

# Лекция 7

## План

- 1.** Почвенный раствор и окислительно-восстановительные процессы в почвах
- 2.** Водные свойства и водный режим почв
- 3.** Почвенный воздух и воздушный режим почв

# Почвенные растворы

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

Почвенный раствор **содержит** минеральные, органические и органико-минеральные вещества в ионной, молекулярной, коллоидной форме и иногда в виде взвесей. Он также содержит растворенные газы: кислород, углекислый газ, аммиак.

**Количество** почвенного раствора зависит от влажности почвы и колеблется в широких пределах - от долей и единиц до десятков процентов в минеральных почвах,

# Выделение почвенных растворов

Используют различные методы:

- отпрессовывание, вытеснение жидкостями или газами, центрифугирование;
- улавливание почвенных растворов специальными приёмниками разных конструкций (лизиметрический метод);
- метод водных вытяжек (наиболее часто применяемое соотношение почва - вода 1:5);
- стационарный метод изучения почвенных растворов в естественном состоянии с помощью специальных приборов (наиболее часто применяются ионометрические методы с использованием специальных электродов для измерения

# Состав почвенного раствора

По данным К. К. Гедройца, коллоиды составляют от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{10}$  общего количества веществ почвенного раствора. В почвенных растворах преобладают катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , всегда присутствуют  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ , в почвах с кислой реакцией среды -  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ . Из анионов преобладают  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ; присутствуют  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Железо, алюминий содержатся, в основном, в виде устойчивых комплексов с органическими веществами. Минерализация почвенных растворов невелика и в разных типах почв колеблется, возрастая с севера на юг, от десятков мг в подзолистых до нескольких граммов вещества на литр в черноземах и каштановых почвах, в засоленных почвах минерализация резко повышается до десятков и даже сотен граммов на литр

# Реакция среды почвенных растворов

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

# Осмотическое давление почвенного раствора

С концентрацией и степенью диссоциации водорастворимых солей тесно связано осмотическое давление почвенного раствора. Оно наиболее высокое у засоленных почв. Если осмотическое давление равно или выше осмотического давления клеточного сока растений, то прекращается поступление воды в растения, и они погибают. Это является основной причиной бесплодия засоленных почв.

Существует выраженная динамика концентрации почвенных растворов (годовая, сезонная, суточная), связанная с изменением влажности и температуры.

# Агроэкологические функции почвенных растворов

1. Почвенные растворы играют ключевую роль в процессах почвообразования. Именно они являются центром взаимодействия твёрдой, жидкой и газообразной фаз. Г.И. Высоцкий сравнивал роль почвенных растворов с ролью крови в живых организмах.
2. Осуществляют вертикальные и латеральные транспортные потоки веществ и играют главную роль в элювиально-иллювиальных процессах.
3. Являются источником всех элементов питания. Недостаток или избыток тех или иных элементов приводит к снижению урожая и заболеваниям культурных растений. Существует ряд методов диагностики питания на основе анализа почвенного раствора, особенно для тепличных культур.
4. Создают условия для роста и развития растений: реакцию среды, осмотическое давление, окислительно-восстановительные условия и др.

# Окислительно- восстановительные процессы в почвах

Окислительно-восстановительные реакции протекают во всех почвах и являются одними из ведущих в процессах почвообразования. Большой вклад в изучение окислительно-восстановительных процессов почв внесли С.П. Ярков, И.П. Сердобольский, И.С. Кауричев, Д.С. Орлов, В. И. Савич и др.

Реакции окисления всегда сопровождаются реакциями восстановления и протекают сопряженно. **Окисление** рассматривается как присоединение **кислорода** к веществу, или потеря веществом водорода, или отдача электрона. Реакции **восстановления** – как присоединение **водорода** или электрона. Способность почвы вступать в окислительно-восстановительные реакции измеряется **окислительно-восстановительным потенциалом**.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) - разность потенциалов, возникающая между почвенным раствором и электродом из инертного металла (платины).

Измеряется ОВП при помощи потенциометра. ОВП по отношению к водороду обозначается символом  $E_h$ , измеряется в милливольтгах.

# Окислительные и восстановительные системы

Окисленные и восстановленные формы соединений образуют окислительно-восстановительные системы, представленные набором пар элементов с переменной валентностью:  $\text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+}$ ;  
 $\text{Mn}^{4+} - \text{Mn}^{3+} - \text{Mn}^{2+}$ ;  $\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^-$ ;  $\text{SO}_4^{2-} - \text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{H}_2 - 2\text{H}^+$   
и др., а также органическими системами.

Преобладающие в количественном отношении окисленные и восстановленные формы носят название **потенциалопределяющей системы**. От неё в основном зависит величина  $E_h$ .

# Окислители и восстановители

Основным **окислителем** в почве является молекулярный кислород почвенного воздуха и почвенного раствора. Основными **восстановителями** - продукты анаэробного распада органического вещества и жизнедеятельности микроорганизмов.

Микроорганизмы в процессе жизнедеятельности поглощают кислород почвенного воздуха и содержащийся в составе органических веществ и переводят минеральные соединения железа, марганца и др. в восстановленные формы. Поэтому большая часть окислительно-восстановительных реакций в почвах имеет биохимическую природу.

