q = -K * \text{grad } \Phi,$$

где: K - коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств проводящей среды и от проводимой субстанции.

Возникновение водного потока зависит во многом от насыщенности почвы водой в данный момент времени. Это могут быть периоды полного насыщения почвы водой, период не насыщенности почвы водой, период промерзания почвы и т. п. При этих - разных - состояниях обеспеченности почвы водой неодинаково проявляются в ней и водные потоки, т. е. характер передвижения воды в почвах будет разным.

8.2. Передвижение влаги в почвах, насыщенных влагой

В почвах, насыщенных водой, поток влаги выражен в виде потока свободной воды. Поток направлен из верхних горизонтов в нижние. Осуществляется поток воды силами гравитации (силы тяжести).

Падение напора потока воды на участке в одну единицу расстояния называют *гидравлическим градиентом*. Сила потока прямо пропорциональна гидравлическому градиенту.

В насыщенных почвах все поры заполнены водой, поэтому проводимость в них максимальна. По мере уменьшения влажности часть пор освобождается от воды и заполняется воздухом. Доля проводящих пор (в площади поперечного сечения почвы) сокращается.

8.3. Передвижение влаги в почвах, не насыщенных влагой

В почвах, не насыщенных влагой, вода передвигается в виде капиллярного потока и подчиняется основному закону переноса масс.

Вода стремится перемещаться из мест, с большой толщиной пленок на поверхности частиц почвы, в места, где толщина пленок меньше, а кривизна мениска - больше. Другими словами, вода перемещается в почве из мест, где капиллярно-сорбционный потенциал выше, в места, где он ниже. Вместе с этим, в ненасыщенных почвах присутствует дополнительный механизм переноса воды в виде пара. В поверхностном слое, где почва иссушена и подвержена сильным температурным градиентам, перенос пара становится преобладающим механизмом перемещения воды.

Движущая сила достигает максимальных величин в зоне фронта смачивания, то есть на контакте с сухой почвой. Здесь градиент потенциала достигает величин порядка нескольких сотен и даже тысяч $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} / \text{см}$. Однако скорость движения воды в этой зоне не-большая.

В ненасыщенных почвах, имеющих крупные поры, вода быстро уходит и первоначально высокая проводимость быстро снижается. В ненасыщенных почвах с мелкими порами большинство из них (пор) остаются заполненными и они проводят воду даже при достаточно низких потенциалах. Движение воды в не насыщенной почве сопровождается изменением влажности. Вода может или накапливаться в каком-то объеме почвы (даже бесконечно малом), или расходоваться. Поэтому плотность потока воды, входящей в этот объем почвы, не равна плотности потока воды, выходящего из этого объема почвы. Разность между этими плотностями потоков и образует запас воды в объеме почвы.

8.4. Перенос воды в форме пара

Перенос воды в форме пара осуществляется по пустотам, вокруг корней растений. Корни оттягивают влагу из окружающего почвенного пространства. Пары воды движутся в почве путем диффузии. Существенное влияние на давление паров воды в почве оказывают растворенные в воде вещества. Пары воды перемещаются от теплых частей почвы к холодным. Днем движение паров направлено вниз, а ночью - вверх.

В почвах, где влага прочно связана силами адсорбции, происходит пародиффузионный перенос воды.

В почвах, где возникло промерзание мелкозема, возникает два потока влаги. Выше мерзлотного горизонта (слоя) проявляется процесс сублимации (испарения), а ниже мерзлотного слоя идет процесс подтягивания влаги из капиллярной каймы грунтовых вод. На контакте с мерзлым слоем происходит конденсация и кристаллизация подтянутой снизу воды, т. е. переход ее в твердое состояние - в лед.

8.5. Когезия и адгезия

В гетерогенных системах, какой является почва, различают две формы взаимодействий твердой и жидкой фаз, как форм передвижения влаги в почвах:

- межмолекулярные взаимодействия, возникающие внутри однородных тел (почвенный агрегат), и
- взаимодействия между различными телами (между агрегатами, минералами и т. п.).

Межмолекулярные взаимодействия выражаются притяжением атомов и молекул внутри однородного тела. Природа этих взаимодействий может быть различной, но во всех случаях она направлена на «слипание» (упрочение) частицы, на сохранение ее состояния. Этот процесс называют *когезией*. Сила, возникающая при проявлении когезии, равна силе, способной осуществить разрыв внутренних связей. Расчет этой величины ведется по еди-

нице площади разрыва. Работа когезии определяется затратой энергии на обратимый разрыв тела по сечению, равному единице площади.

Явление когезии в целом оценивают такими параметрами, как:

- энергия кристаллической решетки,
- внутреннее давление тела,
- энергия парообразования,
- температура кипения,
- относительное давление пара и др.

При контакте двух конденсированных тел (например, жидкой воды и твердой минеральной частицы) происходит взаимодействие между этими телами, формулируемое как межфазное взаимодействие. Этот процесс получил название *адгезия* (прилипание, слипание разных тел). При проявлении процессов адгезии система стремится уменьшить свою поверхностную энергию. Сила, возникающая при проявлении адгезии (A_a), равна силе, необходимой для отделения слоя жидкости от твердой частицы по линии поверхности раздела. Расчет ведется на единицу площади разрыва. Эта сила измеряется в тех же единицах, что и поверхностное натяжение и выражается в Дж / м . Величину работы адгезии определяют по уравнению Дюпре:

$$A_a = \gamma_{жг} + \gamma_{тг} + \gamma_{тж}$$

где: ж-жидкая фаза (вода); т - твердое тело, имеющее поверхности раздела на границе с воздухом г, на которых проявляется поверхностное натяжение $\gamma_{жг}$ и $\gamma_{тг}$ соответственно. При контакте двух фаз появится межфазное натяжение, равное $\gamma_{тж}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Энергетическое состояние воды в почве.
2. Перчислите основные механизмы передвижения влаги в почве
3. Что общего и в чем различия в процессе передвижения влаги в почвах, насыщенных и ненасыщенных влагой.
4. Особенности переноса влаги в форме пара
5. Дайте понятия «когезия» и «адгезия»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
2. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
3. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
4. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

1. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
2. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/

Сост.: В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

ДВИЖЕНИЕ ВЛАГИ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ-АТМОСФЕРА»

9.1. Состав и свойства жидкой фазы почв

Жидкая фаза почвы - это почвенные растворы, представляющие собою различной степени минерализации воду, а также растворенные в ней органические и минеральные кислоты. В почвах вода (жидкая фаза) никогда не встречается в чистом виде, в виде H_2O . Жидкая фаза всегда представлена растворами, основой которых является шестикомпонентная система, состоящая из трех анионов (Cl , SO_3 , HCO_2) и трех катионов (Ca , Mg , Na). В этой системе могут быть в растворенном состоянии различные химические элементы и химические соединения в виде солей, кислот и более сложных комплексных соединений. В зависимости от характера растворенных в жидкой фазе веществ, она может иметь кислую, нейтральную или щелочную реакцию, что оказывает влияние на многие химические, биологические, геохимические и другие процессы, протекающие в почвах. Кроме этого, жидкая фаза может быть насыщенной кислородом и может не содержать его вообще. Это также оказывает влияние на многие процессы, особенно на направление окислительных или восстановительных процессов. Поэтому, когда мы говорим о воде в почвах, нужно всегда помнить, что это различные растворы, имеющие свои характеристики. Взаимодействие жидкой и твердой фаз зависят и обуславливаются не только их составом, но и количеством, и особенно формой воды в почвах.

9.2. Функции жидкой фазы почв

Вода попадает в почву различными путями: в виде атмосферных осадков и из потоков грунтовых вод, путем конденсации водяных паров. Часть поступающей в почву воды просачивается вглубь, часть стекает по склонам, часть испаряется. Значительная часть водных растворов поглощается минеральными частицами и задерживается почвой. Эта поглощенная часть и представляет собой почвенный раствор. Количество поглощенной воды (растворов) зависит от гранулометрического состава. Наибольшее количество воды поглощают почвы, богатые илистыми и коллоидными частицами. Вода, как почвенный раствор, обладает своим составом и своими свойствами.

В небольших количествах в почвенном растворе присутствуют и другие химические элементы минеральной природы, а также различные кислоты.

Почвенный раствор выполняет в почвах четыре важные функции:

- является растворителем веществ,
- является транспортером растворенных веществ, а также твердых илистых и коллоидных частиц,
- осуществляет обмен катионами и анионами с твердой фазой почв (ее илистой и коллоидной частью),
- является источником питания растений растворенными химическими элементами.

Почвенная влага выступает также в качестве терморегулятора и сильно действующего фактора в проявлении различных процессов почвообразования (оглеение, оподзоливание, лессивирование и т.п.).

Наконец, вода в почве формирует водный режим почв, который оказывает решающее значение в проявлении и степени развития, и направленности процесса почвообразования.

Влажность почвы влияет на их агрофизические свойства: на плотность, липкость, способность к крошению и образованию агрегатов. Вода определяет и уровень эффективного плодородия. Почвенный раствор содержит питательные вещества и различные соединения, либо благоприятные, либо токсичные для растений. Все это в совокупности оказывает воздействие на продуктивность сельскохозяйственных культур.

9.3. Формы воды в почве и их доступность растениям

Почвенная влага, в зависимости от характера связей между молекулами воды, а также твердой и газовой фазами почвы, обладает разной степенью подвижности и свойствами. Поэтому почвенную воду разделяют на несколько категорий, или форм, по физическому состоянию и характеру связей с твердой фазой.

По физическому состоянию различают три формы почвенной воды:

- твердую,
- жидкую,
- парообразную.

По характеру связей с твердой фазой и степени подвижности выделяют шесть форм воды:

- химически связанную,
- твердую,
- парообразную,
- прочносвязанную,
- рыхлосвязанную,
- свободную.

Химически связанная вода входит в состав химических соединений. Это или конституционная (гидратная часть), или кристаллизационная (кристаллогидратная). Эта форма воды отличается своей неподвижностью и неспособностью растворять.

Конституционная форма представляет собою гидроксильную группу (OH^-), в составе гидроксидов железа, алюминия, титана, марганца, коллоиднодисперсных глинистых минералов, органических и органоминеральных соединений.

Кристаллизационная же форма представлена целыми молекулами в составе кристаллов (гипс - $\text{CaB}_0{4.2} \text{H}_2\text{O}$, мирбилит - $\text{Na}_2 \text{S}_0{4}$).

Химически связанная вода растениям недоступна. При ее потере (дегидратация, синезис) происходит необратимая трансформация минеральных, органических и органоминеральных соединений.

Твердая вода представлена в почве в форме льда. В этой форме вода образует довольно жестко структурированную решетку с тетраэдрической конфигурацией. В зависимости от температуры замерзания и давления, известны девять структур и форм льда. При обычном атмосферном давлении образуется наиболее устойчивая форма, которую и называют лёд. Лед, при таянии переходит в форму жидкой, а при испарении - парообразной воды. Твердая вода неподвижна, растениям недоступна. Поэтому большое значение имеет процесс, идущий в зимний период, процесс накопления в почве влаги за счет восходящего переноса ее из нижних горизонтов в верхние. В процессе промерзания почво-грунтов, ниже мерзлого слоя возникает зона разрежения (вакуум), способствующая конденсации паров почвенной влаги и термодиффузному переносу влаги из зоны грунтовых вод.

Парообразная вода находится в почве в виде водяного пара, насыщая почвенный воздух нередко до 100%. Парообразная вода передвигается от мест с большей упругостью в места с меньшей упругостью водяных паров, а также с током воздуха. Парообразная вода в снабжении растений водой практически значения не имеет. Перенос воды в форме пара может осуществляться по пустотам вокруг корней, которые оттягивают влагу из окружающего почвенного пространства. При понижении температуры парообразная вода, конденсировавшись, может переходить в жидкую форму.

Прочносвязанная вода - это вода, сорбированная почвенными частицами. Такая вода называемая *гигроскопической*, а явление - *гигроскопичностью*, т. е. способностью почвенных частиц поглощать (сорбировать) водяные пары из воздуха. Гигроскопическая вода (ГВ) покрывает почвенные частицы тонкой пленкой слоем в 1-3 молекулы. Эти молекулы

дипольны и находятся в строго ориентированном положении. Гигроскопическая вода отличается особыми свойствами. Она замерзает при температуре $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, не способна осуществлять растворение веществ, отличается повышенной плотностью (1,5-1,8 г/см³) и вязкостью, а главное - недоступна растениям. Количество сорбированной почвой гигроскопической воды зависит от количества и качества почвенных коллоидов.

