

Лекция 11.

**Физические свойства
почвы (часть II)**

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Жидкая фаза, или почвенный раствор представляет собой наиболее подвижную, изменчивую и активную часть почвы

Значение воды в почве

- вода — это особая физико-химическая весьма активная система, обеспечивающая многие физические и химические процессы в природе,
- вода - мощная транспортная геохимическая система, обеспечивающая перемещение веществ в пространстве.
- воде принадлежит главенствующая роль в почвообразовании: процессы выветривания и новообразования минералов, гумусообразование и химические реакции совершаются только в водной среде; формирование генетических горизонтов почвенного профиля, динамика протекающих в почве процессов также связаны с водой.
- вода в почве выступает и как терморегулирующий фактор, определяя в значительной степени тепловой баланс почвы и ее температурный режим.
- вода является источником воды и питательных веществ для произрастающих на ней растений.

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

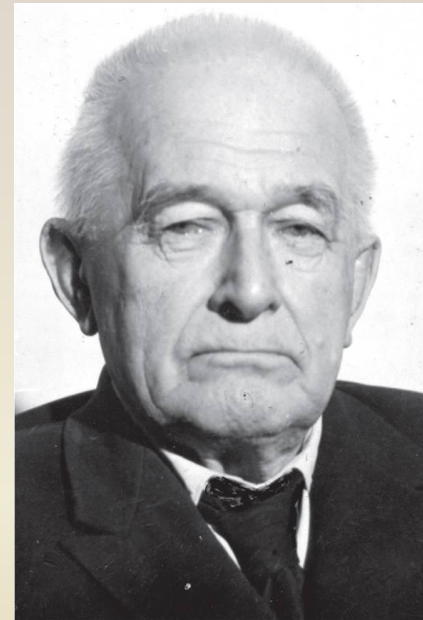
Основным показателем содержания влаги в почве является ее влажность. Под влажностью почвы понимают содержание влаги в почве, выраженное в процентах к массе абсолютно сухой почвы или к единице объема. Все методы определения влажности делятся на две группы. Первая включает взятие почвенных образцов в поле и определение в них влажности в лаборатории. Вторая - косвенная, с помощью различных приборов, установленных непосредственно в почве при естественном ее залегании.

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

В почвах можно различают следующие **пять категорий (форм) почвенной воды** (А.А. по Роде)

- Твердая вода;
- Химически связанная вода
- Парообразная вода
- Физически связанная, или сорбционная вода
- Свободная вода



**Рис. 2. Алексей Андреевич Роде
(1896-1979)**

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Твердая вода — лед. Появление воды в форме льда имеет сезонный (сезонное промерзание почвы) или многолетний («вечная» мерзлота) характер. Поскольку почвенная вода — это всегда раствор, температура замерзания воды в почве ниже 0°C.

Химически связанная вода. Эта вода входит в состав твердой фазы почвы и не является самостоятельным физическим телом, не передвигается и не обладает свойствами растворителя. Это вода представлена гидроксильной группой ОН химических соединений (гидроксиды железа, алюминия, марганца; органические и органоминеральные соединения; глинистые минералы); и целыми водными молекулами кристаллогидратов, преимущественно солей, например гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др.

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Парообразная вода. Эта вода содержится в почвенном воздухе порового пространства в форме водяного пара. Почвенный воздух практически всегда близок к насыщению парами воды, а небольшое понижение температуры почвы приводит к его насыщению и конденсации пара, в результате чего парообразная вода переходит в жидкую; при повышении температуры имеет место обратный процесс. Парообразная вода в почве передвигается в ее поровом пространстве от участков с высокой упругостью водяного пара к участкам с более низкой упругостью (активное движение), а также вместе с током воздуха (пассивное движение).

1. Водные свойства почвы.

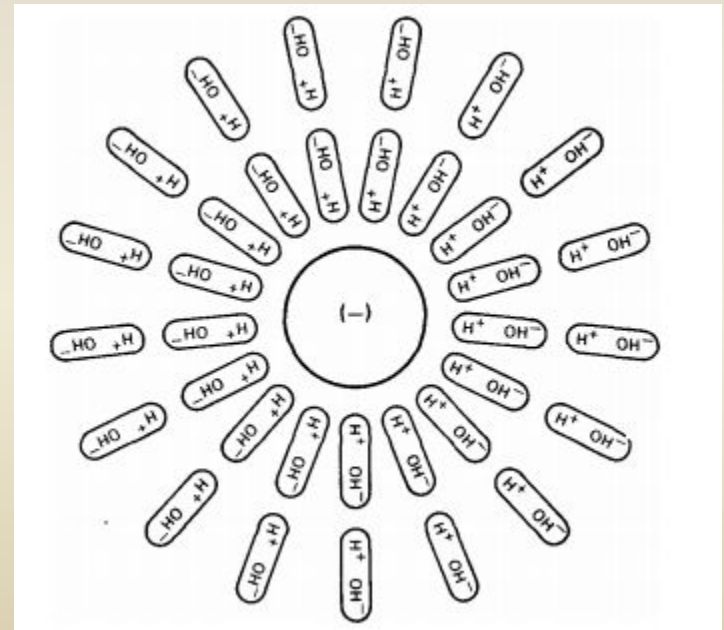
1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Физически связанная, или сорбированная, вода. К этой категории относится вода, сорбированная на поверхности почвенных частиц, обладающих определенной поверхностной энергией за счет сил притяжения, имеющих различную природу. При соприкосновении почвенных частиц с молекулами воды последние притягиваются этими частицами, образуя вокруг них пленку.

Удержание молекул воды происходит в данном случае силами сорбции. Молекулы воды могут сорбироваться почвой как из парообразного, так и из жидкого состояния. Все молекулы сорбированной воды находятся в строго ориентированном положении (рис. 15).

Рис. 15. Ориентированные диполи воды вокруг гидратированной частицы.

Источник: В.А. Ковда Почва и почвообразование, 1988



1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Прочность фиксации молекул воды наибольшая вблизи поверхности почвенных частиц, по мере удаления от них она постепенно убывает.

В зависимости от прочности удержания воды сорбционными силами **физически связанную воду подразделяют на:**

- прочносвязанную
- рыхлосвязанную

Прочносвязанная вода - это вода, поглощенная почвой из парообразного состояния.