Главными условиями, определяющими интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов в почвах, является состояние увлажнения и аэрации почв, содержание кислорода в почвенном растворе, содержание легкоразлагаемого вещества и температура почвы.

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

Величина Eh зависит от pH раствора. Как правило, в кислой среде окисление идет при более высоких значениях Eh по сравнению со щелочными условиями. Для получения сравнимых данных в средах с различной величиной pH У. М. Кларк предложил использовать **показатель водородного потенциала** rH<sub>2</sub>:

$$rH_2 = (Eh/29) + 2pH$$

При rH<sub>2</sub> выше 27 преобладают окислительные процессы, при 22-25 - восстановительные и при rH<sub>2</sub> ниже 20 происходят интенсивные восстановительные процессы.

Для характеристики окислительно-восстановительных условий введены понятия **окислительно-восстановительной ёмкости** (максимальное количество окислителя (восстановителя), которое может быть связано почвой) и **окислительно-восстановительной буферности** (способность почв противостоять изменению ОВП).

Более высокой окислительно-восстановительной ёмкостью и буферностью обладают чернозёмные почвы (по сравнению с дерново-подзолистыми).

**Окислительно-восстановительный режим**

# Типы окислительно-восстановительного режима

И.С. Кауричев и Д.С. Орлов предложили выделять следующие типы окислительно-восстановительного режима:

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

# Агроэкологическое значение ОКИСЛИТЕЛЬНО- ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

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

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

**Регулирование** окислительно-восстановительных условий производится путём оптимизации водного и воздушного режимов мелиоративными и

# Водные свойства и водный режим почв

Большой вклад в разработку учения о почвенной влаге внесли А.А. Измаильский, Г.Н. Высоцкий, П.С. Коссович, А.Ф. Лебедев, А.Г. Дояренко, С.И. Долгов, Н.А. Качинский, А.А.Роде, И. И. Судницын, А.Д. Воронин, а также зарубежные ученые В. Гарднер, Т. Маршалл, С. Тейлор и др.

# Вода в почве

Один из важнейших факторов плодородия и урожайности растений.

В почвенных процессах, в создании агрономически важных свойств почвы она играет значительную и разностороннюю роль. Эта роль определяется особым положением воды в природе.

Вода - это особая физико-химическая весьма активная система, обеспечивающая перемещение веществ в пространстве. 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. Поскольку при испарении воды затрачивается огромное количество тепла, вода является и терморегулятором почвы и растений, предохраняя их от перегрева солнечной радиацией.

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

# Влажность почвы

Содержание влаги в процентах к массе абсолютно сухой почвы (высушенной при 105° С) характеризует **влажность почвы**. Ее можно также выразить в процентах объема почвы (в м<sup>3</sup>/га, мм или т/га).

Познание закономерностей поведения почвенной влаги, процессов водопотребления растениями, водных свойств и водного режима имеет большое значение для управления и оптимизации водного режима с целью получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

# Формы (категории) воды в почвах

Формы, или категории воды в почве - это части воды, которые обладают одинаковыми свойствами. А.А. Роде выделил пять форм воды: химически связанная, твердая, парообразная, сорбированная (физически связанная), свободная.

**Химически связанная** вода включает **конституционную**, которая представлена гидроксильной группой  $\text{OH}^-$  химических соединений (гидроксиды железа, алюминия, глинистые минералы и др.) и **кристаллизационную**, представленную целыми водными молекулами кристаллогидратов (например,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - гипс). Химически связанная вода входит в состав твёрдой фазы почв и не обладает свойствами воды. Она может выделяться из почв только при повышенных температурах – от  $100^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$  и выше. Растениям не доступна.

# Формы (категории) воды в почвах

**Твердая вода** - представлена в виде льда, который является потенциальным источником жидкой влаги, в том числе доступной для растений.

**Парообразная вода** содержится в порах в почвенном воздухе.

Относительная влажность почвенного воздуха близка к 100%. Она перемещается в порах при изменении температуры и вместе с током почвенного воздуха может конденсироваться и сорбироваться твердой фазой почвы. Конденсат может усваиваться растениями.

# Формы (категории) воды в почвах

**Сорбированная (физически связанная) вода** за счёт сорбционных сил подразделяется на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

**Прочносвязанная сорбированная** вода сорбируется почвой из воздуха.

При низкой относительной влажности воздуха (20-50%) сорбированная влага образует тонкую плёнку толщиной в 1-2 молекулы. Такая влага получила название **гигроскопическая**.

При влажности воздуха, близкой к 100%, сорбируется 3-4 слоя молекул воды. Эта влага называется **максимальная гигроскопическая (МГ)**.

# Формы (категории) воды в почвах

**Рыхлосвязанная сорбированная (пленочная)** вода представлена полимолекулярной плёнкой толщиной в несколько десятков или сотен диаметров молекул воды. Она удерживается молекулярными силами, менее прочно связана с твердой фазой почв и может частично передвигаться.