Максимальное количество воды, сорбированное почвой, называется **максимальной гигроскопичностью (МГ)**. Она возникает и образуется в условиях, когда почвенный воздух насыщен водяными парами до 96-98%. Величина МГ позволяет определить обеспеченность растений водой. Обычно полуторная или двойная величина МГ соответствует величине влажности устойчивого завядания растений (ВЗ), что соответствует понятию "мертвый запас" воды в почве. При таком запасе воды в почве растения начинают завядать. Максимальная гигроскопичность (МГ), как и просто гигроскопичность, зависит от количества и качества почвенных коллоидов. Так, в слабо гумусированных песчаных и супесчаных почвах, величина МГ составляет всего 0,5-1%. В хорошо гумусированных суглинистых и глинистых почвах она достигает 10-16%.

Кроме максимальной гигроскопичности (МГ), в почвах различают еще и максимальную адсорбционную влагоемкость (МAB). Это максимальное количество прочносвязанной воды, удерживаемой на поверхности почвенных частиц сорбционными силами.

Рыхлосвязанная вода, в отличие от прочносвязанной, является второй формой сорбированной воды. Прочносвязанная вода состоит из 1-3 молекул на поверхности почвенной частицы, а рыхлосвязанная состоит из нескольких десятков слоев ориентированных молекул воды, т. е. из толщи в 10-20 молекул. Это уже представляет собою водяную пленку на поверхности почвенных частиц. Поэтому синонимом понятия «рыхлосвязанная вода» является понятие «пленочная вода». Рыхлосвязанная или пленочная вода образуется за счет сорбции молекул воды, дополнительно к максимальной гигроскопичности.

Пленочная, или рыхлосвязанная, вода слабо подвижна. Передвигается она медленно, в направлении от почвенной частицы с малым диаметром (следовательно, с более толстой пленкой воды) к частице с большим диаметром (а, следовательно, с более тонкой пленкой воды).

Растениям рыхлосвязанная вода малодоступна.

Максимальное количество рыхлосвязанной (пленочной) воды называется максимальной молекулярной влагоемкостью (ММВ). Величина ММВ почвы (аналогично величине МГ) зависит в основном от гранулометрического состава, т. е. от количества илистых и коллоидных частиц. Чем их больше, тем выше величина ММВ. В почвах легкого гранулометрического состава (песок, супесь) ММВ составляет около 10%, в глинистых - до 30%.

Свободная вода, в отличие от гигроскопической, не связана с почвенными частицами силами сорбции. Эта форма воды передвигается в почвах под действием капиллярных и гравитационных сил. Поэтому и разделяется она, соответственно, на две формы:

- капиллярная
- гравитационная

Капиллярная вода находится в капиллярах почвы в капельножидком состоянии. Это наиболее благоприятная, доступная для растений форма почвенной влаги. Капиллярная вода, в отличие от гигроскопической, способна растворять вещества.

Различают:

- а) капиллярно-подвешенную и
- б) капиллярно-подпертую воду.

Капиллярно-подвешенная вода образуется при поступлении воды в почву с поверхности (дождевая вода, талые воды и оросительные). Ниже слоя почвы, увлажненной капиллярно-подвешенной водой, сохраняется слой сухой почвы.

Капиллярно-подпертая образуется, наоборот, при поступлении воды снизу, от грунтовых вод. Выше слоя почвы, увлажненной капиллярно-подпертой водой, также сохраняется

слой сухой почвы. Слой почвы, лежащий выше зеркала грунтовых вод, насыщенный капиллярно-подпертой водой, называется **зоной капиллярной каймы или просто капиллярной каймой**.

В одном и том же почвенном профиле, возможно, образование одновременно и капиллярно-подвешенной, и капиллярно-подпертой воды, но разделенных сухим слоем. В случае, если эти две формы воды смыкаются, то под действием капиллярных (менисковых) сил грунтовая вода поднимается по капиллярам к поверхности почвы. Это сопровождается испарением. Если грунтовые воды сильно минерализованы, то начинает проявляться процесс засоления почв.

Подъем грунтовой воды по капиллярам, вверх почвенного профиля, будет тем выше, чем тоньше капилляры. Менисковые силы, вызывающие подъем воды, начинают проявляться при диаметре пор < 8 мм. Но скорость подъема при этом будет небольшой.

Максимальное количество капиллярно-подвешенной воды называется **наименьшей влагоемкостью** (НВ). Синонимом этому понятию является понятие "**полевая влагоемкость**" (ПВ).

Максимальное количество капиллярно-подпертой воды называется **капиллярной влагоемкостью** (КВ).

Гравитационная вода - это форма воды, занимающая все крупные некапиллярные поры и полости. Передвигается гравитационная вода под действием силы тяжести (гравитации). Эта форма воды способна растворять вещества и является транспортером в почвенном профиле. Гравитационная вода доступна растениям. Заполняя полностью все полости внутри почвы, она создает анаэробные условия, чем вызывает угнетение и гибель растений. В этих условиях могут начинаться процессы оглеения. Длительное оглеение приводит к заболачиванию почв.

Выделяют две формы гравитационной воды:

- а) просачивающуюся гравитационную воду, которая передвигается сверху вниз по профилю почвы, и
- б) стекающую - воду водоносных горизонтов (почвенные и почвенногрунтовые воды), передвигающуюся по направлению уклона водоупорного слоя.

Максимальное количество гравитационной воды, которое может вместить почва при заполнении всех пустот, кроме пор с заземленным воздухом (5-8% общей порозности), называется **полной влагоемкостью** (ПВ).

При полном заполнении почвы водой, то есть при значении влажности почвы, соответствующем ПВ, в почве содержится максимальное количество воды, включающее гигроскопическую и гравитационную формы почвенной воды.

Величина ПВ практически равна порозности (скважности) почвы и колеблется от 20-40 до 50-60%, достигая иногда 80%.

Наличие воды в почвах имеет главное назначение - обеспечение ею роста и развития растений.

Для оценки степени доступности воды растениям (и активности её участия в различных процессах), все формы воды разделяют на две группы:

- продуктивная влага и
- непродуктивная влага.

Это отражено в табл. 6, показывающей взаимосвязь различных форм почвенной воды, их доступность растениям и способы передвижения в почве.

При таком разделении форм воды на **продуктивную и непродуктивную** влагу выделяют верхний и нижний пределы содержания доступной почвенной воды под покровом растительности.

Верхний предел - это величина наименьшей полевой влагоемкости (НВ). Выражается она количеством воды, удерживаемой почвой в виде гравитационной влаги. На хорошо дренированных почвах это наступает через 2-3 дня после прохождения дождя или проведения орошения. Величина верхнего предела содержания влаги в почвах - это и есть оп-

тимальные условия развития растений.

Таблица 6

Формы воды в почвах и их доступность растениям

Форма воды	Доступность воды растениям	Способ передвижения
<i>Продуктивная влага:</i>		
Величина: от полной влагоемкости (ПВ) до наименьшей (НВ)		
Гравитационная и капиллярно-гравитационная	Легкодоступная. Избыток обуславливает недостаток воздуха. Малопродуктивна	Передвигается в жидком виде под действием силы тяжести
Величина: от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капиллярной связи (НВ-ВРК)		
Капиллярная	Легкодоступная	Передвигается по капиллярам и пленкам
Величина: от влажности разрыва капиллярной связи до влажности завядания (ВРК-ВЗ)		
Пленочная	Труднодоступная	Передвигается по пленкам вокруг почвенных частиц
<i>Непродуктивная влага:</i>		
Величина: от влажности завядания (ВЗ) - до максимальной адсорбционной влагоемкости (ВЗ - МАВ)		
Пленочно-гигроскопическая	Недоступная	Передвигается в виде пара
Величина: от максимальной адсорбционной влагоемкости до химически связанной влаги (сухая почва)		
Гигроскопическая и химически связанная	Недоступная	Передвигается в виде пара и неподвижна

Нижний предел - соответствует величине **влажности завядания** (ВЗ), при которой растения начинают завядать, а следовательно, и не могут продолжать рост и развитие.

Нормальный рост и развитие растений определяется условиями почвенного климата, который зависит от климата атмосферы на данной территории. Однако в почвах часто наблюдаются локальные явления, ограничивающие оптимальное использование воды растениями. Это может быть обусловлено образованием уплотненных поверхностных корок, потерей воды при возникновении провальной инфильтрации, при интенсивном физическом испарении, при усилении процессов засоления. Причинами нарушения нормальной водообеспеченности растений могут быть и такие явления, как подъем к поверхности грунтовых вод, малое содержание доступной влаги; водный стресс растений, небольшая мощность рыхлой почвенной толщи; скелетность (щебнистость) почв. Нормальная водообеспеченность может снизиться до величины завядания растений, когда количество воды в почве настолько мало, что растения начинают завядать. Эта величина влаги в почвах получила название «**влажности завядания**».

Понятие «влажность завядания» отражает не форму воды в почве, а количественное ее содержание, что очень важно для роста и развития растений.

Показатель «влажность завядания» является наиважнейшей агропочвенной характеристикой, отражающей условия роста и развития растений. Это необходимо учитывать при

оценке водообеспеченности растений влагой. При этом следует иметь в виду, что всасывающая способность корней растений зависит от уровня нижней границы доступной влаги. Засухоустойчивые растения обычно не требовательны к запасам почвенной влаги (например, виноград). Такие растения начинают проявлять признаки завядания только при влажности, соответствующей величине максимальной гигроскопичности (МГ).

У разных почв (в различных их генетических горизонтах) величина влажности завядания разная. В почвах легкого гранулометрического состава отношение ВЗ / МГ может достигать 3, а в тяжелых почвах - 1,1-1,2.

Для ориентировочной оценки величины влажности устойчивого завядания используют коэффициент, равный 1,34. Обычно пользуются формулой:

$$ВЗ = 1,34 \text{ МГ.}$$

Отсюда ясно, что величина влажности завядания (ВЗ) для разных сельскохозяйственных культур различна. Ее рассчитывают по величине максимальной гигроскопичности (МГ). Для разных растений она составляет от 1,0 до 1,8 величины МГ (табл. 7).

Количество воды, превышающее величину завядания растений, доступно для растений. Это все формы воды, величины которых находятся в интервале от «*наименьшей влагоемкости*» до «*влажности разрыва капилляров*».

Это оптимальный диапазон влажности почв. За его пределами влажность почв не благоприятна для роста и развития растений.

Для различных растений оптимальная величина влажности (даже в одной и той же почве) своя. Например, для чайного куста оптимальная влажность составляет 80-90% НВ. При влажности почв менее 80% НВ, рост этого растения замедляется. Для зерновых культур оптимальный уровень влажности составляет 55-70%, для капусты и картофеля он равен 60-75%, для трав - 65-80%. Рост и развитие растений, общий уровень накопления органических веществ растениями пропорциональны величине суммарного испарения.

Таблица 7

Величина влажности завядания для различных растений

Величина влажности завядания	Культуры
1,0-1,2	Виноград, сорго
1,2-1,4	Люцерна, донник, яблоня, айва
1,4-1,6	Просо, ячмень, пшеница, лен, груша, слива, вишня, черешня
1,6-1,8	Подсолнечник, кукуруза, гречиха, соя, овес, картофель, мята, чай

Физическое испарение воды из почвы и физиологическое потребление растениями (транспирация) составляют *суммарное испарение*, называемое иногда *эвапотранспирацией*.

Установлено, что луговые травы испаряют воды в год в количестве от 766 до 1533 мм, пшеничное поле - 802-1022 мм, кукурузное поле - 1095-1460 мм

Вопросы для самоконтроля

- 8) Что такое влажность почвы? Единицы измерения.
- 9) Формы почвенной влаги.
- 10) Виды химически связанной воды.
- 11) Как подразделяется физически связанная вода?
- 12) Водные свойства почв.
- 13) Понятие о водном режиме почв.
- 14) Регулирование водного режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

13. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
14. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
15. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
16. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

7. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
8. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.: В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ЕГО БАЛАНС В ПОЧВЕ

10.1. Водный режим почв. Регулирование водного режима

Водный режим - это совокупность явлений поступления влаги в почву, ее удержание, расход и передвижение в почве. Количественно его выражают через водный баланс, характеризующий приход влаги в почву и расход из нее.