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Свойство почвы сорбировать парообразную воду называют **гигроскопичностью почв**, а поглощенную таким образом воду — гигроскопической (**Г, ГВ, $W_{ГВ}$**). Таким образом, **прочносвязанная вода — это вода гигроскопическая**. Она удерживается у поверхности почвенных частиц очень высоким давлением, образуя вокруг почвенных частиц тончайшие пленки. Высокая прочность удержания обуславливает полную неподвижность гигроскопической воды. По физическим свойствам прочносвязанная (гигроскопическая) вода приближается к твердым телам. Плотность ее достигает $1,5-1,8 \text{ г/см}^3$, она не замерзает, не растворяет электролиты, отличается повышенной вязкостью и не доступна растениям.

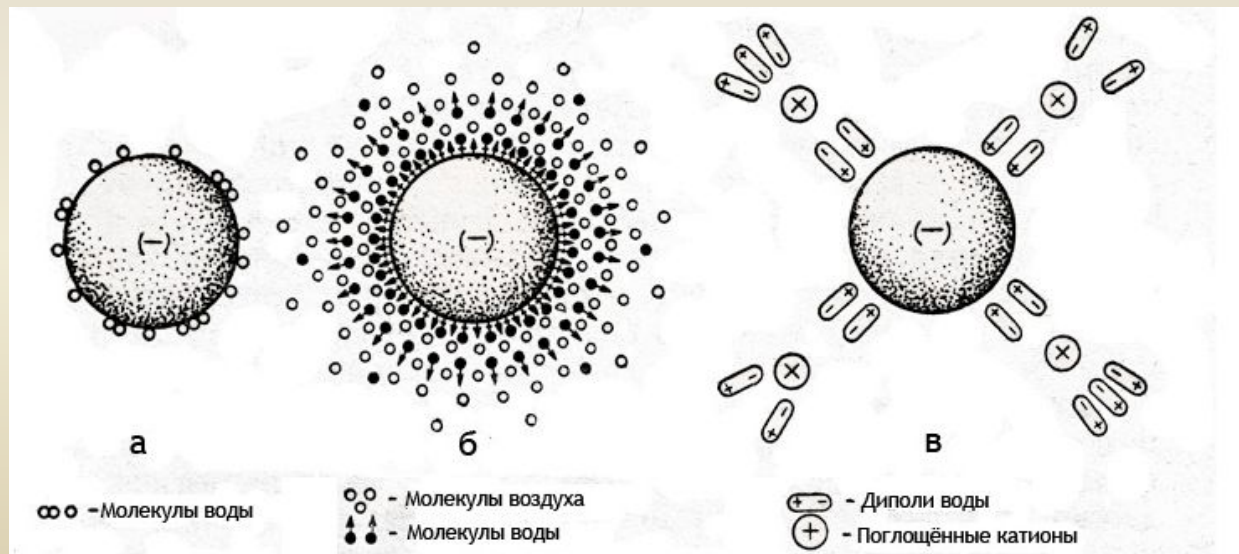


Рис. 5. Гигроскопическая влага

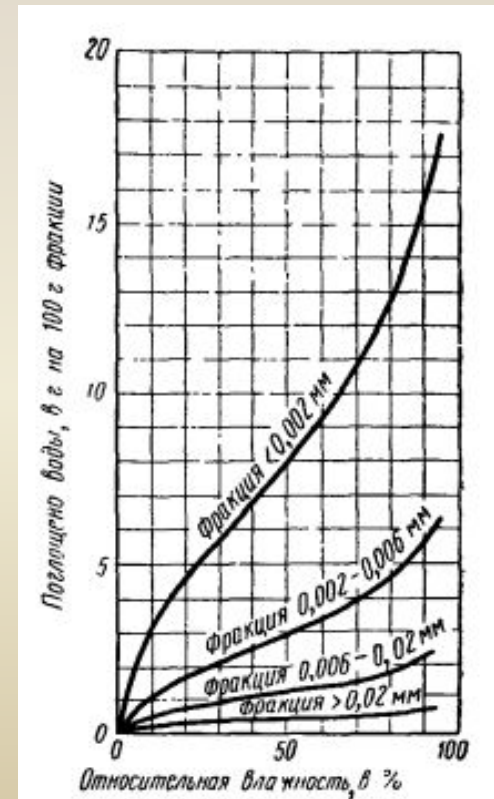
1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Количество водяного пара, сорбируемого почвой, находится в тесной зависимости **от относительной влажности воздуха**, с которым соприкасается почва, гранулометрического состава почвы, минералогического состава, содержания органического вещества.

Рис. 5. Зависимость поглощения водяных паров от относительной влажности паров от относительной влажности воздуха и размера почвенных частиц

Источник: А.Е. Возбуцкая. Химия почв, 1968



1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Рис. 5. Плотность минералов

1. Водные свойства почвы.

1.1. Категории (формы) и состояния почвенной воды.

Рис. 6. Определение плотности твердой фазы почвы
Источник: Шеин Е.В. Курс физики почвы.

1. Общие физические свойства почвы.

Порозность (син. пористость, скважность) – суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы.

Поскольку порозность почвы определяется соотношением и взаимным расположением механических элементов, агрегатов и пустот между ними, общая порозность почвы (в %) может быть определена путем сопоставления плотности почвы и плотности ее твердой фазы.

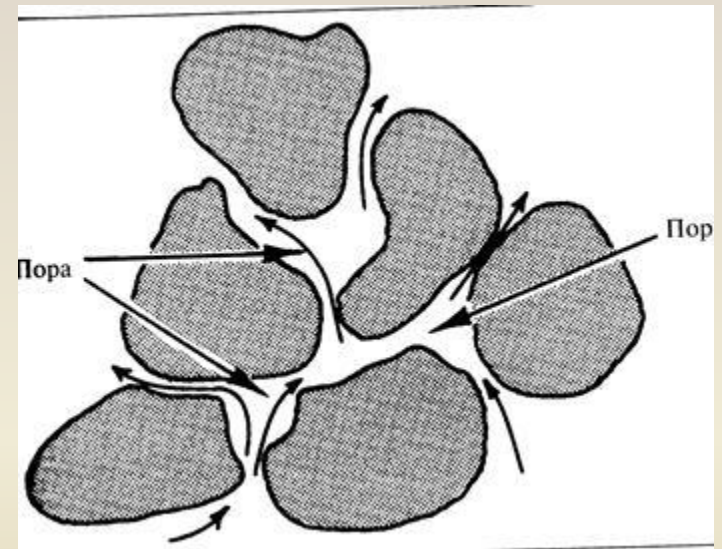


Рис. 7. Порозность почвы
Источник: beauty-things.com

2. Образование структуры почвы.

Выделяют следующие категории порозности:

- порозность общая;
- порозность агрегата;
- порозность межагрегатная;
- порозность, при которой поры заняты водой;
- порозность аэрации;
- порозность капиллярная (рассчитывается при определённом содержании влаги, при почвенно-гидрологической константе, наименьшей влагоемкости);

1. Общие физические свойства почвы.