Верхний предел рыхлосвязанной воды характеризует максимальная молекулярная влагоёмкость (ММВ). В глинистых почвах она может достигать 25-30%, в песчаных - 5-7%. Она частично доступна для растений.

# Формы (категории) воды в почвах

**Свободная вода** — это вода, содержащаяся в почве сверхрыхлосвязанной. Она не связана силами притяжения с почвенными частицами.

Различают две формы свободной воды в почве: **капиллярную** и **гравитационную**.

# Формы (категории) воды в почвах

**Капиллярная вода** удерживается и передвигается в почве капиллярными (менисковыми) силами.

Менисковые силы начинают проявляться в порах с диаметром менее 8 мм, а наиболее сильно - с диаметром от 100 до 3 мкм.

Поры диаметром менее 3 мкм заполнены связанной водой. Капиллярная вода растворяет вещества, вместе с ней передвигаются соли и коллоиды.

Капиллярная вода является доступной и наиболее ценной для растений. Она подразделяется на **капиллярно-подвешенную, капиллярно-подпертую и капиллярно-посаженную.**

# Формы (категории) воды в почвах

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

Различают гравитационную воду просачивающуюся и влагу водоносных горизонтов. Последняя над водоупорным слоем образует почвенные и грунтовые воды, а также временный горизонт верховых вод.

# Влагоемкость и ее виды

Наибольшее количество воды, которое способна удерживать почва теми или иными силами, называется **влагоемкостью**. В зависимости от того, в какой форме находится удерживаемая почвой влага, различают полную, наименьшую, капиллярную и максимально-молекулярную влагоемкость.

**Полная (максимальная) влагоемкость** (ПВ), или водовместимость, — это количество влаги, удерживаемое почвой в состоянии полного насыщения, когда все поры (капиллярные и некапиллярные) заполнены водой.

# Влагоемкость и ее виды

**Наименьшая влагоемкость (НВ)** — это максимальное количество капиллярно-подвешенной влаги, которое способна длительное время удерживать почва после обильного ее увлажнения и свободного стекания воды при условии исключения испарения и капиллярного увлажнения за счет грунтовой воды.

Максимальное количество капиллярно-подпертой влаги, которое может содержаться в почве над уровнем грунтовых вод, называется **капиллярной влагоемкостью (КВ)**.

# Влагоемкость и ее виды

## Максимальная молекулярная влагоемкость

(ММВ) соответствует наибольшему содержанию рыхлосвязанной воды, удерживаемой сорбционными силами или силами молекулярного притяжения. При влажности, близкой к ММВ, растения обычно начинают устойчиво завядать, поэтому такую влажность называют **влажностью завядания** (ВЗ) или «мертвым», недоступным для растений запасом влаги в почве. Для разных растений, а также разных периодов их роста (проростки или зрелые растения) влажность завядания будет неодинакова. Особенно чувствительны к критическому состоянию влажности почвы

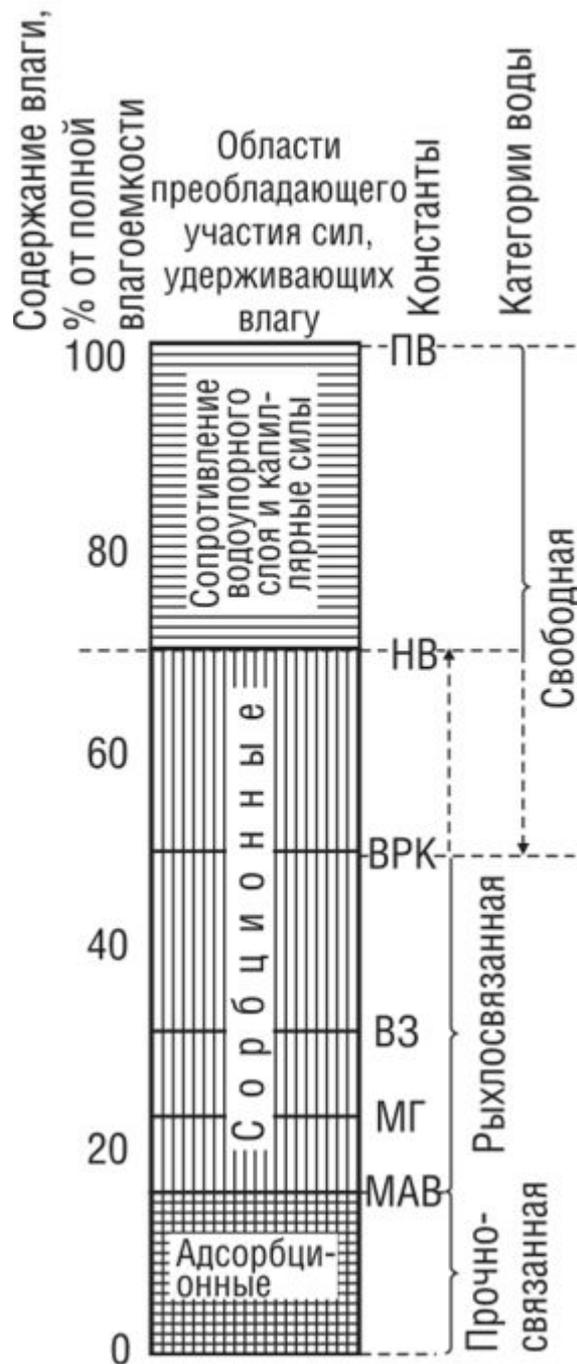
# Влагоемкость и ее виды

**Влажность разрыва капилляров (ВРК)** - характеризует запасы воды в почве, соответствующие разрыву сплошности капилляров, связанному с испарением и потреблением растениями. Эта влага теряет подвижность (не передвигается под действием капиллярных сил). Она является нижним пределом оптимальной влажности для растений. Для суглинистых и глинистых почв ВРК составляет 60-70% от НВ.