Общее уравнение водного баланса выражают следующим образом:

$$B_0 + B_{ос} + B_г + B_к + B_{пр} + B_б = E_{исп} + E_t + B_{и} + B_{п} + B_{с} + B_1$$

где B_0 — начальный запас влаги; $B_{ос}$ — сумма осадков за период наблюдения; $B_г$ — количество влаги, поступающей из грунтовых вод; $B_к$ — количество влаги, конденсирующейся из паров воды; $B_{пр}$ — количество влаги, поступающей в результате поверхностного притока; $B_б$ — количество влаги, поступающей от бокового притока почвенных и грунтовых вод; $E_{исп}$ — количество влаги, испарившейся с поверхности почвы (физическое испарение); E_t — количество влаги, расходуемое на транспирацию (десукция); $B_{и}$ — влага, инфильтрующаяся в почвенно-грунтовую толщу; $B_{с}$ — количество воды, теряющейся за счет поверхностного стока; $B_п$ — влага, теряющаяся при боковом внутрисочвенном стоке; B_1 — запас влаги в почве в конце периода наблюдения.

По соотношению годовых осадков и годовому испарению водного баланса формируются основные типы водного режима.

Отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости называют **коэффициентом увлажнения (КУ)**. В разных природных зонах КУ колеблется от 3 до 0,1.

Г. Н. Высоцкий установил 4 типа водного режима: промывной, периодически промывной,

непромывной и выпотной. Развивая учение Г. Н. Высоцкого, профессор А. А. Роде выделил **6 типов водного режима**, разделив их на несколько подтипов.

1. Промывной тип ($KY > 1$). Сумма годовых осадков больше испаряемости. Весь профиль почвы ежегодно подвергается сквозному промачиванию до грунтовых вод (подзолистые почвы).

2. Периодически промывной тип ($KY = 1$, от 1,2 до 0,8). Для него характерны чередование ограниченного промачивания почв и пород в сухие годы и сквозное промачивание во влажные (серые лесные почвы, черноземы оподзоленные и выщелоченные).

3. Непромывной тип ($KY < 1$). Осадков не достигают грунтовых вод (степные почвы — черноземов, каштановых, бурых). Коэффициент увлажнения снижается с 0,6 до 0,1.

4. Выпотной тип ($KY < 1$). Проявляется в степной, полупустынной и пустынной зонах при близком залегании грунтовых вод.

Преобладают восходящие потоки влаги по капиллярам от грунтовых вод. При высокой минерализации грунтовых вод в почву поступают легкорастворимые соли, происходит ее засоление.

Регулирование водного режима

В таежно-лесной почвенно-климатической зоне -различные агротехнические приемы, направленные на отвод избыточной влаги из верхних горизонтов почвы.

В зонах лесостепи и степи - накопление, сохранение и продуктивное использование влаги выпадающих (снегозадержание, уменьшение физического испарения воды из почвы).

В засушливых районах Заволжья, Западной Сибири эффективны кулисные пары, проведение весеннего боронования полей, после дождей - разрушение корки.

Применение минеральных и органических удобрений способствует более экономичному использованию влаги; водопотребление в расчете на 100 кг зерна снижается в среднем на 26 % (Листопадов, Шапошникова).

В овощеводстве для сохранения влаги широко применяют мульчирование почвы различными материалами.

10.2. Категории (формы) почвенной воды

Вода в почвах неоднородна. Разные ее количества имеют неодинаковые физические свойства. Количество почвенной воды, обладающие одинаковыми свойствами, получили название категорий или форм почвенной воды.

По А. А. Роде 1965 выделяют следующие формы влаги:

Твердая вода — лед. Эта категория воды является потенциальным источником жидкой и парообразной воды. Эта форма воды может быть *сезонной и многолетней* («вечная» мерзлота).

Химически связанная вода входит в состав минералов в виде гидроксильной группы — так называемая конституционная вода $[\text{Fe}(\text{OH})_3, \text{Al}(\text{OH})_3]$ или целыми молекулами — кристаллизационная вода $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$. Она недоступна растениям.

Парообразная вода содержится в почвенном воздухе, в порах, свободных от воды, в форме водяного пара. Конденсируясь, пар переходит в жидкую воду. За счет водяного пара в зимнее время в метровом слое почвы засушливых районов аккумулируется до 10—14 мм влаги.

Физически связанная, или сорбированная, вода образуется путем сорбции парообразной и жидкой воды на поверхности твердых частиц почвы. Физически связанную воду в зависимости от прочности связи с твердой фазой почвы подразделяют на прочносвязанную (гигроскопическая) и рыхлосвязанную (пленочную).

Прочносвязанная вода удерживается на поверхности почвенных частиц, образуя вокруг почвенных частиц тончайшие пленки воды.

По физическим свойствам вода приближается к твердым телам. Она обладает высокой плотностью (1,5–1,8 г/см³), отличается повышенной вязкостью, замерзает при температуре от -4 до -78 °С, недоступна растениям.

Предельное количество воды, которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха, близкой к 100 %, называют **максимальной гигроскопической (МГ)** водой.

Пленочная вода удерживается почвенными частицами менее прочно. Частично доступна для растений.

Свободная вода — это вода, свободно передвигающаяся в почве. Различают две формы свободной воды в почве: капиллярную и гравитационную.

Капиллярная вода передвигается по капиллярам под влиянием капиллярных сил. Эта вода наиболее доступна растениям.

Различают **капиллярно-подвешенную** и **капиллярно-подпертую воду**. При увлажнении почвы сверху атмосферными осадками или оросительными водами формируется **капиллярно-подвешенная вода**. При увлажнении почвы снизу за счет грунтовых вод в почве образуется **капиллярно-подпертая вода**.

Гравитационная вода размещается в крупных некапиллярных порах, свободно просачивается вниз по профилю под действием силы тяжести

Вопросы для самоконтроля

6. Энергетическое состояние воды в почве.
7. Перчислите основные механизмы передвижения влаги в почве
8. Что общего и в чем различия в процессе передвижения влаги в почвах, насыщенных и ненасыщенных влагой.

9. Особенности переноса влаги в форме пара
10. Дайте понятия «когезия» и «адгезия»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

17. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
18. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
19. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.
20. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

9. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
10. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

Лекция 11

ПЕРЕНОС РАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ

11.1. Конвективный перенос. Уравнение неразрывности.

Изучение переноса растворимых веществ в почве начнем с простого «идеального» умозрительного эксперимента. Возьмем тоненькую трубку. Будем через нее фильтровать сначала чистую воду, а потом резко, как говорят, «ступенькой», подадим раствор какого-либо вещества-метки. Например, раствор любой соли с концентрацией c_0 . Будем последовательно определять концентрацию вещества метки (иона) в вытекающем из трубочки

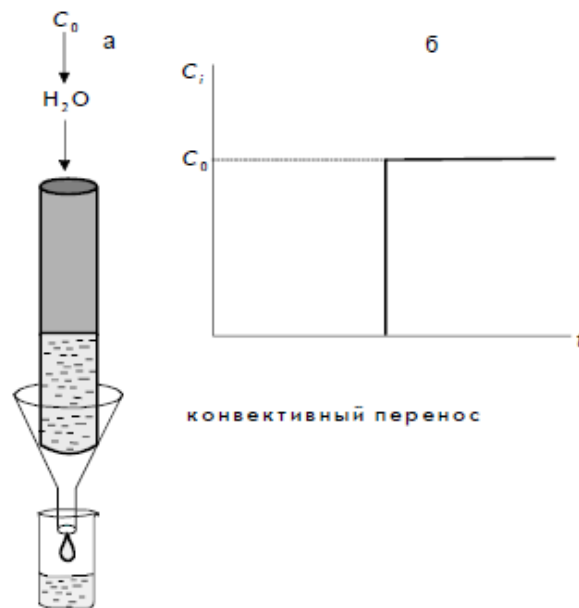


Рис. XI.1. «Идеальный», фильтрующий воду и растворимое вещество капилляр (а) и динамика концентрации вещества на выходе из капилляра (б)

растворе (рис. XI.1).

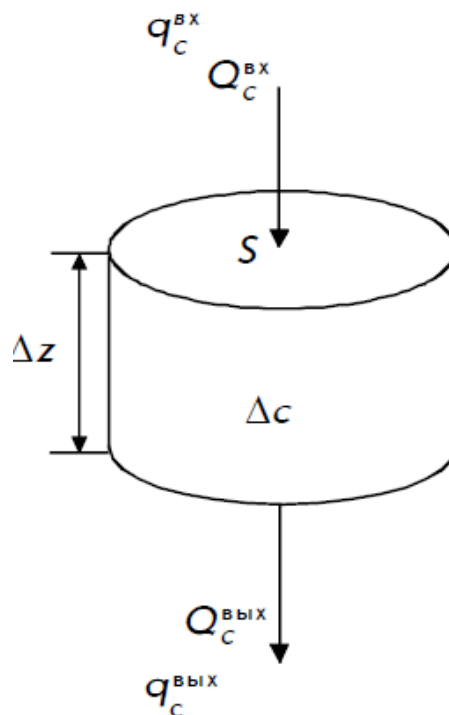


Рис. XI.2. Протекание раствора через элементарную почвенную ячейку высотой Δz и площадью S

Динамика концентрации (c_i) в отобранных вытекающих пробах раствора будет иметь вид «ступеньки». Резкий скачок концентрации вещества от нулевой до c_0 в некоторый момент времени t . Такой тип передвижения вещества в идеальном капилляре обусловлен только процессом конвективного переноса и получил образное название «поршневого» действительно, резко подаваемый на водную поверхность раствор, как поршень, «выдавил» воду из капилляра и резко, «ступенькой» появился на выходе колонки. Можно ли предсказать изменение концентрации во времени в некоторой точке колонки? Другими словами, можно ли знать изменение концентрации растворенного вещества во времени t ?

Рассмотрим возможность количественного описания процесса на простой схеме (рис. XI.2.).

Для рассматриваемой ячейки можно составить баланс солей: количество входящих солей Q_c за вычетом количества выходящих Q_c будет равно изменению количества солей

$$q_c = \frac{Q_c}{\Delta t S}$$

в объеме ячейки. С другой стороны, мы знаем, чему равен поток веществ: Поэтому можно подставить вместо количества солей в вышеприведенном балансовом уравнении их выражения через потоки и получим

$$q_c^{\text{вх}} \Delta t S - q_c^{\text{вых}} \Delta t S = \Delta c \Delta z S$$

или, сокращая S и обозначая разницу входящего и выходящего потоков через получим

$$\frac{\Delta q_c}{\Delta z} = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

знакомое нам по количественному описанию движения воды *уравнение неразрывности*, только используемое теперь для описания движения солей. Оно гласит: «Изменение потока солей в рассматриваемой толще колонки пропорционально изменению концентрации солей во времени» и представляет по сути баланс солей, выведенный для слоя толщиной Δz . Уравнение неразрывности совместно с уравнениями потока веществ имеет огромное значение в физике почв. Какие бы процессы мы ни рассматривали, будь то движение воды, растворенных веществ, а впоследствии газов и тепла, это уравнение будет сопровождать нас. Закон баланса и закон потока веществ и энергии — незыблемые и основные законы переноса веществ и энергии.

Проверим полученное уравнение на правило размерностей — тоже один из принципов почвенной физики. Концентрация вещества выражается в [моль/см³], поток растворенного вещества [моль/(см²·сут)].

Тогда разность левой части уравнения [моль/(см²·сут·см)] действительно будет равна размерности правой [моль/(см³·сут)]. Это указывает на правильность выведенного уравнения.

Отметим также, что поток растворенного вещества будет пропорционален его концентрации в движущемся растворе и потоку раствора по рассматриваемому капилляру: $q_c = q_w c = v c$. Через q_w или через v мы обозначили поток раствора через единичный капилляр, т.е. массовый поток (в случае почвы — массовый поток воды, q_w , рассчитываемый по уравнению Дарси), отнесенный к порозности. Если теперь записать уравнение неразрывности с использованием потока раствора, оно будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = v \frac{\partial c}{\partial z}$$

уравнение переноса растворимого вещества с конвективным потоком почвенной влаги.