Порозность общая определяется по формуле:

$$P_{\text{общ}} = \frac{d - d_v}{d} \cdot 100 \%$$

$P_{\text{общ}}$ – общая порозность почвы, %;

d – плотность твердой фазы почвы, г/см³;

d_v – плотность почвы, г/см³;

1. Общие физические свойства почвы.

Порозность аэрации – объем пор, занятых воздухом. Определяется по формуле:

$$P_{\text{азр}} = P_{\text{общ}} - P_{\text{W}}, \%$$

где

$P_{\text{общ}}$ – общая порозность почвы, %;

P_{W} – объем пор, занятых водой, %

W – объемная влажность почвы, %

Порозность при которой поры заняты водой. Определяется по формуле:

$$P_{\text{W}} = d_v \cdot W, \%$$

1. Общие физические свойства почвы.

Порозность капиллярная (рассчитывается при определённом содержании влаги, при почвенно-гидрологической константе, наименьшей влагоемкости).

Порозность, при которой поры заняты водой равна величине объёмной влажности (W_d). Влажность зависит от физических, водно-физических свойств почвы и климатических условий. В течение вегетационного периода, всегда есть засушливые и относительно влажные промежутки времени. Поэтому в почве поровое пространство в большей или меньшей степени заполняется водой. На влажность почвы существенное влияние оказывает и размер пор. Крупные поры с большим диаметром в основном не задерживают, а пропускают воду, средние поры за счет капиллярных сил сохраняют основной запас влаги для растений, а тонкие поры удерживают недоступную для растений влагу.

Поэтому, объёмную влажность при наименьшей влагоёмкости (когда все средние поры заполнены доступной для растений влагой), называют **порозностью капиллярной**.

1. Общие физические свойства почвы.

Порозность межагрегатная.

В хорошо агрегированной почве основные запасы питательных веществ, микроорганизмов, влаги находятся именно внутри агрегатов.

Основная функция межагрегатной порозности – это проведение потоков веществ. В основном по межагрегатному поровому пространству происходит перенос воды и растворенных в ней веществ. Поэтому нередко указывают, что агрегатное пространство – это хранилище основных почвенных запасов, а межагрегатное пространство – это транспортные пути, пути миграции веществ.

1. Общие физические свойства почвы.

Порозность агрегатная -объем пор агрегата, отнесенный к объему агрегата.

Оптимальная порозность агрегатов более 45% (Н.А. Качинский).

Агрегаты с порозностью менее 40 (30-40%) не являются агрономически ценными вследствие плотной упаковки частиц.

1. Общие физические свойства почвы.

Наибольшая порозность (**80-90 %**) наблюдается в лесных подстилках, травяном войлоке, торфах (**90-98 %**), т.е. органогенных горизонтах. Торф низинных болот имеет меньшую порозность, чем торф верховых болот. В минеральных гумусированных горизонтах порозность за счет рыхлости, хорошо выраженной структуры, наличия ходов корней, ходов роющих животных и т.д. равна **55-65 %**. В нижних безгумусных горизонтах порозность уменьшается до **45-55 %** - глинистых и суглинистых неоглеенных грунтах и до **35-40 %** - в песчаных.

1. Общие физические свойства почвы.

Существует две основных характеристик порозности:

- Объем порового пространства;
- Диаметр преобладающих пор.

Крупные поры с большим диаметром будут в основном проводить влагу, средние поры за счет капиллярных сил будут сохранять основной запас влаги для растений, тонкие поры будут содержать влагу недоступную для растений.

1. Общие физические свойства почвы.

Макропоры – это межагрегатная порозность, мезо- и микропоры – внутриагрегатная порозность.

Размер пор, мм	Характеристика пор и движения воды в них
более 1	Поры аэрации Свободное движение гравитационной воды, капиллярное поднятие воды практически отсутствует.
1-0,01	Преобладают поры аэрации Движение гравитационной воды происходит при определенном напоре. Капиллярное поднятие происходит быстро на небольшую высоту.
0,01-0,005 (0,003)	Капиллярные поры Капиллярное поднятие происходит медленно на большую высоту. Движение гравитационной воды отсутствует.
менее 0,005 (0,003)	Ультракапиллярные поры Поры заполнены связанной водой

Рис. 8. Классификация пор по размерам и функциям

Источник: Сергеев Е.М. Инженерная геология

1. Общие физические свойства почвы.

Примерная шкала оценки порозности почвы в вегетационный период для суглинистых и глинистых почв (по Н.А. Качинскому)

Общая порозность, %	Категория	Оценка условий
65-70 и <u>> 70</u>	Избыточно-пористая	Почва вспушена
65-55	Отличная	Культурный пахотный слой
55-50 (45)	Удовлетворительная	Для пахотного слоя
< 50 (45)	Неудовлетворительная	Для пахотного слоя
40-25	Чрезмерно низкая	Характерна для уплотненных иллювиальных горизонтов

1. Общие физические свойства почвы.

Почвенные объекты	Плотность твердой фазы почвы, ρ_s , г/см ³	Плотность почвы, ρ_b , г/см ³	Плотность агрегатов, ρ_a , г/см ³	Порозность почвы, ϵ , см ³ /см ³
Пахотные горизонты минеральных почв:	суглинистые	2.60–2.65	0.8–1.4	0.69–0.46
	песчаные	2.50–2.70	1.4–1.7	0.46–0.35
Горизонты В и С	2.65–2.75	1.5–1.8	1.4–1.9	0.43–0.32
Высокогумусные горизонты луговых, лесных почв	2.40–2.50	0.8–1.2	1.1–1.7	0.67–0.50
Торф (верховой)	1.35–1.45	0.1–0.3	–	0.93–0.79

Рис. 9. Типичные значения плотности различных почв

Источник: Шеин Е.В. Курс физики почв. 2005.

1. Общие физические свойства почвы.

Основные положения

1. Почва – многофазная система, в которой представлены твердая фаза, жидкая и газообразная фазы. Жидкая и газообразная фазы занимают поровое пространство почвы. Количественным выражением порового пространства является порозность, которая рассчитывается по величине плотности твердой фазы и плотности почвы.
2. Плотность почвы – важнейшая почвенно-экологическая и агрофизическая характеристика. Основное влияние на почвенные процессы плотность оказывает через изменение водного и воздушного режимов почв. Плотность оказывает влияние на рост корней, на физиологические процессы в растениях, на трансформацию углерода в почве. Возникновение плотных антропогенных внутрипочвенных слоев приводит к изменению движения веществ в почве и ландшафте.