# Влагоемкость и ее виды

Предельное количество воды, которое может быть поглощено почвой из парообразного состояния при относительной влажности воздуха, близкой к 100%, называют **максимальной гигроскопической** (МГ) водой. При влажности почвы, равной МГ, толщина пленки из молекул воды достигает 3-4 слоев.

**Максимальная адсорбционная влагоемкость** (МAB) – наибольшее количество воды, которое может быть удержано сорбционными силами на поверхности почвенных частиц. Соответствует прочносвязанной (адсорбированной) воде, содержащейся в почве.



## Категории почвенной воды и почвенно-гидрологические константы (по А.А. Роде, 1965)

**Почвенно-гидрологические константы** - граничные значения влажности, при которых количественные изменения в подвижности воды переходят в качественные различия.

В агрономической практике наиболее широко используются следующие почвенно-гидрологические константы: МАВ, МГ, ВЗ, ВРК, НВ, ПВ, которые характеризуют доступность воды для растений в почвах с разными водными свойствами.

Почвенно-гидрологические константы используют для оптимизации влажности почв, в частности, при орошении.

# Водные свойства почв

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

**Водоудерживающая способность** — свойство почвы удерживать воду, обусловленное действием сорбционных и капиллярных сил.

**Водопроницаемость** - способность почв и грунтов впитывать и пропускать через себя воду, поступающую с поверхности. При поступлении воды в почву выделяют два этапа: впитывание (заполнение пор) и фильтрация, которые различаются по скорости и характеризуются соответствующими коэффициентами впитывания и фильтрации. Водопроницаемость зависит от гранулометрического состава, трещиноватости, структурного состояния, влажности и длительности увлажнения.

# Водные свойства почв

Н.А. Качинский предложил следующую **градацию водопроницаемости** почв (мм/час при напоре 5 см и температуре 10°C):

1000-500 - провальная, излишне высокая;

500-100 - наилучшая;

100-70 - хорошая;

70 – 30 - удовлетворительная;

менее 30 - неудовлетворительная.

**Водоподъёмная способность** - свойство почвы вызывать восходящее передвижение влаги в ней за счёт капиллярных сил. Она растёт от песчаных почв к суглинистым и иногда может снижаться к глинистым, тонкопористым, поскольку в последних очень много мелких пор (менее 1 мкм), которые заполнены неподвижной связанной водой. Высота капиллярного поднятия в песках составляет 0,5-1 м; в супесях- 1-2; в суглинках- 2-4; в тяжёлых суглинках и в глинах - до 6 м.

# Водный режим почв

**Водный режим** - это совокупность явлений поступления, передвижения, изменения физического состояния и расхода воды в почвах. Поступление воды в почву и ее расход характеризуется водным балансом.

**Статьи прихода воды** в почву: атмосферные осадки, грунтовые воды, конденсация из паров воды, поверхностный боковой приток, внутрипочвенный боковой приток.

**Статьи расхода воды** из почвы: испарение, транспирация (десукция), фильтрация (грунтовый сток), поверхностный сток, внутрипочвенный боковой сток. Все величины прихода и расхода воды выражаются в мм или в м<sup>3</sup>/га. Обычно рассчитывается годовой