11.2. Диффузия.

Все вышеприведенные рассуждения касались некоторого идеального капилляра. В любом капилляре на границе воды и раствора всегда будет происходить процесс диффузии, процесс, движущей силой которого является градиент концентрации, а причиной броуновское тепловое движение молекул и ионов. В случае нашего опыта с капилляром (учитывая молекулярную диффузию) процесс и результат будут выглядеть следующим образом рис. XI.3.

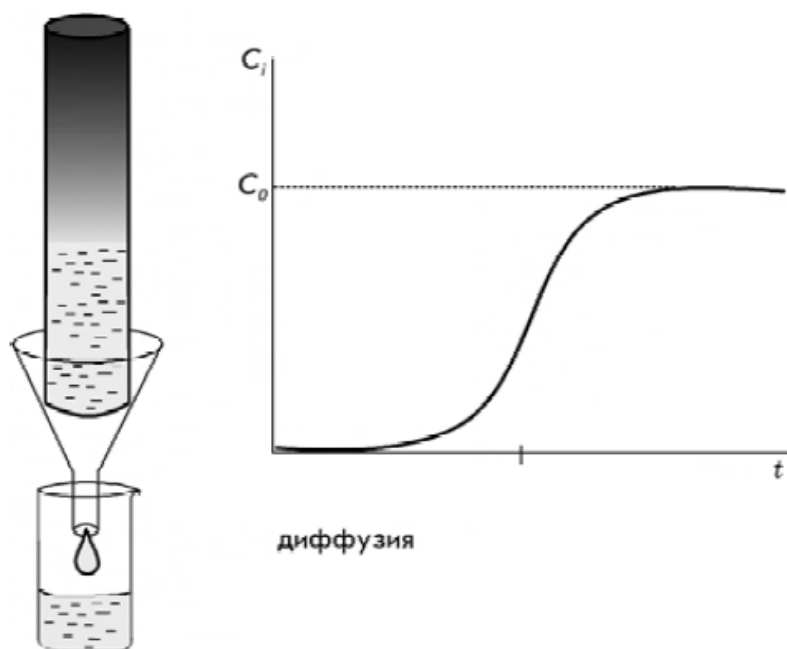


Рис. XI.3. Движение раствора в капилляре с учетом диффузии (а) и динамика концентрации вещества в вытекающем растворе с учетом диффузии (б)

На рис. XI.3 представлено отличающееся от «поршневого» движение растворенных веществ. Фронт движущегося раствора оказывается не ровной границей, а «размыт» за счет диффузионных процессов. Динамика содержания от времени уже не резкий скачок, не «ступенька» концентрации, а постепенно возрастающая концентрация вещества на выходе из колонки за счет происходящего во время движения в колонке процесса диффузии.

Для описания процесса диффузии в растворах используют, как правило, *второй закон Фика*, гласящий, что поток вещества (т.е. его изменение концентрации во времени) будет пропорционален второй производной изменения концентрации по расстоянию и коэффициенту молекулярной диффузии D_m [см²/сут, м²/с и др.]:

$$q_c^d = -D_m \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}.$$

Поэтому суммарный перенос растворенных веществ уже будет включать два процесса: диффузию и конвекцию. Результирующее уравнение переноса будет выглядеть следующим образом:

$$q_c = -D_m \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + v \frac{\partial c}{\partial z}.$$

Данное уравнение более полно описывает перенос веществ в фильтрующем капилляре. Однако при движении растворенного вещества в поровом пространстве почв возникает и еще ряд эффектов, связанных с особенностями порового пространства почв.

11.3. Гидродинамическая дисперсия.

Рассмотрим теперь уже не идеальный капилляр, а колонку, заполненную крупным чистым песком, тоже пока еще несколько упрощенная модель почвы. Также сначала будем фильтровать воду через эту колонку, а затем резко подадим на поверхность раствор какого-нибудь растворимого несорбирующегося вещества (рис. XI.4, а). Ясно, что кривая динамики концентрации вещества на выходе из колонки станет еще более полой, чем в случае с рассмотрением процесса диффузии (рис. XI.4, б).

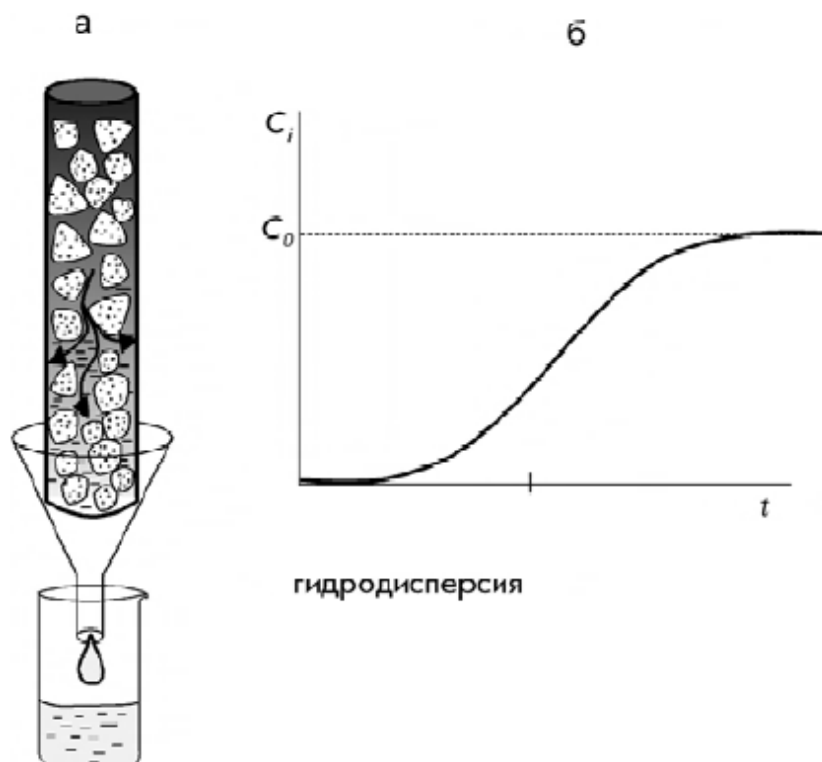


Рис. XI.4. Эксперимент с колонкой, заполненной песком (а), и динамика концентрации растворимого вещества на выходе из колонки с песком (б)

За счет чего фронт движущегося раствора стал еще более «размытым»? Прежде всего за счет тонкокапиллярного, извилистого и неравномерного порового пространства. Представим себе, что раствор движется в тонком капилляре (рис. XI.5, а).

Естественно, около стенок капилляра вода более связана, имеет несколько иную структуру и поэтому менее подвижна. В центре

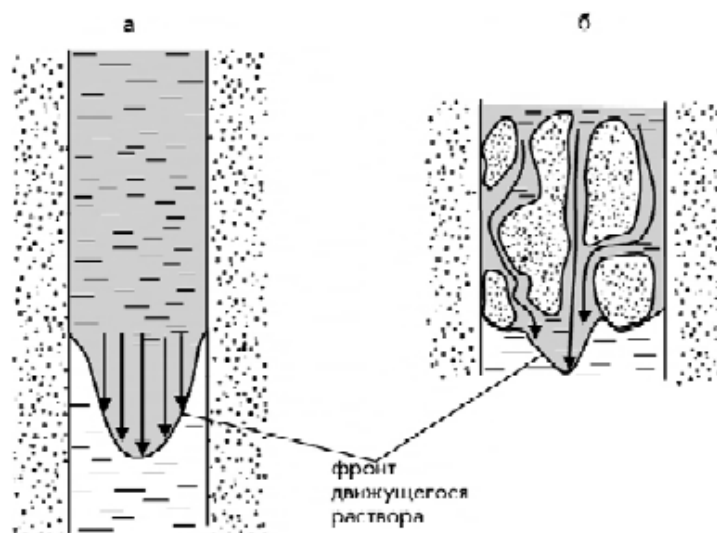


Рис. XI.5. Схема формирования «размытого» фронта движения раствора в тонком почвенном капилляре (а) и в поре неравномерного диаметра (б)

скорость переноса больше. Оказывается, что в таком тонком капилляре сформируется неравномерный фронт движущегося раствора, который скажется и на дополнительной диффузности фронта передвигающегося в песчаной колонке раствора. Следует учитывать также, что поровое пространство неравномерно по диаметру. Могут возникать условия, подобные рис. XI.5 (б), когда отдельные струйки движущегося раствора будут иметь различную скорость. Это приведет к еще большему «размытию», диффузности фронта движущегося раствора. Явление, причина которого заключена в возникновении отдельных смешивающих «струек» в движущемся в почвенных порах растворе, получило название «гидродинамической дисперсии».

«Гидродинамической» потому что оно связано с движением раствора, с его гидродинамикой. «Дисперсией» так как его результат в целом аналогичен проявлению диффузии, это явление также приводит к диффузности фронта движущегося раствора. Поэтому и характеризовать это явление можно коэффициентом, аналогичным коэффициенту диффузии, коэффициентом гидродинамической дисперсии, Dh .

Таким образом, при движении растворенных веществ в пористых средах, таких как почва, наблюдаются следующие явления:

- нет четкой границы между поступающим раствором и почвенной влагой, происходит «размыв» фронта движущегося раствора;
- при движении происходит непрерывное перемешивание раствора и почвенной влаги, в результате образуется расширяющаяся зона дисперсии (зона смешивания, переходная зона, шаг смещения);
- интенсивность изменения концентрации индикатора больше в направлении движения потока по сравнению с направлением, перпендикулярным движению;
- явление перемешивания, или «размыва», фронта движущегося раствора тем сильнее, чем выше скорость потока и значительнее дифференциация размеров пор

Вопросы для самоконтроля

1. Энергетическое состояние воды в почве.
2. Перечислите основные механизмы передвижения влаги в почве
3. Что общего и в чем различия в процессе передвижения влаги в почвах, насыщенных и ненасыщенных влагой.
4. Особенности переноса влаги в форме пара
5. Дайте понятия «когезия» и «адгезия»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
2. **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
3. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.
4. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

1. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
2. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агро-экология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
2. <http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
3. <http://library.sgau.ru>
4. <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ВЛАГИ И ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ.

12.1. Моделирование как метод управления природными ресурсами

Моделирование как метод познания и управления природными процессами развивается весьма интенсивно по вполне понятным причинам: прежде всего потому, что до того как что-то предпринять, необходимо попытаться предсказать последствия, просчитать возможные эффекты, выбрать оптимальный вариант, а возможно, и рассчитать новую конструкцию. И если до сих пор все решения основывались на мнении эксперта или группы экспертов, то теперь к этой группе обязательно примыкают и прогнозные математические расчеты, математическая модель. По сути дела, математическая модель – это тот же «машинный эксперт», в котором представлены все (или почти все) известные процессы в рамках рассматриваемого явления. Только эти процессы описаны с помощью математических уравнений. Поэтому математическая модель – это в свою очередь и энциклопедический справочник состояния науки в области изучения рассматриваемого явления. Однако прежде чем написать то или иное математическое уравнение, необходимо знать физическую основу данного процесса. Иначе модель будет «черным ящиком» и применима только для того материала, на котором получена, – практически только для конкретного случая и с большим сомнением для других похожих. Только в случае если используются всеобщие физические законы, модель приобретет, как говорят, «необходимую всеобщность», т.е. применимость не только для конкретной ситуации, для конкретного места, а для более широкого класса явлений и природных ситуаций. А специфика этого метода состоит в том, чтобы (1) правильно физически представить рассматриваемый процесс, (2) правильно подобрать описывающие его функции и (3) определить алгоритм решения с учетом начальных, граничных условий, временного диапазона и масштаба рассмотрения явления. В данной главе мы остановимся на физических основах и подходах при математическом моделировании водно-солевых процессов в почве.