1. Общие физические свойства почвы.

Основные положения

3. Агрегатное и межагрегатное поровое пространство – две основные составляющие порового пространства почвы. Основная функция агрегатного порового пространства – сохранение и регламентирование «выдачи» воды, питательных веществ, функционирование почвенной биоты; межагрегатного – транспорт веществ в почве.

4. Для характеристики порового пространства важны не только величины объема порового пространства, но и диаметры преимущественных пор. Поры с соответствующими диаметрами несут определенные функции: макропоры – перенос воды и веществ; мезопоры – сохранение влаги, микропоры – запас недоступной влаги для растений.

2. Физико-механические свойства почвы.

Наиболее важными физико-механическими свойствами являются

- пластичность,
- липкость,
- набухание,
- усадка,
- связность,
- твердость
- спелость.

Большая часть этих свойств связана с количеством глинистых или илистых частиц и влажностью почвы.

2. Физико-механические свойства почвы.

Физико-механические свойства почвы важно учитывать при различных видах использования почв и почвенного покрова:

- при механической обработке почвы в земледелии,
- при использовании почв в качестве основания для сооружений,
- при дорожном и аэродромном строительстве,
- при использовании почвы в качестве строительного материала,
- в гидротехнике при строительстве каналов и водохранилищ,
- при гидротехнической мелиорации почв (ирригация и дренаж)

Благоприятные физико-механические свойства способствуют удешевлению всех видов использования почв, в то время как неблагоприятные могут существенно удорожить его и в ряде случаев сделать невозможным.

Изучением физико-механических свойств занимается особый раздел почвоведения — **механика почв**; изучаются они и в **грунтоведении и инженерной геологии**.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.1. Набухание почвы.

Набухание – свойство почв и глин увеличивать свой объем при увлажнении.

Набухание выражают в объемных % по отношению к исходному объему по формуле:

$$V_{\text{наб}} = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \cdot 100,$$

где

$V_{\text{наб}}$ – набухание исходного объема, %;

V_1 – объем влажной почвы;

V_2 – объем сухой почвы.

Максимальная величина набухания может составлять 120-150%. К набухающим относят почвы и грунты, относительное изменение объема которых превышает 4%.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.1. Набухание почвы.

Набухание почвы зависит от:

- дисперсности, чем больше содержание илистых частиц, тем больше набухание;
- минералогического состава (от емкости катионного обмена) и состава обменных катионов, анионов;
- содержание и свойств органического вещества почв;
- плотности почвы

2. Физико-механические свойства почвы.

2.1. Набухание почвы.

Набухание обусловлено капиллярными, осмотическими и адсорбционными процессами поглощения почвой влаги. При гидратации постепенно увеличивается влажность грунта, возрастает толщина водных пленок вокруг частиц и одновременно растет толщина двойного электрического слоя, что приводит к проявлению сил расклинивающего давления между частицами, вызывающих разрушение структурных связей между ними, их разъединение и увеличение объема системы в целом.

Процесс набухания носит осмотический характер. Причиной, вызывающей набухание, является разница в концентрации солей в поровом растворе и в воде, окружающей породу. Если концентрация внешнего раствора меньше концентрации раствора, находящегося в порах породы, происходит набухание породы (оно тем больше, чем больше разница концентраций этих растворов). Если же концентрация внешнего раствора больше концентрации порового раствора, то набухание может не происходить; в этом случае может наблюдаться сжатие породы, подобное тому, какое наблюдается при ее высыхании.

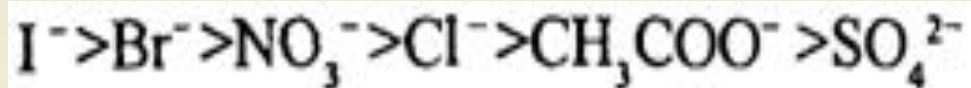
2. Физико-механические свойства почвы.

2.1. Набухание почвы.

Чем ниже валентность катиона и меньше его радиус при одной и той же валентности, тем выше проявление осмотических сил. Катионы, усиливающие набухание почвы (в порядке убывания воздействия):



Анионы, усиливающие набухание почвы (в порядке убывания воздействия):



Минералы с подвижной кристаллической решеткой набухают больше (монтмориллонитовая группа), с наименее подвижной – набухают меньше (каолинитовая группа).

2. Физико-механические свойства почвы.

2.1. Набухание почвы.

Наибольшим набуханием характеризуются почвы с непрочными кристаллическими связями (минералы монтмориллонитовой группы).

Агрегированная, с выраженной внутриагрегатной порозностью и прочными межчастичными контактами в почвенных агрегатах, почва набухает слабо.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.2. Усадка почвы.

Свойств почвы уменьшать свой объем при иссушении называется **усадкой**. Усадка – это процесс, противоположный набуханию. Усадка и набухание – это две стороны одного и того же процесса – изменения объема почвы при изменении влажности. Усадку выражают в процентах от объема исходной почвы.

Усадка зависит от тех же факторов, что и набухание. Чем сильнее набухание, тем сильнее усадка почвы.

В процессе усадки в грунте возникают различные напряжения, действующие на контактах частиц. Вследствие неравномерности их действия в грунте образуются трещины.

Неравномерные напряжения в почве возникают там, где проявляется наибольшая скорость испарения влаги, т.е. вблизи свободной поверхности почвы. Поэтому **трещины усадки** формируются в основном с поверхности, а затем продвигаются вглубь почвы.

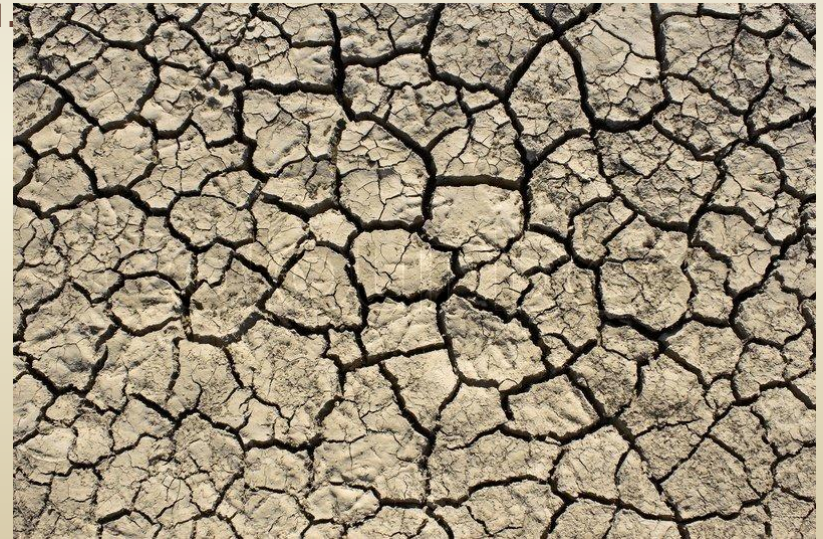


Рис. 10. Трещины в почве

Источник: colourbox.com

2. Физико-механические свойства почвы.