# Типы водного режима

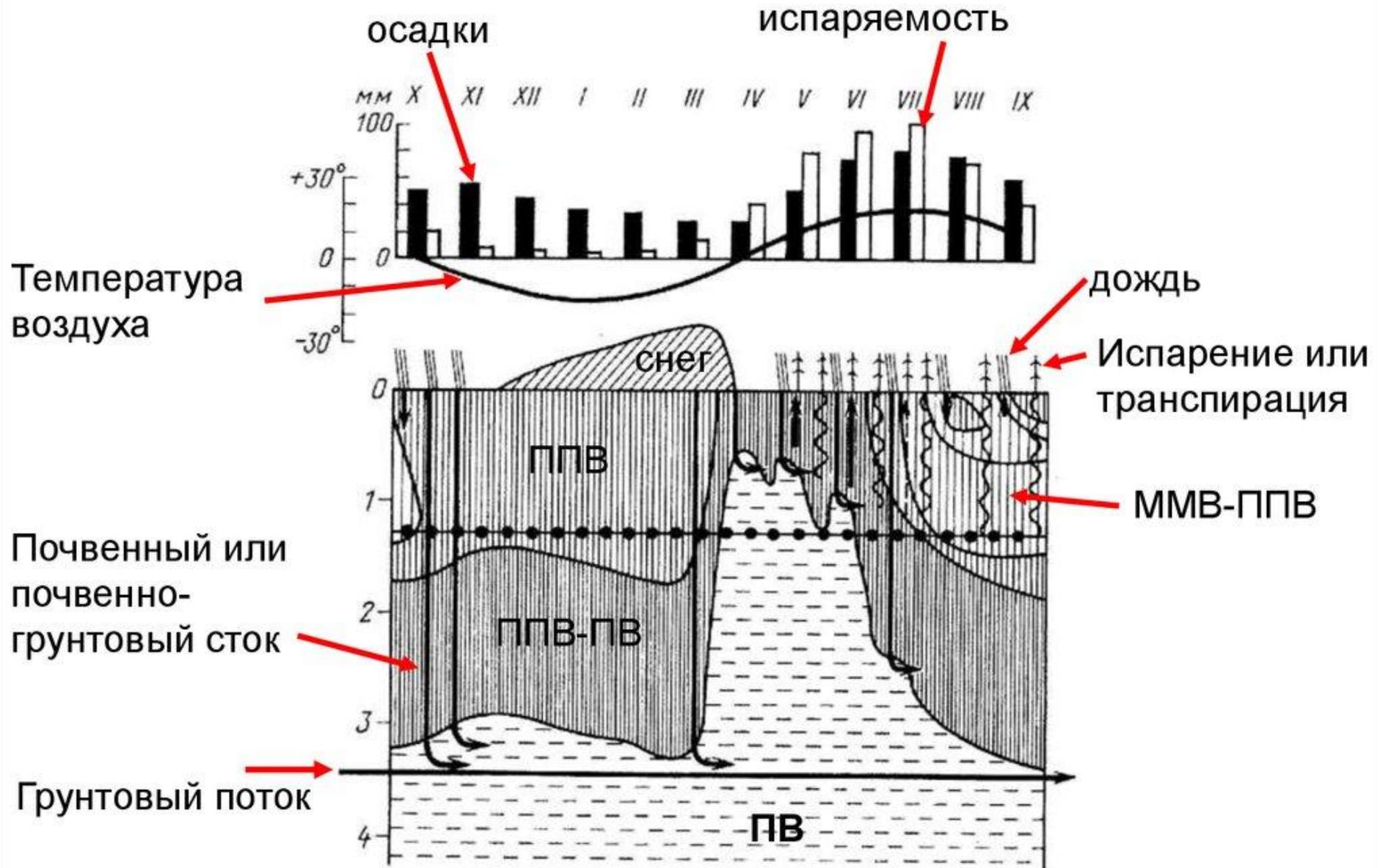
Формируются под воздействием основных статей водного баланса, ведущими из которых являются осадки и испаряемость. Отношение осадков к испаряемости характеризуется **коэффициентом увлажнения** (КУ), предложенным Г.Н. Высоцким и Н.Н. Ивановым.

Для различных природных условий 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

# Типы водного режима

- 1. Мерзлотный тип.** Распространен в условиях многолетней мерзлоты. Мерзлый слой грунта водонепроницаем, является водоупором, над которым проходит надмерзлотная верховодка, которая обуславливает насыщенность водой верхней части оттаявшей почвы в течение вегетационного периода.
- 2. Промывной тип** ( $KУ > 1$ ). Характерен для местностей, где сумма годовых осадков больше испаряемости. Весь профиль почвы ежегодно подвергается сквозному промачиванию до грунтовых вод и интенсивному выщелачиванию продуктов почвообразования. Под влиянием промывного типа водного режима формируются почвы подзолистого типа, красноземы и желтоземы. При близком к поверхности залегании грунтовых вод, слабой водопроницаемостью почв и почвообразующих пород формируется болотный подтип водного режима. Под его влиянием формируются болотные и подзолисто-болотные