12.2. Основные этапы моделирования

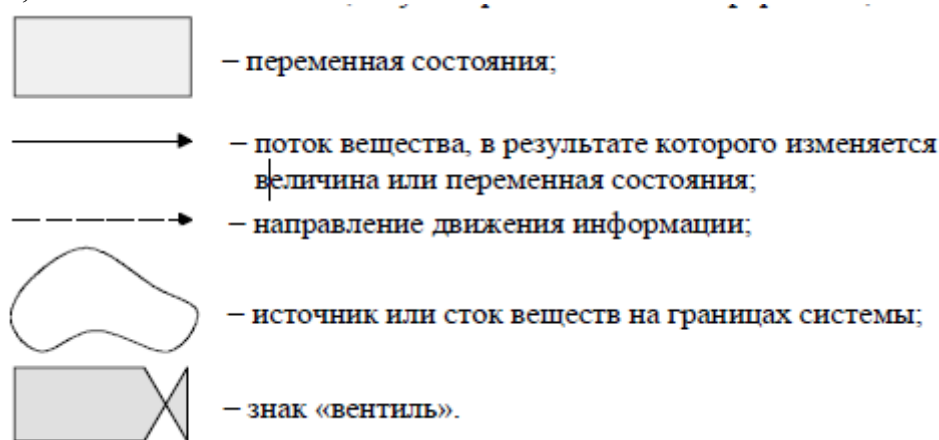
Первый этап – *определение цели моделирования*. Нам необходимо конкретизировать, что же мы хотим узнать, используя математическую модель. Для нашего случая – описания движения влаги в почве – мы хотели бы иметь после модельных расчетов динамику влажности (и давления влаги) в двух слоях почвы для конкретного промежутка времени.

Второй этап – *концептуализация*. Очень важный этап, на котором необходимо привлечь все известные данные, для того чтобы составить теоретическую модель. В нашем случае необходимо решить несколько вопросов, имеющих большое значение для описания движения влаги: (1) необходимо точно определить, каковы границы почвы, в которой будет двигаться влага. По всей видимости, это будет поверхность почвы и нижняя граница 2-го слоя. Влага будет двигаться вверх и вниз только в вертикальном направлении; (2) необходимо определить временные границы. В нашем случае для описания водного режима это будет выбранный нами временной интервал оценки водного режима (от суток до многих лет); (3) необходимо определить, как исследуемая почва связана с внешними системами, с атмосферой и с подстилающими породами. Наша двухслойная почва будет связана с атмосферой процессами поступления осадков и испарения с поверхности, а с нижележащими слоями – водными потоками; (4) внутри почвы, от слоя к слою, надо уточнить условия передвижения влаги. Мы уже знаем, что эта задача может быть решена либо с помощью гидрологических констант (так называемого балансового подхода), либо с помощью уравнения Ричардса для перетока влаги между слоями.

Спецификация модели. На этом этапе надо выделить свойства почвы, которые мы будем определять в итоге расчетов, так называемые переменные состояния модели, а также какими свойствами мы будем описывать внешние связи почвы – внешними переменными модели. В нашем случае переменной состояния будет влажность или давление влаги в почве, а внешние связи будем выражать в виде потоков влаги в почву (интенсивность осадков), а также из почвы (испарение, транспирация) и оттока влаги с нижней границы (дренаж).

Идентификация структуры модели. На этом этапе мы должны графически представить все связи и отношения между переменными (как внешними условиями, так и переменными состояния самой почвы).

А.А.Ляпунов и А.А.Титлянова обосновали определенный «графический язык» для изображения потоковых диаграмм. На таких системных потоковых диаграммах прямоугольник – это символ переменной состояния, вентиль – регулятор потоков, окружность – вспомогательные переменные, сплошные линии – потоки веществ, а пунктирные – потоки информации, т.е



Для передвижения влаги в двухслойной почве схема будет выглядеть следующим образом (рис.XII.1).

Поток воды из атмосферы проникает через верхнюю границу (жирная пунктирная линия), поступает в первый слой, где увеличивается влажность. Часть воды может перетечь из верхнего слоя в нижний или из нижнего в верхний в соответствии с градиентом давления влаги между этими слоями. Эти потоки влаги определяются с помощью уравнения Ричардса, а информационные потоки в этом случае идут от значений влажности или давления влаги в этих слоях, так как именно от состояния влаги в этих слоях зависит величина потока влаги – он и регулируется вентилями «перетоки почвенной влаги». И, наконец, второй почвенный слой связан потоками влаги с нижележащими подстилающими породами. Эти потоки регулируются двумя вентилями, для функционирования которых требуется информация как от второго почвенного слоя, так и от гидрологических условий ниже границы почвы.

Качественная системная модель составлена.

12.3. Основные положения при моделировании

1. Математические модели являются мощным средством познания, предсказания и управления природными явлениями. Их правильное использование возможно лишь при понимании принципов функционирования модели, входящих в нее расчетных формул для перетоков веществ («вентили» на системной схеме явления), описании граничных условий в соответствии с моделируемым объектом и (главное!) при соответствующем экспериментальном обеспечении модели.

2. Экспериментальное обеспечение моделей соле-, влагопереноса включает послойное экспериментальное определение ОГХ, K_f , плотности почвы и гидрохимических параметров.

ров (их выбор в зависимости от свойств движущегося вещества): шаг смещения, коэффициент распределения, нерастворяющийся объем влаги, период полураспада и, в случае структурных почв, коэффициент обмена между застойной и проводящей зонами порового пространства.

3. Необходимость введения базовых физических свойств (гранулометрический состав, структура почвы, плотность, емкость катионного обмена, содержание органического вещества и др.) указывает на использование в модели педотрансферных функций, восстанавливающих ОГХ, K_f , и другие составляющие экспериментального обеспечения по эмпирическим формулам на основе некоторой базы данных. Условия применения этих педотрансферных функций и соответствующей базы данных для исследуемого объекта должны быть уточнены.

4. Модель должна быть проверена на адекватность на независимом массиве динамических данных. Должны быть проанализированы соответствие реальных и расчетных данных и погрешности моделирования в виде разности реальных и расчетных данных. Анализ погрешностей и уточнение параметров модели должны дать убедительный ответ об адекватности модели, после которого возможно ее всестороннее

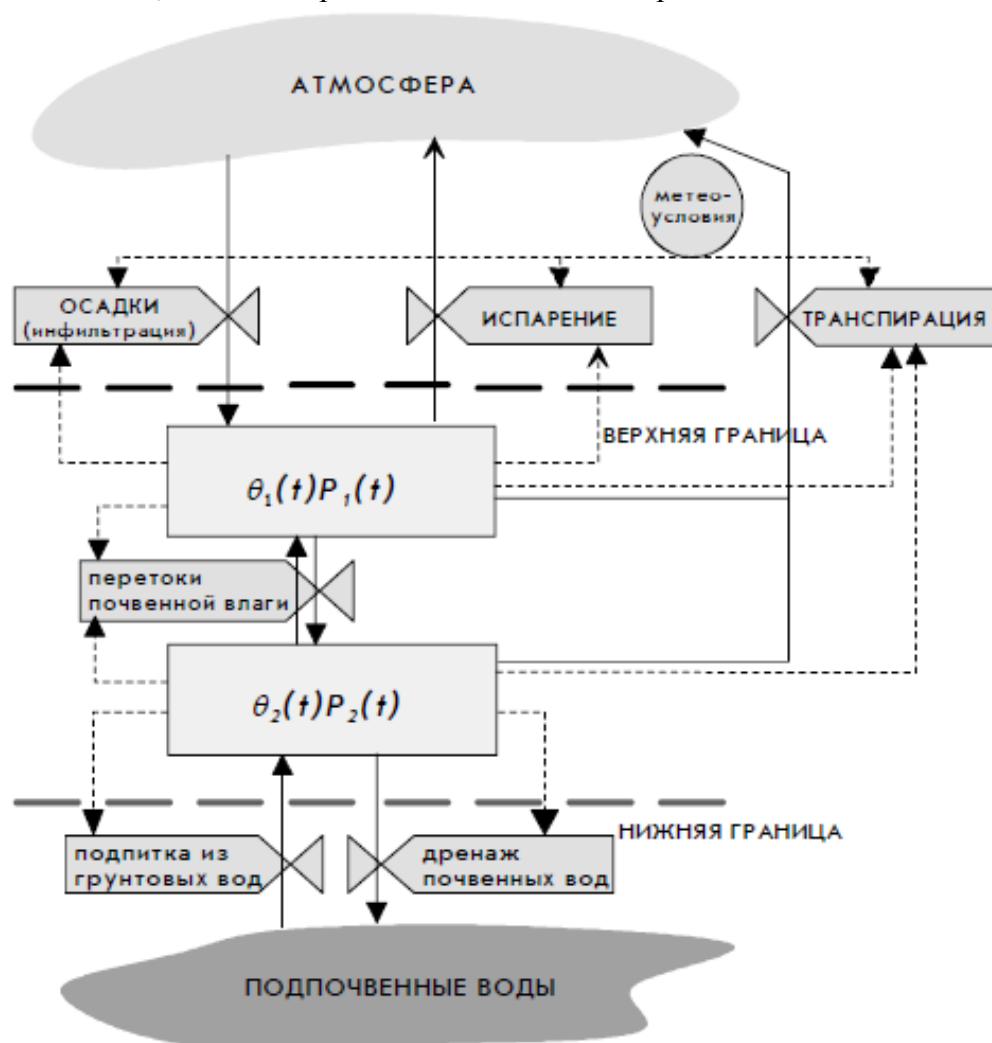


Рис. XII.1. Системная схема переноса влаги в двухслойной почве

Вопросы для самоконтроля

- 8) Понятие о почве.
- 9) Основные функции почв.
- 10) Важнейшие элементы почвенного плодородия.
- 11) Понятие о плодородии, воспроизводство почвенного плодородия

- 12) Искусственное и естественное плодородие.
- 13) Потенциальное и эффективное плодородие.
- 14) Экономическое и относительное плодородие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

4. **Ковриго В.П.** Почвоведение с основами геологии: учебник /В.П. Ковриго, И.С. Кауричев, Л.М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
5. **Мамонтов В.Г.**Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
6. **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.

Дополнительная

5. **Наумов В.Д.**География почв: учебное пособие / В.Д. Наумов. – М. : КолосС, 2008. – 288 с. : ил. – (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. Учеб.заведений).
6. **Баздырев Г.И.**Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г.И. Баздырев, А.В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
7. **Синицына Н.Е.**Почвы Саратовской области/ Н.Е. Синицына, В.В. Кравченко, С.И. Сысоев, В.И. Губов, Ю.М. Гришин, Т.И. Павлова; Под общей ред. Синицыной Н.Е.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – 98 с.
8. **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).
1. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России/ Под редакцией академиков Россельхозакадемии А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. – 67 с.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

1. Базы, информационно-справочные и поисковые системы: Yandex, Google, Rambler
<http://forest.geoman.ru/forest/item/f00/s01/e0001231/index.shtml>
2. <http://library.sgau.ru>.; <http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>

Лекция 13

ГАЗОВАЯ ФАЗА ПОЧВЫ

13.1. Понятие о почвенном воздухе. Виды почвенного воздуха.

Почвенный воздух - это важнейшая, наиболее динамичная составная часть почвы находится в тесном взаимодействии с твердой, жидкой и живой фазами почвы.

Почвенный воздух является источником кислорода для дыхания корней растений, аэробных микроорганизмов и почвенной фауны. **Почвенный воздух** — это смесь газов и летучих органических соединений, заполняющих поры почвы, свободные от воды.

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

Почвенный воздух является источником диоксида углерода для растений, используемым в фотосинтезе. От всего количества CO_2 , идущего на создание урожая, от 38 до 72 % поступает растению из почвы.

Почвенный воздух находится в почве в трех состояниях: свободном, адсорбированном и растворимом. Свободный почвенный воздух, находясь в крупных некапиллярных и капиллярных порах почвы, свободно перемещается в ней, обеспечивает аэрацию почв и газообмен между почвой и атмосферой.

Защемленный почвенный воздух — воздух, находящийся в порах, со всех сторон изолированный водными пробками. В глинистых почвах содержание защемленного воздуха может достигать 12 % и более, в среднем же 6—8 % общего объема почвы.

Защемленный воздух неподвижен, практически не участвует в газообмене, препятствует фильтрации воды в почве. Вырываясь из пор при защемлении водой, защемленный воздух может вызвать разрушение почвенной структуры.