2.2. Усадка почвы.

В процессе почвообразования очень важны **циклы набухания и усадки**, связанные с **циклами увлажнения — иссушения**. Однако в зависимости от амплитуды процесса они играют двоякую роль.

При малых амплитудах увлажнения они способствуют **формированию мелкокомковатой структуры**, вызывая растрескивание почв по мере их иссушения, способствуют самомульчированию поверхности почв, разрушают почвенные корки, способствуя улучшению водно-воздушных свойств почв.

При больших амплитудах увлажнения циклы набухания и усадки, многократно повторяемые в естественных условиях и при орошении, **способствуют разрушению структуры почв**. Это связано с переориентацией и переупаковкой частичек минеральной основы, которая становится более упорядоченной, более плотной. Кроме того, большая амплитуда циклов набухания и усадки, разрушая структурные связи, увеличивает степень набухания почв.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.3. Липкость почвы.

Липкость почвы - способность почвы прилипать к поверхности различных предметов. Измеряется в величинах давления, т.е. силы, необходимой для отрыва от почвы штампа известной площади (г/см^2 , кг/см^2 , Па).

Липкость почвы зависит от:

- гранулометрического состава почвы;
- минералогического состава почвы;
- агрегатного состава почвы;
- влажности почвы.

Липкость почвы всегда определяется для конкретной поверхности: металла резины пр.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.3. Липкость почвы.

Зависимость липкости от влажности почвы. Максимум проявления липкости, приходящейся на влажность выше ВРК, но ниже полной влагоемкости. Эта величина близка к НВ.

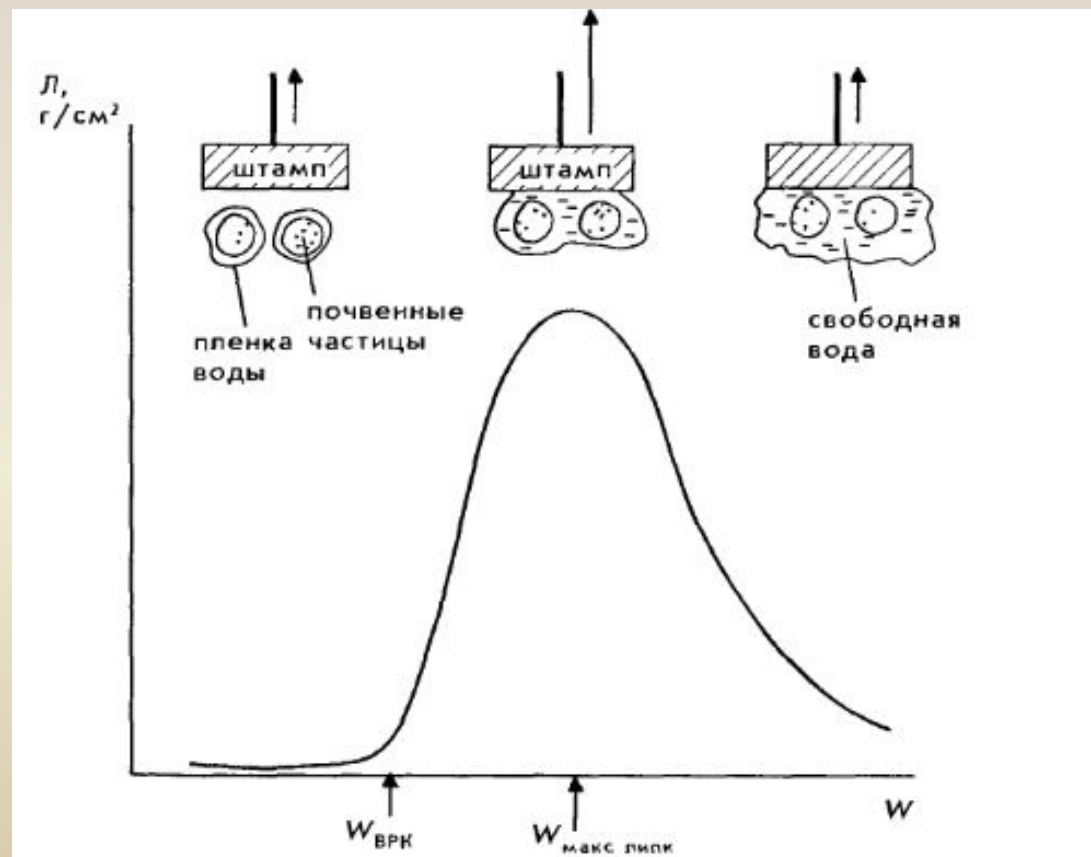


Рис. 11. Зависимость липкости (L , г/см^2) от влажности почвы (W , %)

Источник: Шеин Е.В. Курс физики почвы. 2006 г.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.3. Липкость почвы.

Зависимость липкости от влажности почвы.

При влажности, **близкой к ВРК, прилипание выражено слабо**, т.к. между штампом и почвой не образуется сплошной водной прослойки; нет и капиллярных сил между почвой и штампом, способных вызвать значительное прилипание штампа к почве.

По мере увлажнения в почве появляется капиллярная влага, способная образовывать единое водное пространство между почвенными частицами и поверхностью штампа.

Максимального значения липкость достигает тогда, когда между **почвой и штампом образуется тонкий капилляр**, заполненной водой с сильно вогнутыми менисками, - капиллярное притяжение достигает максимума, а влажность соответствует величине максимальной липкости, или максимального прилипания.

При дальнейшем увеличении влажности вогнутость мениска уменьшается, капиллярные силы притяжения между почвой и штампом ослабевают, уменьшается и липкость.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.4. Твердость почвы.

Твердость почвы. Свойство почвы в естественном состоянии сопротивляться сжатию и расклиниванию называется ее твердостью.

Другими словами, это сопротивление, оказываемое почвой проникновению в нее какого-либо тела под давлением. Выделяются следующие градации почв по твердости:

- рыхлая,
- Уплотненная
- твердая.