# Промывной тип водного режима (по Роде, 1967)

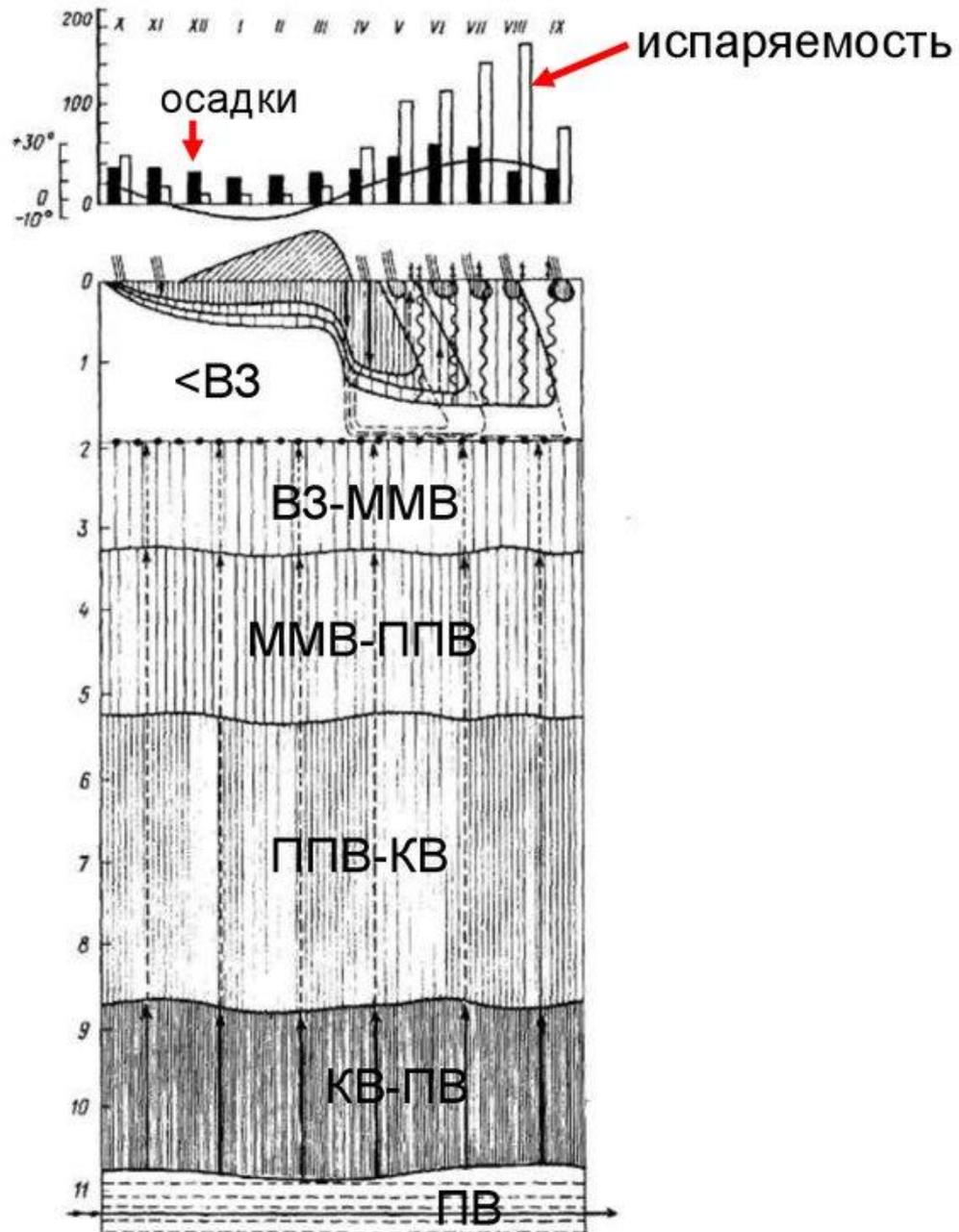


# Типы водного режима

**3. Периодически промывной тип** ( $KУ = 1$ , при колебаниях от 1,2 до 0,8). Этот тип водного режима отличается средней многолетней сбалансированностью осадков и испаряемости. Характерны чередование ограниченного промачивания почв и пород в сухие годы (непромывные условия) и сквозное промачивание (промывной режим) во влажные. Промывание почв избытком осадков происходит 1—2 раза в несколько лет. Присущ серым лесным почвам, черноземам оподзоленным и выщелоченным.

**4. Непромывной тип** ( $KУ < 1$ ). Характеризуется распределением влаги осадков преимущественно в верхних горизонтах и не достигает грунтовых вод. Связь между атмосферной и грунтовой водой осуществляется через слой с очень низкой влажностью, близкой к ВЗ. Обмен влагой происходит путем передвижения воды в форме пара. Характерен для степных почв — черноземов, каштановых, бурых полупустынных и серо-бурых пустынных почв.