Адсорбированный почвенный воздух — газы и летучие органические соединения, адсорбированные на поверхности почвенных частиц. Чем более дисперсна почва, тем больше содержит она адсорбированных газов при данной температуре. Адсорбция газов сильнее проявляется в почвах тяжелого гранулометрического состава, богатых органическим веществом. Более активно, чем газы, частицы почвы поглощают пары воды.

Растворенный почвенный воздух — газы, растворенные в почвенной воде. Растворимость газов в почвенной воде возрастает с повышением их концентрации в свободном почвенном воздухе, а также с понижением температуры почвы. Наиболее хорошо растворяются в воде аммиак, сероводород, диоксид углерода.

Потребность в кислороде корней растений удовлетворяется в основном за счет свободного почвенного воздуха.

13.2. Состав почвенного воздуха

Первые сведения о составе почвенного воздуха были получены Ж. Буссенго в 1824 г. В первой половине XX в. знания о почвенном воздухе пополнились работами А. Г. Дояренко, Б. Кина, Э. Расселя и др.

Состав свободного почвенного воздуха отличается от атмосферного.

В почвенном воздухе меньше содержится кислорода, больше CO_2 , содержание азота в зависимости от протекания микробиологических процессов. В болотных и заболоченных почвах почвенный воздух может содержать дополнительно NH_3 , CH_4 , H_2 , H_2S .

В составе почвенного воздуха присутствуют летучие органические соединения (углеводороды, спирты, сложные альдегиды), образующиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов.

Из всех газов почвенного воздуха наиболее динамичны кислород и CO_2 , их количество определяется интенсивностью потребления кислорода и продуцированием CO_2 , ско-

ростью газообмена между почвенным и атмосферным воздухом. Выделение CO_2 из почвы в приземный слой атмосферы называется **дыханием почвы**. В условиях хорошей аэрации кислорода поглощается почвой больше, чем выделяется углекислоты.

Отношение содержания CO_2 в почвенном воздухе к содержанию кислорода называется **коэффициентом дыхания**. В анаэробных условиях почв это отношение больше единицы.

Диоксид углерода в почве образуется за счет биологических процессов, поступает из грунтовых вод и в результате десорбции из твердой и жидкой фаз почвы, вследствие превращения бикарбонатов в карбонаты при испарении почвенных растворов и др. процессов.

13.3 Воздушные свойства почв

Наиболее важными воздушными свойствами почв являются воздухоемкость, воздухопроницаемость, аэрация.

Максимальное количество воздуха, которое может быть в почве, выраженное в объемных процентах, называют **общей воздухоемкостью почв** ($P_{O.B.}$). Ее можно определить по формуле

$$P_{O.B.} = P_{\text{Общ}} - P_r$$

где $P_{\text{Общ}}$ — общая порозность почвы, %; P_r — гигроскопическая влажность (в объемных процентах).

Воздухоемкость почв зависит от их гранулометрического состава, сложения, степени оструктуренности.

Различают также капиллярную и некапиллярную воздухоемкость. **Капиллярная воздухоемкость** — это количество почвенного воздуха, размещенного в капиллярных порах. Наибольшей капиллярной воздухоемкостью отличаются тяжелые по гранулометрическому составу бесструктурные плотные почвы.

Для обеспечения нормальной аэрации почв наибольшее значение имеет **некапиллярная воздухоемкость**, или порозность аэрации, — воздухоемкость межагрегатных пор, трещин, ходов червей, корней. Она связана со свободным почвенным воздухом.

Некапиллярная воздухоемкость при НВ имеет особое значение для аэрации. Если воздухоемкость при НВ составляет менее 15%, то аэрация почв недостаточная. Оптимальные условия для газообмена создаются при содержании воздуха в минеральных почвах 20—25 %, в торфяных — 30–40 %.

Способность почвы пропускать через себя воздух называют **воздухопроницаемостью**. Она определяет скорость газообмена между почвой и атмосферой и зависит от гранулометрического состава почвы, ее структурного состояния, строения порового пространства. Изменяется в пределах — от 0 до 1 л/с и выше. Процессы обмена почвенного воздуха с атмосферным называют **аэрацией или газообменом**. Газообмен осуществляется за счет диффузии, изменения температуры почвы и барометрического давления, изменением количества влаги в почве, под действием осадков, орошением, испарением, влиянием ветра, изменением уровня грунтовых вод.

Ведущим фактором газообмена в почве является **диффузия** — это перемещение газов в соответствии с их парциальным давлением. Под влиянием диффузии создаются условия для непрерывного поступления O_2 в почву и выделения CO_2 в атмосферу. Характеристикой диффузии является **коэффициент диффузии** — это объем газа (в см^3), проходящего в секунду через 1 см^2 поверхности при мощности слоя 1 см и градиенте концентрации, равном единице.

13.4. Воздушный режим почвы и его регулирование

Воздушный режим почвы — это совокупность всех явлений поступления воздуха в почву, его передвижения в ней и расхода, а также явлений обмена газами между почвенным воздухом, твердой и жидкой фазами живыми организмами почвы.

Воздушный режим почв подвержен суточной, сезонной, годовой и многолетней изменчивости и находится в прямой зависимости от различных свойств почв, погодных условий, характера растительности, агротехники.

Для нормального произрастания растений необходимо оптимизировать воздушный режим почвы. Улучшение воздушного режима почв особенно важно там, где распространены почвы с временным избыточным увлажнением и при сельскохозяйственном использовании болотных почв.

В почвах легкого гранулометрического состава, а также в суглинистых и глинистых, но обладающих агрономически ценной структурой в верхних горизонтах содержание воздуха поддерживается на высоком уровне (В₀—25 % объема почвы). В бесструктурных почвах тяжелого гранулометрического состава содержание почвенного воздуха зависит от состояния и увлажнения почвы.

При относительной влажности, равной НВ, содержание воздуха в почвах может достигать критической величины (менее 15 % объема почвы).

На бесструктурных почвах суглинистого и глинистого гранулометрического состава нередко образуется почвенная корка, которая уже при влажности 17 % объема почвы препятствует нормальной аэрации.

Приемы регулирования воздушного режима:

окультуривание почв, регулирование их реакции, применение органических и минеральных удобрений, орошение или осушение почв - они активизируют биологические процессы в почвах, повышают интенсивность дыхания в них при наличии доступной влаги. Важными приемами регулирования воздушного режима, особенно на малогумусных почвах тяжелого гранулометрического состава, также являются создание глубокого пахотного слоя, рыхление подпахотного, ликвидация почвенной корки. Для минеральных почв большое значение в создании оптимального воздушного режима имеет улучшение их гумусного состояния и структуры.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Понятие о почвенном воздухе.
- 2) Виды почвенного воздуха.
- 3) Отличие почвенного воздуха от атмосферного.
- 4) Что такое общая воздухоемкость? По какой формуле рассчитывается этот показатель?
- 5) Воздушные свойства почвы.
- 6) Аэрация почвы. Зависимость этого процесса от почвенных условий.
- 7) Понятие о воздушном режиме.
- 8) Приемы регулирования воздушного режима почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

- 1) **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Буракова. — 2-е изд., доп. И перераб. — М. : КолосС, 2008. — 439 с. : ил.

- 2) **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
- 3) **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.
- 4) **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

- 1) **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
- 2) **Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.**

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ РОЛЬ В ПЛОДОРОДИИ

14.1. Физико-механические свойства почв

К физико-механическим свойствам относятся пластичность, липкость, набухание, усадка, связность, твердость и удельное сопротивление. Физико-механические свойства имеют большое значение для оценки технологических свойств почвы — условий ее обработки, работы посевных и уборочных агрегатов.

Пластичность — способность почвы изменять свою форму (деформироваться) без образования трещин под воздействием внешних сил и сохранять приданную форму после прекращения механического воздействия. Пластичность обусловлена илистой фракцией и зависит от влажности почвы. Сухие почвы не обладают пластичностью. Избыточно увлажненные начинают течь и теряют пластичность. В связи с этим различают верхний и нижний пределы пластичности. Верхний определяется величиной весовой влажности, при которой почва начинает течь, нижний — при которой почву еще можно раскатать в шнур диаметром 3 мм без образования трещин. Пластичность зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов, состава обменных катионов. Наибольшей пластичностью обладают глинистые почвы, наименьшей — песчаные. Повышенное содержание обменного иона натрия увеличивает пластичность. Более гумусированные почвы характеризуются меньшей пластичностью. Пластичные почвы обладают меньшим сопротивлением к механическому воздействию. Чем выше пластичность, тем почва больше подвержена образованию колеи на ее поверхности при проходе агрегатов.

Липкость — способность влажной почвы прилипать к другим телам. Это свойство проявляется в определенных пределах влажности, когда сцепление между почвенными частицами меньше, чем между ними и соприкасающимися предметами. Она определяется силой, требующейся для отрыва металлической пластинки от почвы, и выражается в г/см². По липкости почвы подразделяют (по Н. А. Качинскому): на предельно вязкие (>15 г/см²), сильновязкие Е—15), средневязкие В—5) и слабовязкие (<2 г/см²).

Липкость оказывает отрицательное влияние на условия обработки, если состояние влажности и повышенная пластичность почвы вызывают ее прилипание к рабочим частям сельскохозяйственных машин. При этом увеличивается тяговое сопротивление и ухудшается качество обработки почвы. Липкость зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов почвы, ее структурности и состава обменных катионов.

Наибольшей липкостью обладают тяжелые бесструктурные и слабооструктурные почвы; насыщенность ППК ионом кальция снижает липкость, а внедрение в ППК иона натрия увеличивает ее.

Набухание — увеличение объема почвы при увлажнении. Выражается в объемных процентах от исходного объема почвы. Это свойство связано со способностью коллоидов почвы сорбировать воду и образовывать гидратные оболочки вокруг минеральных и органических частиц. Набухание наиболее выражено у глинистых минералов с расширяющейся решеткой, что обуславливает не только поверхностную сорбцию воды, но и проникновение ее в межпакетные промежутки минералов. При этом объем таких коллоидов может увеличиваться в 2 раза. Повышению набухаемости способствует внедрение иона натрия в ППК. Набухание — отрицательное свойство; его проявление может сопровождаться выпиранием почвенной массы, разрушением структурных отдельностей.

Усадка — сокращение объема почвы при высыхании. Это явление обратное набуханию и зависит от тех же факторов. Чем выше набухание почвы, тем сильнее ее усадка. Выражается она в процентах от объема исходной почвы. Усадка может вызывать разрыв корней, приводит к образованию трещин, что способствует непроизводительной потере влаги за счет испарения.

Связность — способность почвы сопротивляться внешнему усилию, стремящемуся разъединить почвенные частицы. Выражают ее в кг/см^2 . Связность обусловлена силами сцепления между частицами почвы, зависит от гранулометрического, минералогического и химического составов, влажности, а также оструктуренности почвы и факторов, ее обуславливающих (гумусированности, состава обменных катионов и др.). Наибольшей связностью обладают глинистые почвы и почвы, содержащие большое количество обменного натрия. Оструктуренные почвы характеризуются меньшей связностью. Невысокую связность имеют песчаные почвы. Минимальная связность наблюдается при влажности, близкой к влажности завядания.

Учет связности почвы имеет большое значение для качества выполняемых технологических операций - рыхления, перемешивания почвенных слоев, крошения почвы, вспашки и т. п. Эти приемы должны выполняться при наименьшей связности почвы. Определение такого состояния связано с понятием «физическая

спелость почвы».

Физическая спелость — состояние почвы, при котором она хорошо крошится на комки, не прилипая к орудиям обработки. Она определяется влажностью почвы и зависит от тех же факторов, что связность и липкость. Для среднесуглинистых почв физическая спелость наступает при следующей их абсолютной влажности (в%): дерново-подзолистые — 12–21, серые лесные — 15–23, черноземы — 15–24, каштановые — 13–25, каштановые солонцеватые — 13–20. С утяжелением гранулометрического состава интервал физической спелости почв во времени и по показателям влажности становится уже.

Помимо физической спелости выделяют биологическую спелость, которая характеризуется таким температурным состоянием почвы, при котором активно развиваются биологические процессы (деятельность почвенной биоты, прорастание семян и др.). Для большинства почв она близка к 10°C .