Твердость почвы изменяется от 5 до 60 кг/см². Она зависит от гранулометрического и минералогического составов почвы, содержания гумуса, влажности. Самой большой твердостью характеризуются солонцы в сухом состоянии. Твердость почвы определяет тяговое усилие почвообрабатывающих орудий. Тяговое усилие орудия (плуга, например), отнесенное к единице площади данного орудия, называется удельным сопротивлением почвы. Оно изменяется от 0,2 до 1,2 кг/см² и в значительной мере зависит от влажности почвы. В диапазоне 30—70 % общей влажности почвы удельное сопротивление находится в прямой зависимости от твердости почвы.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.4. Твердость почвы.

Высокая твердость – признак плохих физико-химических и агрофизических свойств почв. При высокой твердости снижается прорастание семян, затрудняются проникновение корней в почву и развитие растений вследствие неблагоприятного водного, воздушного и теплового режимов. Твердость – важная технологическая характеристика почвы.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.5. Спелость почвы.

Спелость почвы – это такое состояние почвы, при котором она имеет высокую микробиологическую активность и лучше всего подвергается обработке при наименьшем тяговом усилии. Является важным технологическим свойством почвы. Различают физическую и биологическую спелость.

Под физической спелостью почвы понимают ее подготовленность к обработке. Она соответствует влажности, при которой почва не прилипает к почвообрабатывающим орудиям и крошится на комки с образованием прочных агрегатов (эта влажность достигается при содержании влаги от 60 – 90 % их полевой влагоемкости). Влажность, при которой почва находится в состоянии спелости, зависит от гранулометрического состава, поглощенных оснований и гумусированности почв. Легкие песчаные и супесчаные и более гумусированные почвы раньше других готовы для обработки весной.

Биологическая спелость – состояние почвы, показывающее ее готовность к посеву, характеризующееся оптимальным прогреванием и состоянием микробиологической активности. Наилучшим состоянием спелости считается такое, когда физическая и биологическая спелости совпадают.

2. Физико-механические свойства почвы.

2.6. Пластичность почвы.

Пластичность – свойство почвы изменять свою форму под влиянием внешней силы без разрушения и сохранять ее после устранения воздействия.

Это свойство имеет только влажная почва в определенном диапазоне влажности, т.е. есть верхний и нижний предел пластичности, разность между которыми называется **числом пластичности – величина пластичности**. Чем больше это число, тем более пластична почва.

- песок имеет число пластичности 0,
- супесь – 1 – 7,
- суглинок – 7 – 17,
- глина – более 17.

Пластичность обуславливается главным образом количеством глинистых частиц и составом поглощенных оснований (наибольшей пластичностью обладают глинистые солонцы, содержащие более 25 % обменного натрия, наименьшей – почвы, содержащие много кальция и магния), органическое вещество уменьшает пластичность.

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

Почвенным воздухом называется смесь газов и летучих органических соединений, заполняющих поры почвы, свободные от воды.

Содержание воздуха в различных почвах весьма варьирует и в значительной степени зависит от почвенного типа, структуры, культурного состояния, порозности, степени влажности и многих других условий.

Значение воздуха в почве огромно: воздух не только является важным фактором выветривания минеральной части почвы, но и необходимым условием развития биологических процессов.

Главный источник почвенного воздуха – атмосферный воздух и газы, образующиеся в самой почве. С атмосферным воздухом в почву поступает кислород, необходимый для дыхания корней, аэробных микроорганизмов, почвенной фауны. В процессе дыхания кислород потребляется с выделением углекислого газа.

Почвенный воздух находится в почве в трех состояниях: свободный, адсорбированный, растворенный.

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

Свободный почвенный воздух размещается в некапиллярных и капиллярных порах почвы, обладает подвижностью, способен перемещаться в почве и обмениваться с атмосферным. Наибольшее значение имеет воздух некапиллярных пор, практически всегда свободных от воды.

Адсорбированный почвенный воздух – газы, сорбционные поверхностью твердой фазы почвы. Адсорбция газов сильнее проявляется в почвах тяжелого гранулометрического состава, богатых органическим веществом. Газы адсорбируются в зависимости от строения их молекул, дипольного момента в такой последовательности:



Наибольшее количество адсорбированного воздуха характерно для сухих почв. При влажности почв выше МГВ вода вытесняет поглощенные газы, что отражается на изменении состава свободного почвенного воздуха.

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. Хорошо растворяется в воде аммиак, сероводород, углекислый газ. Растворимость кислорода небольшая. Растворенные газы проявляют высокую активность. Растворенный кислород поддерживает кислотные свойства почвенного раствора.

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

Состав почвенного воздуха динамичен. Наиболее динамичны в почвенном воздухе кислород и углекислый газ. Азот почвенного воздуха мало отличается от атмосферного.

**Состав атмосферного и почвенного воздуха
(в процентах к объему)
(по Н. П. Ремезову)**

Воздух	Азот	Кислород	Углекислый газ
Атмосферный	78	21	0,03
Почвенный	78—80	5—20	0,1—15,0

Как видно из приведенных данных, содержание **CO₂** в почвенном воздухе во много раз больше, чем в атмосфере. Помимо наличия значительного количества CO₂, в почвенном воздухе содержатся пары воды, а в заболоченных почвах и такие газы, как **аммиак, водород, сероводород, метан и фосфористый водород**, образующиеся в результате развития анаэробного процесса разложения мертвого органического вещества.

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

Наиболее существенным компонентом почвенного воздуха является углекислый газ. Содержание углекислого газа в почвенном воздухе подвержено значительным колебаниям: заметно больше его обнаруживается весной и летом и меньше — осенью и зимой.

Динамичность содержания углекислого газа и выделение его в атмосферу имеет **временные (суточные, годовые, многолетние) и пространственные закономерности.**

Суточная динамика CO_2 и O_2 распространяется до глубины 30-50 см в соответствии с колебаниями температуры. Обновление состава почвенного воздуха возможно на 10-15%.

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

Годовая динамика свидетельствует о том, что пик концентрации CO_2 приходится на август-ноябрь, что связано с оптимальной температурой и влажностью и поступлением свежего опада.