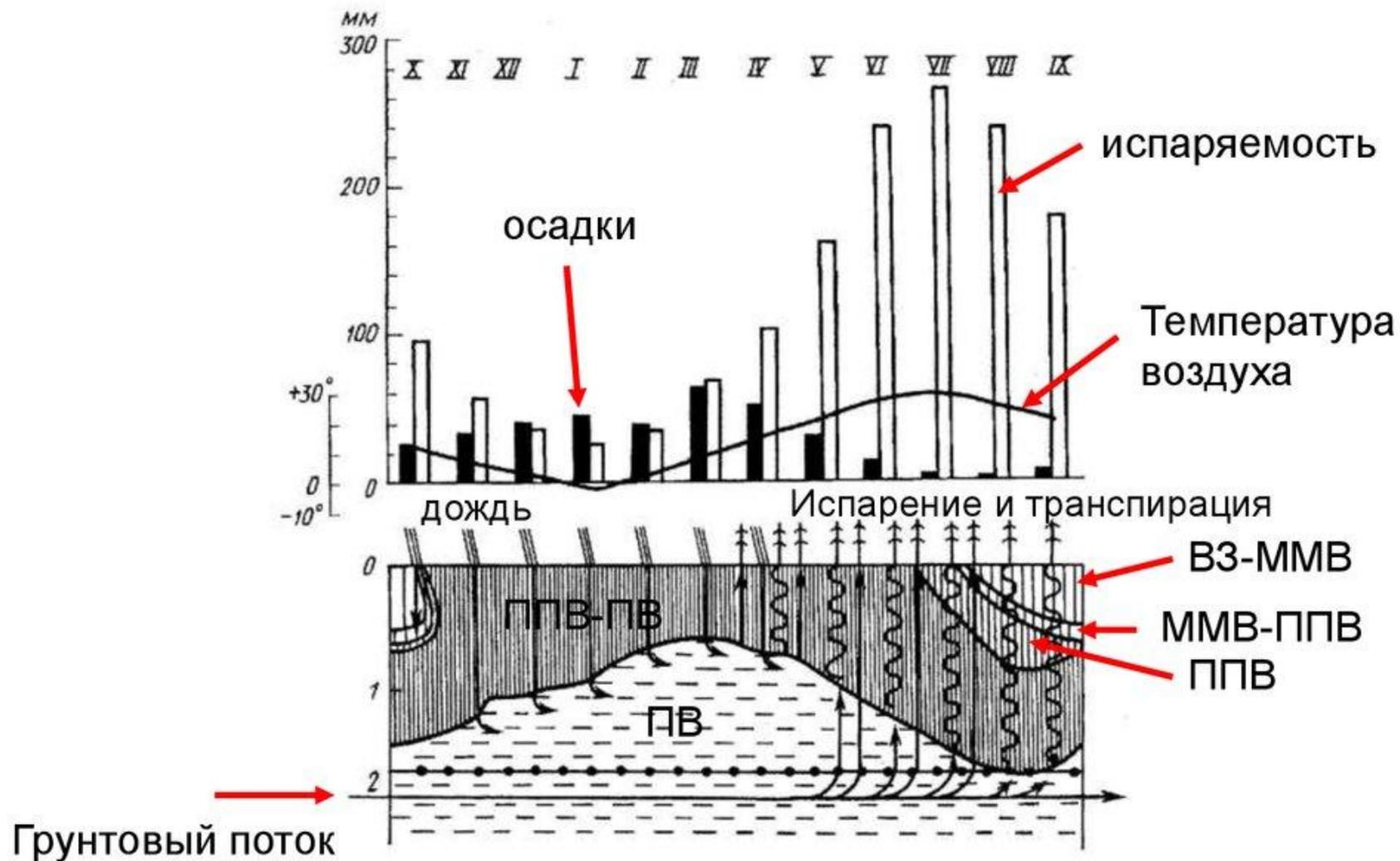
# Непромывной тип водного режима (по Роде, 1967)



# Типы водного режима

- 5. Выпотной тип** ( $KУ < 1$ ). 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.
- 6. Ирригационный тип.** Он создается при дополнительном увлажнении почвы оросительными водами. При правильном нормировании поливной воды и соблюдении оросительного режима водный режим почвы должен формироваться по непромывному типу с  $KУ$ , близким к единице.

# Выпотной тип водного режима (по Роде, 1967)



# Водные режимы

**Паводковый водный режим** характерен для речных пойм и дельт, где поверхность почвы ежегодно или раз в несколько лет подвергается затоплению паводковыми водами. Он распространен во всех природных зонах и сопровождается накоплением аллювиальных отложений. В межпаводковые периоды паводковый водный режим сменяется другим типом водного режима (промывной, непромывной, выпотной и др.), в зависимости от природной зоны и положения в рельефе.

**Амфибиальный режим** формируется при постоянном или длительном затоплении почв водой (морские и озерные мелководья, речные плавни и др.).

**Водозастойный водный режим** характерен для болотных почв атмосферного и грунтового увлажнения при плохом дренаже. В течение большей части года влажность почвы сохраняется в пределах полной влагоемкости и лишь в засушливые периоды несколько снижается.

# Водные режимы

**Периодически водозастойный режим** характерен для болотных почв грунтового увлажнения с ярко выраженными сезонными колебаниями уровня грунтовых вод. При этом влажность почв варьирует от полной влагоёмкости до уровня ниже наименьшей влагоёмкости.

**Осушительный водный режим** создаётся при искусственном осушении болотных и заболоченных почв. Он также может существенно различаться в зависимости от норм и типа осушения, глубины залегания грунтовых вод после осушения и водного режима природной зоны.

**Регулирование водного режима** осуществляется коренными мелиоративными мероприятиями (осушение, орошение, двустороннее регулирование влаги); лесомелиоративными и агротехническими (снегозадержание, глубокое рыхление, щелевание, введение черных паров и др.), направленными на сохранение и накопление влаги.

# Почвенный воздух и воздушный режим почв

Почвенный воздух находится в трех состояниях: свободном (в порах), адсорбированном (в твёрдой фазе), растворённом (в почвенном растворе).

Свободный почвенный воздух состоит из тех же газов, что и атмосферный, но отличается от него ярко выраженной динамикой содержания кислорода и углекислого газа. **Атмосферный воздух** содержит (% от объема): 78,1 - азота, 20,9 - кислорода, 0,03 - углекислого газа и около 1% благородных газов (аргон, гелий, ксенон и криптон).