Твердость — свойство почвы в естественном залегании сопротивляться сжатию и расклиниванию. Выражается она в кг/см^2 . Измеряется при помощи твердомеров. Ее показатели колеблются от 5 до 60 кг/см^2 и выше. Высокая твердость почвы — показатель плохих ее агрофизических качеств. Твердость зависит от влажности, гранулометрического состава, оструктуренности, состава поглощенных катионов, содержания гумуса. С понижением влажности почвы твердость возрастает. Почвы хорошо гумусированные и структурные имеют меньшие показатели твердости, чем малогумусные и бесструктурные. Насыщение ППК кальцием снижает твердость, а внедрение натрия в ППК значительно повышает ее. Так, у черноземов твердость в 10–15 раз ниже, чем у солонцов. Высокая твердость увеличивает тяговое сопротивление при обработке, снижает всхожесть семян, затрудняет проникновение корней растений.

Удельное сопротивление — усилие, затраченное на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность. Измеряют сопротивление почвы в килограмме, приходящемся на 1 см^2 поперечного сечения пласта, поднимаемого плугом. В зависимости от гранулометрического состава, физико-химических свойств, влажности, характера угодья удельное сопротивление почвы может изменяться от 0,2 до $1,2 \text{ кг/см}^2$. От удельного сопротивления почвы зависят затраты на ее обработку; с этой величиной связана норма выработки машинно-тракторного парка, расход топливно-смазочных материалов.

14.2. Приемы регулирования физико-механических свойств почвы

Для регулирования физических и физико-механических свойств почв в соответствии с требованиями растений и выбора наиболее эффективной технологии их возделывания агроному необходимо дать оценку параметрам этих свойств, а также оценить роль отдельных факторов в их формировании. Поскольку гранулометрический и минералогический составы трудно поддаются изменениям при земледельческом использовании почв, следует учитывать главным образом их значение при выборе приемов регулирования физических

и физико-механических свойств почв: выбор оптимальных сроков обработки почв разного гранулометрического состава в зависимости от их влажности, применение рыхления подпахотного слоя на тяжелых почвах, дифференцированное осуществление прямых приемов их изменения (внесение органических удобрений, культура сидератов, регулирование состава обменных катионов и др.).

Сильное отрицательное влияние на физические и физико-механические свойства почвы оказывает тяжелая техника. Уплотняющее воздействие на почву может проявляться до глубины 50—80 см, а наиболее резко оно сказывается на плотности и порозности пахотного слоя. По подсчетам разных авторов, при возделывании зерновых культур уплотняющему воздействию подвергается от 30 до 80 % площади поля, при этом значительная часть двукратному и более.

В результате уплотняющего воздействия техники снижается порозность, особенно некапиллярная, ухудшаются условия для проникновения корней, уменьшаются водообеспеченность растений и аэрация, содержание нитратов в почвенном растворе. Следствием такого ухудшения физических свойств является значительное снижение урожая. Даже при однократном проходе техники урожай зерновых на следах прохода колес машин уменьшается до 50—60 %. Особенно сильно ухудшаются физические свойства на тяжелых слабообструктурных почвах с повышенной влажностью (почвы таежно-лесной зоны, орошаемые земли).

Ослабления вредного уплотняющего воздействия тяжелой техники на почву достигают применением современных технологий возделывания культур, сокращающих количество проходов агрегатов по полю, строгим соблюдением оптимальных сроков проведения полевых работ с учетом состояния влажности почвы, ее физических и физико-механических свойств, осуществлением мероприятий по их улучшению, использованием активных приемов по борьбе с уплотнением (глубокое рыхление). Важное значение также имеют применение существующих и разработка новых машин и агрегатов с минимальным уплотняющим воздействием на почву (широкозахватные и комбинированные агрегаты с многоцелевыми рабочими органами, машины и агрегаты на гусеницах и шинах низкого давления и др.).

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте понятия плотности почвы и плотности ее твердой фазы, порозности почвы и раскройте их агрономическое значение.
2. Назовите физико-механические свойства почв, дайте им определение.
3. Укажите их зависимость от состава почвы, ее физико-химических свойств и других факторов.
4. Как влияют физико-механические свойства на агрономическую оценку почв?
5. Перечислите приемы регулирования общих физических и физико-механических свойств почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

- 5) **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
- 6) **Мамонтов В.Г.** Общее почвоведение/ В.Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
- 7) **Муха В.Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха; Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003. – 528 с.

- 8) **Шеин Е.В.** Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).

Дополнительная

- 3) **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб.пособия для студентов высш. учеб. заведений).
- 4) Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В.В. Кравченко, В.А. Назаров, В.И. Губов; Ю.М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.

Лекция 15

Деформации почв

15.1. Понятие о деформации почв

При изменениях почв под влиянием внешних нагрузок в естественных условиях, как правило, происходит сразу несколько типов деформаций. Представим себе, что по поверхности почвы движется какое-либо транспортное средство (рис. XVI.1).

Из-за механического давления почва будет уплотняться непосредственно под колесом, а также передвигаться в стороны от воздействующего колеса (стрелки на рис. XVI.1). Изменения почвы под действием перпендикулярно расположенной к поверхности силы, т.е. непосредственно вниз от колеса, это уплотнение под действием напряжения сжатия или под действием нормального давления (напряжения), что подчеркивает расположение воздействующей силы по нормали к поверхности. Изменение почвы, наблюдающееся в стороны от воздействующего колеса, происходит за счет напряжения сдвига. Это давление (напряжение) заставляет почвенные слои перемещаться друг относительно друга, «скользить» один почвенный слой по другому. Для того чтобы понять и научиться предсказывать изменения почвы под воздействием различных механических воздействий

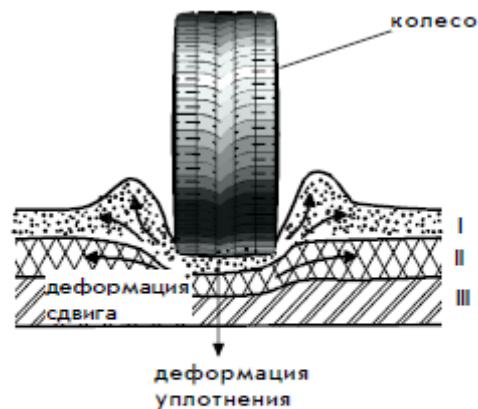


Рис. XVI.1. Деформации уплотнения и сдвига при движении транспортного средства по почве: I, II, III – почвенные слои

будь то транспортные средства, неподвижные сооружения или движущиеся в почве организмы необходимо первоначально освоить специфику деформаций под влиянием нормального и тангенциального усилий деформаций уплотнения и сдвига.

15.2. Деформация сжатия (растяжения)

Почва будет по-разному вести себя под воздействием давления, оказываемого перпендикулярно ее поверхности или сбоку – тангенциально. Первое воздействие – уплотнение под колесом – это деформации сжатия. Остановимся на количественном описании этого типа деформации.

Процессы уплотнения под действием нормального давления зависят от влажности почвы. Если уплотняется насыщенная влагой почва, то скорость уплотнения будет еще определяться и скоростью оттока влаги из образца. Этот процесс называется **консолидацией**. Если же образец не насыщен влагой, то его уплотнение будет происходить за счет уменьшения объема порового пространства, заполненного воздухом, т.е. за счет воздухоносной порозности, – это процесс **уплотнения**. А если образец сжимается за счет как уменьшения воздухоносной порозности, так и оттока воды, – это процесс **компрессии**. Итак, компрессия в целом включает процессы уплотнения и консолидации. Длительные механические воздействия на насыщенную почву в природе встречаются редко. Поэтому в реальных условиях нередко отождествляют компрессию с уплотнением, хотя в общем виде следует помнить формулу «компрессия = уплотнение + консолидация».

Деформация сжатия характеризуется **компрессионной кривой**: зависимостью коэффициента пористости от эффективного давления (сумма нормального механического давления и всасывающего давления почвенной влаги). Оценивается по индексу уплотнения (C_c) или коэффициенту уплотнения (α), показывающему изменение порового пространства почвы на единицу изменения давления [1/Па, 1/атм и проч.].

Величина критического давления, при которой происходит первоначальное изменение порозности и начинают проявляться деформационные изменения, называется «**структурной прочностью**» ($P_{стр}$) и характеризуется соответствующей величиной давления «**предкомпрессионным давлением**» $P_{преком}$ ($P_{преком} = P_{стр}$). Данная величина характеризует внутрипочвенные структурные связи, которые не разрушаются под действием небольших эффективных нагрузок.

Вид и компрессионных, и деформационных кривых будет определяться свойствами частиц и условиями межчастичного взаимодействия. В условиях, когда в глинистых почвах (пастах) преобладают связи коагуляционного типа с дальними контактами, глинистые системы оказываются очень отзывчивыми к действию внешней нагрузки, а величина $P_{стр}$ оказывается очень малой (рис. XVI.4). Характерными представителями такого типа компрессионных кривых являются пресноводные илы, глины, имеющие в почвенном поглощающем комплексе ионы Na.

Более равномерно и постепенно уплотняются под действием нормальной нагрузки тяжелые, близкие к насыщению влагой почвы с ближними коагуляционными и смешанными контактами, в которых и величина $P_{стр}$ может достигать от одной до нескольких атмосфер. Кривая же компрессионного сжатия для тяжелых почв с фазовыми контактами имеет вид прямой, прямой, почти параллельной оси абсцисс, т.е. изменение объема таких систем практически не зависит от внешнего давления. Это обусловлено высокой устойчивостью фазовых контактов к различным внешним воздействиям.

Эти почвенные объекты (уплотненные тяжелые глины в не насыщенном влагой состоянии, опесчаненные суглинки, иссушенные почвы) обладают высокой прочностью, а коэффициент уплотнения очень низок, достигая сотых долей 1/атм.

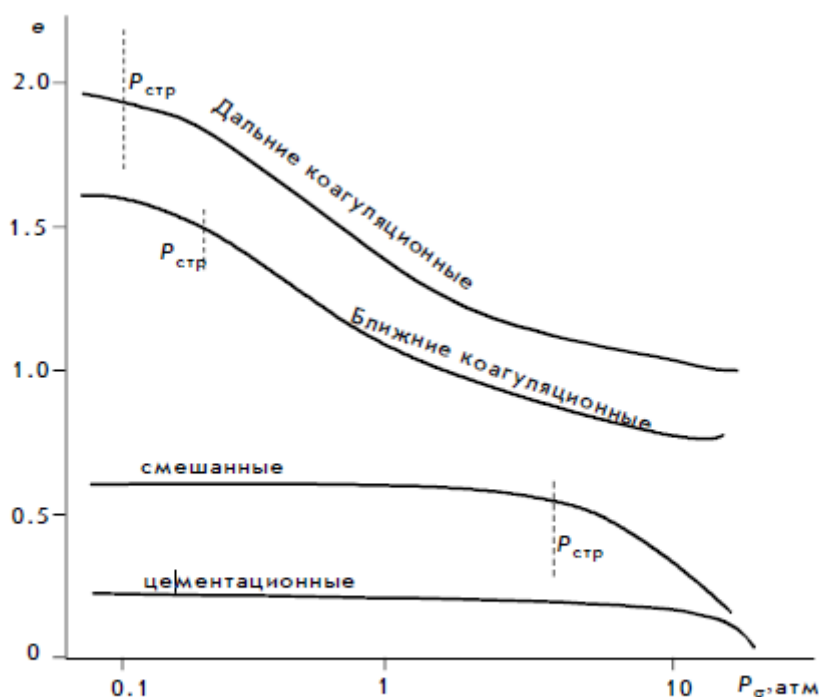


Рис. XVI.4. Компрессионные кривые для почвенных объектов с различными типами межчастичных связей (по В.А.Королеву с соавт., 1985)

Характер компрессионных кривых зависит от фундаментальных физических свойств почв, таких как гранулометрический состав, плотность, минералогический состав, структура, содержание органического вещества, аналогично тому, как мы уже поступали в части курса при рассмотрении влияния на ОГХ и функцию влагопроводности различных свойств почв.

15.3. Сопротивление сдвигу.

Сопротивление сдвигу зависит от сцепления почвенных частиц. **Сцепление** (или, как иногда говорят, жесткость) - это связь между отдельными почвенными частицами, обусловленная, как правило, жесткими необратимыми кристаллизационными и смешанными связями - C [Па и др. единицы давления]. Это основная составляющая сопротивления сдвигу. К ней нередко добавляется и еще одна составляющая, обусловленная явлением дилатансии. Вспомним, что дилатансия - это изменение плотности (прочности) при деформациях сдвига.