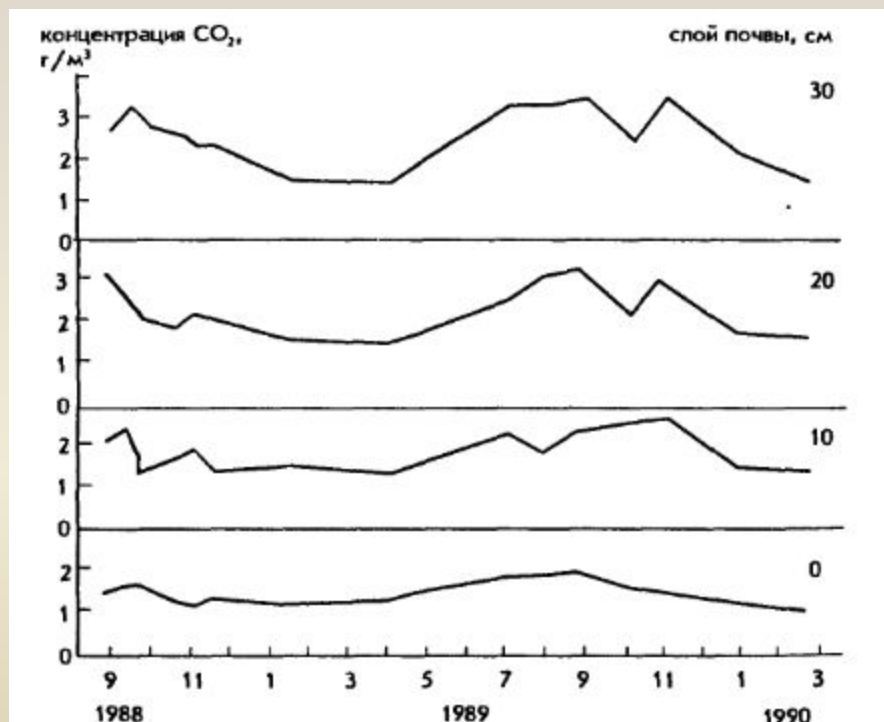


Рис. 12. Сезонная динамика концентрации CO_2 по слоям почвы (по Смагину, 1999)

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

В годовом цикле динамики O_2 и CO_2 в почвенном воздухе максимальное содержание O_2 и минимальное CO_2 приходится на летний период, а осенью и зимой почвенно-грунтовая толща освобождается от ранее накопившегося CO_2 . В течение вегетационного периода состав почвенного воздуха значительно изменяется в зависимости от погодных условий.

При оптимальной влажности с повышением температуры почвы содержание CO_2 в почвенном воздухе увеличивается, а O_2 уменьшается.

При высокой температуре и низкой влажности (близкой к влажности завядания) состав почвенного воздуха мало отличается от атмосферного.

3. Воздушная фаза почвы.

3.1. Почвенный воздух.

В почвах нормального увлажнения содержание O_2 в почвенном воздухе, как правило, уменьшается от верхних горизонтов к нижним, количество же CO_2 , наоборот, увеличивается.

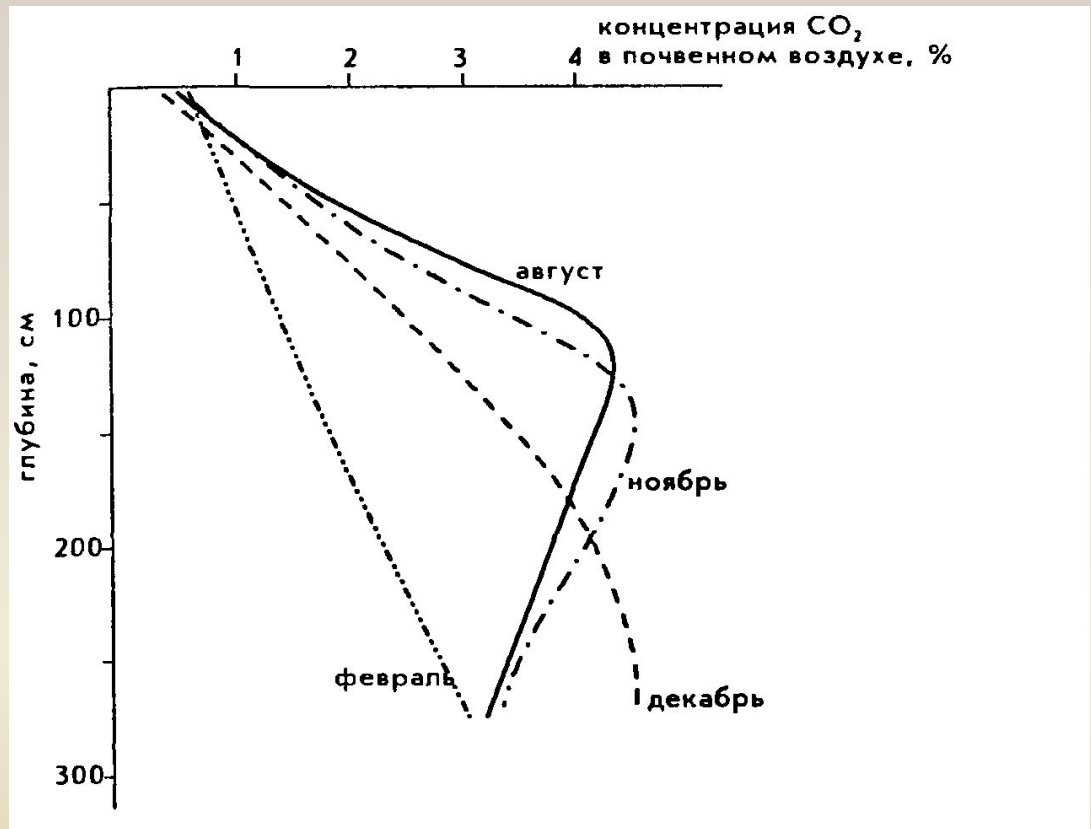


Рис. 13. Распределение и концентрация CO_2 по профилю дерново-подзолистой почвы под смешанным лесом.

Источник: Шеин Е.В. Курс физики почв., 2006 г.

3. Воздушная фаза почвы.

3.2. Газообмен с атмосферой.

Большое значение для растений имеет не только количество имеющегося в почве воздуха, но и **скорость его обмена с атмосферой**. Чем быстрее и полнее обменивается почвенный воздух с атмосферным, тем благоприятнее создаются в почве условия для жизни культурных растений, а также и для биохимических почвенных процессов.

Естественный газообмен в почве совершается под воздействием изменений температуры почвы, вызывающих расширение и сжатие почвенного воздуха, под влиянием ветра, усиливающего этот процесс, под воздействием изменений барометрических давлений, под влиянием выпадающих осадков и их испарений и в значительной мере под влиянием диффузии, т. е. медленного, но постоянного перемешивания газов.

3. Воздушная фаза почвы.

3.2. Газообмен с атмосферой.

Важнейшим фактором, от которого зависит скорость газообмена в почве, является:

- гранулометрический состав почвы
- структурное состояние почвы;
- физические свойства почвы (порозность, плотность, влажность).

Движение газов в профиле будет определяться процессами ***диффузии и конвекции.***

3. Воздушная фаза почвы.

3.2. Газообмен с атмосферой.