Это явление, как правило, оказывает заметное влияние в легких почвах и менее распространено в глинистых. И еще одно явление, обуславливающее напряжение сдвига - это внутреннее трение. При движении почвенные частицы будут тереться друг о друга, формируя внутреннее трение. Нередко это явление отождествляют с формированием так называемого угла откоса грунта. Угол откоса образуется между почвенным образцом и горизонтальной поверхностью, на которую это образец помещен. Вполне понятно, что угол будет существенно зависеть не только от фундаментальных свойств образцов (гранулометрия, минералогия и пр.), но и от его влажности: чем она больше, тем меньше угол откоса. Итак, три основных явления обуславливают сопротивление сдвигу - сцепление, дилатансия и внутреннее трение. Так как первые два явления одного порядка, связанные с формированием прочностных свойств, оба они входят в величину сцепления.

Сопротивление сдвигу (τ , Па, атм и проч.) - это давление, оказываемое почвой при действии касательных (тангенциальных) напряжений.

Сцепление (C , Па, атм и проч.) - это взаимодействие между отдельными почвенными частицами, обусловленное, как правило, жесткими необратимыми кристаллизационными и смешанными связями. Это часть сопротивления сдвигу, которая не зависит от нормального давления.

15.4. Природные и антропогенно обусловленные физико-механические явления при деформациях сжатия и сдвига.

Просадочность почв. Явление чрезвычайно часто наблюдается в природе, в особенности для почв на лёссах и лёссовых породах. В степной зоне нередко можно наблюдать бессточные котловины, так называемые «степные блюдца», или «поды». Они образуются за счет просадки лёссовых пород. Именно для этих пород характерен особый вид компрессионной кривой, когда 1-й пологий участок слабого изменения порозности под нагрузкой резко меняется крутым после достижения критической величины структурной прочности $P_{стр}$ (см. рис. XVI.2, б). Лёссы обладают низкой «структурной прочностью» или низким P_{precom} . Связано это со следующими особенностями лёссовых пород:

лёссы обладают высокой пористостью при доминировании коагуляционного типа связей;

лёссы имеют низкую гидрофильность при среднесуглинистом гранулометрическом составе. Поэтому резкие уплотнения, просадки начинаются при низкой влажности;

в лёссах нередко имеются легкорастворимые соли, которые при увлажнении переходят в растворимое состояние, повышают порозность, снижают энергию коагуляционных связей.

Оползни. Это явление относится к деформациям сдвига. На рис. XVI.11 приведен пример, когда за счет ряда явлений (увлажнение почвы, изменение внутренних связей и угла внутреннего трения и проч.) часть почвы начинает скользить вниз.



Рис. XVI.11. Деформации сдвига при откосе полотна и формирование поверхности скольжения

Образуется так называемая поверхность скольжения. Соскользнувшие по этой поверхности почва или грунт могут иметь немалые объемы. Такие явления образуются не только на откосах дорог. Они наблюдаются и при различных искусственно или естественно возникающих нагрузках (например, опорах линий электропередач и проч.). В этом случае почва может «выпираться» из-под опоры, могут возникнуть разрушения.

Уплотнение почвы под действием сельскохозяйственных машин.

Простой колесный трактор оказывает контактное давление около 100 кПа, а такие мощные, как К-700 (701) «Кировец» - до 190–220 кПа.

А.Г.Бондарев (1990) указывает критические величины контактного давления на почву: весной при влажности выше НВ - 80 кПа и при влажности ниже 0.5 НВ - 180 кПа. В летний и осенний периоды критическое давление увеличивается до 100 и 210 кПа соответственно.

15.5. Сопротивление пенетрации.

В почвоведении всегда была потребность быстро и точно оценить состояние почвы в отношении условий проникновения в нее корней растений, сельскохозяйственных орудий и проч. Поэтому было предложено понятие «**сопротивление пенетрации почвы (грунта), P_{pen}** » - сопротивление почвы внедрению в нее металлического зонда цилиндрической или конусообразной формы небольшого диаметра (обычно от 1 до 5 мм). Оно является аналогом предельного напряжения сдвига, используемого в коллоидной химии. Определение сопротивления пенетрации проводят специальными приборами - пенетрометрами.

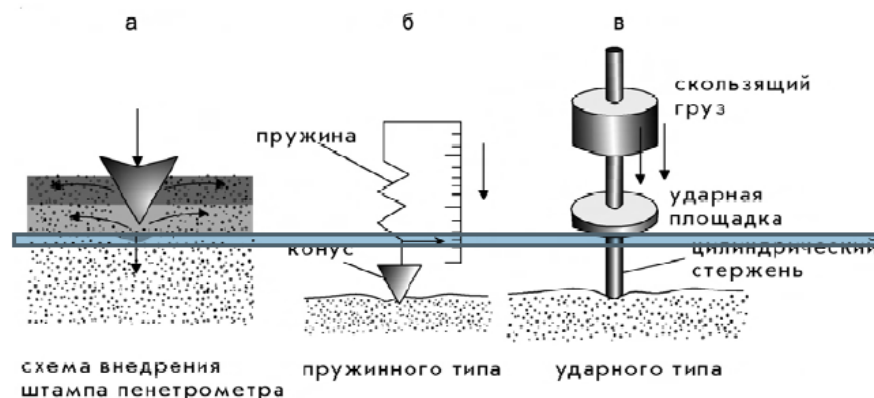


Рис. XVI.14. Схема внедрения конического штампа пенетрометра (а) и основные типы пенетрометров: пружинный (б) и ударного типа (в)

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие о деформации почв.
2. Изменение свойств почвы при сельскохозяйственном использовании.
3. Дайте понятие сопротивлению пенетрации.
4. Использование данных по сопротивлению пенетрации.
5. Что такое деформация сдвига?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Беховых, Л.А. Основы гидрофизики: учебное пособие/ Л.А. Беховых, С.В. Макарычев, И.В. Шорина. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. 172 с. - ISBN 978-5-94485-088-1.
2. Теории и методы физики почв: Коллективная монография/ Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. – М.: «Гриф и К», 2007. – 616 с. ISBN 978-5-8125-0921-7
3. Шеин, Е.В. Агрофизика/ Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – М.: Изд-во Феникс, 2006. – 195 с. - ISBN 5-02041-00456-7

Дополнительная

1. Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил. – ISBN 978-5-9532-0483-5
2. Вальков В. Ф. Почвоведение : учебник / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. - 2-е изд., испр. и доп. - Ростов н/Д. : МарТ ; М. : МарТ, 2006. - 495 с. : ил. - (Учебный курс). –ISBN 5-241-00405-X.

Программное обеспечение и интернет-ресурсы

- Электронно-библиотечная система «Айсбук» (iBooks) - <http://ibooks.ru>
- Электронная библиотека диссертаций РГБ - <http://diss.rsl.ru/>
- Зарубежная база данных реферируемых научных журналов Agris - <http://agris.fao.org/>
- <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
- <http://www.twirpx.com/files/geologic/geology/gmf/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агрохимическая, агроэкологическая характеристика почв и научно-обоснованная система удобрений. Государственная станция агрохимической службы «Саратовская». Саратов, 2008.
2. **Баздырев Г. И.** Земледелие с основами почвоведения и агрохимии: учебник / Г. И. Баздырев, А. В. Сафонов. - М. : КолосС, 2009. - 415 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
3. **Болдырев В. А.** Полевые исследования морфологических признаков почв/ В. А. Болдырев, В. В. Пискунов// Учеб. пособие.– 2-е изд., перераб. И доп.– Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2006.–60 с.
4. **Ковриго В. П.** Почвоведение с основами геологии : учебник /В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. – 2-е изд., доп. И перераб. – М. : КолосС, 2008. – 439 с. : ил.
5. **Мамонтов В. Г.** Общее почвоведение/ В. Г. Мамонтов [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
6. **Муха В. Д.** Агропочвоведение: Учебник для студентов высших учебных заведений/ В. Д. Муха, Н. И. Картамышев, Д. В. Муха; Под ред. В. Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.
7. **Наумов В. Д.** География почв: учебное пособие / В. Д. Наумов. – М. : КолосС, 2008. – 288 с. : ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. Учеб. заведений).
8. **Орлов Д. С.** Химия почв: Учебник/ Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И.Суханова.– М.: Высш. Шк., 2005–558 с.: ил.
9. **Палагина Т. Я.**, Синицына Н. Е., Павлова Т. И. Горные породы: Метод. указания к лабораторным работам. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – 44 с.
10. **Синицына Н. Е.** Почвы Саратовской области/ Н. Е. Синицына, В. В. Кравченко, С. И. Сысоев, В. И. Губов, Ю. М. Гришин, Т. И. Павлова; Под общей ред. Синицыной Н. Е.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009. – 98 с.
11. **Суворов А. К.** Геология с основами гидрологии: учебное пособие / А. К. Суворов. - М. : КолосС, 2007. - 207 с. : ил.
12. Физические свойства почв. Часть 1: Учебно-методическое для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:В. В. Кравченко, В. А. Назаров, В. И. Губов; Ю. М. Гришин - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 48 с.
13. Химические и физико-химические свойства почв. Часть 2: Учебно - методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению «Агрохимия и агропочвоведение» специальности 110201 – «Агроэкология» квалификации бакалавр сельского хозяйства, ученый агроном-эколог/ Сост.:Н. Е. Синицына, В. В. Кравченко, В. А. Назаров, В. И. Губов; - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – 72с.
14. **Шеин Е. В.** Агрофизика/ Е. В. Шеин, В. М. Гончаров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 400с. Ил. (Высшее образование).
15. Научная библиотека СГАУ имени Н.И. Вавилова: <http://library.sgau.ru>
16. Научная электронная библиотека «elibrary.ru»: <http://elibrary.ru>
17. Экологический центр «Экосистема»: <http://www.ecosystema.ru/08nature/soil/>
18. Электронно-библиотечная система «Айсбук» (iBooks) - <http://ibooks.ru>
19. Электронная библиотека диссертаций РГБ - <http://diss.rsl.ru/>
20. Зарубежная база данных реферируемых научных журналов Agris - <http://agris.fao.org/>
21. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
22. <http://www.twirpx.com/files/geologic/geology/gmf/>
<http://www.derev-grad.ru/pochvovedenie/pochvovedenie.html>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лекция 1. Вводная лекция	4
Вопросы для самоконтроля.....	7
Список литературы.....	7
Лекция 2. Фазовый состав почвы	8
Вопросы для самоконтроля.....	10
Список литературы.....	11
Лекция 3. Гранулометрический состав почвы	12
Вопросы для самоконтроля.....	14
Список литературы.....	14
Лекция 4. Структура почвы	26
Вопросы для самоконтроля.....	31
Список литературы.....	31
Лекция 5. Удельная поверхность почв	32
Вопросы для самоконтроля.....	33
Список литературы.....	33
Лекция 6. Влажность почвы	35
Вопросы для самоконтроля.....	38
Список литературы.....	38
Лекция 7. Основная гидрофизическая характеристика	27
Вопросы для самоконтроля.....	30
Список литературы.....	30
Лекция 8. Движение воды в почве	46
Вопросы для самоконтроля.....	48
Список литературы.....	48
Лекция 9. Движение влаги в системе «Почва-растение-атмосфера»	50
Вопросы для самоконтроля.....	55
Список литературы.....	55
Лекция 10. Водный режим и его баланс в почве	57
Вопросы для самоконтроля.....	59
Список литературы.....	59
Лекция 11. Перенос растворимых веществ в почве	60
Вопросы для самоконтроля.....	64
Список литературы.....	65
Лекция 12. Математические модели движения влаги и веществ в почвах	60
Вопросы для самоконтроля.....	64
Список литературы.....	65

Лекция 13. Газовая фаза почвы.....	70
Вопросы для самоконтроля.....	72
Список литературы.....	72
Лекция 14. Физико-механические свойства почв и их роль в плодородии.....	74
Вопросы для самоконтроля.....	76
Список литературы.....	76
Лекция 15. Деформация почв.....	78
Вопросы для самоконтроля.....	82
Список литературы.....	82
Библиографический список.....	83
Содержание.....	84