Конвекция – перенос почвенных газов с массовыми потоками воздуха и воды, действующей силой которого является перепад давления – пневматического и суммы капиллярно-сорбционного и гравитационного давлений влаги. Перенос газов в растворимой форме.

Процесс конвекционного переноса, который может включать разнообразные процессы (поступления в растворенном виде с осадками, поливами, «поршневое» движение воздуха, возникающее вследствие впитывания воды, суточное изменение температуры, порыва ветра над неровной поверхностью, изменения атмосферного давления), **не оказывает существенного**, т.е. стабильного, интенсивного и долговременного по действию, влияния на газоперенос.

3. Воздушная фаза почвы.

3.2. Газообмен с атмосферой.

Диффузия – это перемещение газов в соответствии с их парциальным давлением. Поступление влаги в почву с осадками или при орошении вызывает сжатие почвенного воздуха, его выталкивание наружу и засасывание атмосферного воздуха. Изменение температуры почвы и атмосферного давления, ветра и уровня грунтовых вод также вызывает объемные изменения воздуха в почве и, как следствие, общий ток его из почвы или в почву.

Диффузия осуществляется через некапиллярные поры, но и через пленку воды, окружающую корни.

Главная роль в газообмене принадлежит механизму диффузии.

3. Воздушная фаза почвы.

3.2. Газообмен с атмосферой.

Одним из показателей почвенного газообмена является **аэрация и дыхание** почвы.

Аэрация – это процесс поступления атмосферного воздуха в почву, замещение им почвенного. Во время этого процесса повышается содержание кислорода в почве, т.к. содержание кислорода в почвенном воздухе значительно понижено по сравнению с атмосферным за счет микробиологической деятельности, корневого дыхания.

Аэрация определяется показателями: воздухопроницаемость и воздухоемкость.

3. Воздушная фаза почвы.

3.2. Газообмен с атмосферой.

Дыхание почвы – это ритмичный воздухообмен между почвой и атмосферой, происходящий под влиянием изменений температуры почвы и атмосферного давления, суммарное выделение **углекислого газа** с поверхности почвы (эмиссия), микробиологическую (биохимическую, биологическую) активность почвы, скорость минерализации почвенного органического вещества.

Эмиссии CO_2 почвой в большой мере уделяется внимание в связи с **«парниковым эффектом»**. Этот эффект состоит в том, что такие газы, как CO_2 , CO , CH_4 , N_2O создают в атмосфере некий газообразный экран, подобный стеклу или пленке в парнике, который пропускает коротковолновую радиацию, но не пропускает длинноволновую, тепловую. То есть поступающую на поверхность почвы пропускают, выделяемую – нет.

3. Воздушная фаза почвы.

3.3. Воздушные свойства почвы.

Состояние газообмена определяется воздушными свойствами почвы:
воздухопроницаемость и воздухоемкость.

Воздухоемкость почвы характеризует содержание воздуха в почве в объемных процентах. Количество воздуха в почве зависит от влажности и порозности почвы. Чем выше порозность и меньше влажность, тем больше воздуха содержится в почве. Определяется по формуле:

$$P_{\text{аэр.}} = P_{\text{общ.}} - W_d$$

где:

$P_{\text{аэр.}}$ – порозность аэрации, %

$P_{\text{общ.}}$ – общая порозность почвы, % или $\text{см}^3/\text{см}^3$;

W_d – объёмная влажность почвы, % или $\text{см}^3/\text{см}^3$.

3. Воздушная фаза почвы.

3.3. Воздушные свойства почвы.

Максимальная воздухоемкость характерна для сухих почв и равна порозности. В воздушно-сухом состоянии воздухоемкость почвы равна разности между общей порозности и объемом гигроскопической влаги. Особое значение имеет воздухоемкость почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости. Если объем пор, занятых воздухом при наименьшей влагоемкости, составляет менее 15%, то аэрация почв недостаточная, чтобы обеспечить благоприятный состав почвенного воздуха. Оптимальные диапазоны воздухоемкости для различных по гранулометрии почв:

песчаные – 20–25%
суглинистые – >15–20%
глинистые – >10%.

Концентрация CO_2 не должно превышать 2-35 от общей порозности.

3. Воздушная фаза почвы.

3.3. Воздушные свойства почвы.

Воздухопроницаемость – способность почвы пропускать через себя воздух. Она измеряется количеством воздуха в мл, прошедшем под определенным давлением в единицу времени через площадь сечения 1 см² при толщине слоя 1 см. Чем полнее выражена воздухопроницаемость, тем лучше газообмен, тем больше в почвенном воздухе O² и меньше CO².

Воздухопроницаемость зависит от гранулометрического состава почвы, ее плотности, влажности, структуры. Воздух в почве передвигается по порам, не заполненным водой и не изолированным друг от друга. Чем крупнее поры аэрации, тем лучше воздухопроницаемость.

По воздухопроницаемости можно судить о структурном состоянии почвы, о способности почвы к газообмену. Если воздухопроницаемость почвы через 60 мин после обильного увлажнения структурное состояние почвы (мл/мин):

- более 60 – хорошее;
- 40-60 – среднее;
- 40-30 – слабое;
- 20-0 почва бесструктурная.

3. Воздушная фаза почвы.

3.3. Воздушный режим почвы.

Воздушный режим почвы — это совокупность всех явлений поступления воздуха в почву, его передвижения в почве и расхода, а также явлений обмена газами между почвенным воздухом, твердой и жидкой фазами, потребления и выделения отдельных газов живым населением почвы. его воздуха во времени.

При изучении воздушного режима почвы обращают внимание на содержание двух газов: диоксида углерода и кислорода. При нормальном газообмене сумма этих газов близка к сумме их в атмосфере (21 %), но соотношение между ними существенно меняется во времени, причем различно в разных почвах.

Воздушный режим почв подвержен **суточной, сезонной, годовой и многолетней изменчивости** и находится в прямой зависимости от свойств почвы.

Наиболее благоприятно воздушный режим складывается **в структурных почвах**, обладающих **рыхлым сложением**, способных **проводить и перераспределять поступающие в них воду и воздух**.

3. Воздушная фаза почвы.

3.3. Воздушный режим почвы.

Воздушный режим почвы тесно связан с ее водным режимом и потому регулируется одними и теми же мелиоративными или агротехническими приемами. В то же время в практике земледелия приходится обращать внимание и на самостоятельные приемы регулирования воздушного режима почв.

Во всех случаях регулирования почвенных режимов необходимо помнить об антагонизме воды и воздуха в почве. Избыточное увлажнение почв всегда ведет к снижению их аэрации, в то время как засушливые, недостаточно увлажняемые почвы избыточно аэрированы.