В **почвенном воздухе** содержится меньше кислорода (10-20%), но больше углекислого газа (0,03-9%) по сравнению с атмосферным. Кроме того в почвенном воздухе постоянно присутствуют в небольших количествах аммиак, иногда закись азота, сероводород, метан. Хотя содержание азота считается довольно стабильным, имеются данные (В.А.Ковда, 1973) о возможности существенного увеличения азота в почвенном воздухе (до 82-86%). В пахотных, хорошо аэрируемых почвах содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе не превышает 1-2%, а  $\text{O}_2$  - не опускается ниже 18%. В условиях избытка влаги и затрудненного газообмена содержание  $\text{CO}_2$  повышается, а  $\text{O}_2$  - снижается до десятых долей процента.

# Почвенный воздух и воздушный режим почв

Почва постоянно в течение теплого сезона поглощает кислород и выделяет углекислый газ. Основными **потребителями кислорода** в почве являются корни растений, аэробные микроорганизмы, почвенная фауна, и незначительная часть его расходуется на чисто химические процессы.

**Источником кислорода** является атмосферный воздух, который поступает в почвенный воздух диффузно с осадками и оросительной водой. Кислород участвует в актах дыхания растений, и при его отсутствии растения погибают. Кроме того, при недостатке кислорода в почве развиваются анаэробные процессы, в том числе глеевый, которые резко ухудшают агрономические свойства почв, рост и развитие растений. Оптимальное содержание кислорода в почвенном воздухе 19-20%.

# Почвенный воздух и воздушный режим почв

Основным **источником углекислоты** в почвах является органическое вещество (растительные и животные остатки, органические удобрения, частично гумус), которое разлагается и окисляется микроорганизмами. Значительное количество углекислоты, около одной трети, по оценке В.А. Ковды, в почве выделяется корнями растений. Небольшие количества  $\text{CO}_2$  могут поступать в почву из грунтовых вод, в результате десорбции из твердой и жидкой фазы и при разложении карбонатов. Средняя концентрация углекислого газа в воздухе, равная 0,03%, недостаточна для потенциально возможного урожая сельскохозяйственных культур.

Искусственное повышение концентрации углекислоты в приземном воздухе повышает урожай растительной массы на 30-100%. Оптимальное содержание углекислоты в почвенном воздухе составляет от десятых долей процента до 1-2%, повышенные концентрации (более 2-3%) угнетают развитие

# Почвенный воздух и воздушный режим почв

Выделение углекислоты из почвы в приземный слой атмосферы называется **дыханием почвы**. Количество выделяющейся углекислоты зависит от содержания и ежегодного поступления в почву свежих органических веществ, в том числе органических удобрений, и составляет в почвах зонального ряда 1-10 т/га в год в пересчете на углерод (И.Н. Шарков, 1998; С.М. Надежкин, 1999).

Между почвенным и атмосферным воздухом происходит постоянный **газообмен**. Имеются сведения, что более 90% углекислоты воздуха имеет почвенное происхождение. Глобальная роль почвенного покрова заключается в регулировании состава атмосферного воздуха.

Газообмен, или аэрация осуществляется через воздухоносные поры почвы (порозность аэрации). К **факторам газообмена** относятся: диффузия, изменение влажности, изменение температуры и атмосферного давления.

**Диффузия** - перемещение газов в соответствии с парциальным давлением, которое определяется их концентрацией. Поскольку в почвенном воздухе более высокая концентрация  $\text{CO}_2$  и ниже по сравнению с атмосферным воздухом -  $\text{O}_2$ , диффузия определяет основные потоки этих газов -  $\text{O}_2$  в

# Почвенный воздух и воздушный режим почв

**Изменение влажности почвы** приводит к поглощению влаги воздуха при высыхании и его вытеснению в атмосферу при увлажнении.

**Изменение температуры и атмосферного давления** также вызывают обмен между почвенным и атмосферным воздухом из-за градиентов давлений и процессов расширения-сжатия при нагревании и охлаждении.

**Воздухопроницаемость** - способность почвы пропускать через себя воздух. Она измеряется количеством воздуха в мл, прошедшим под определенным давлением через 1 см<sup>2</sup> при толщине слоя в 1 см. Зависит от гранулометрического состава, структуры и влажности почвы.

**Воздухоемкость** - содержание воздуха в почве в объемных процентах. Зависит от влажности и порозности почв. Различают капиллярную и некапиллярную воздухоемкость, которые соответствуют понятиям капиллярной и некапиллярной порозности. Хорошую аэрацию почв обуславливают некапиллярные поры, которые, как правило, не заняты водой. Оптимальные условия для газообмена между почвенным и

# Воздушный режим почв и его регулирование

**Воздушный режим** - это совокупность всех явлений поступления, передвижения, изменения состава и физического состояния воздуха при взаимодействии с твердой, жидкой и живой фазами почвы, а также газообмен почвенного воздуха с атмосферным.

Воздушный режим подвержен суточной, сезонной (годовой) и многолетней **динамике**. Наиболее благоприятный воздушный режим складывается в структурных почвах, обладающих рыхлым сложением и хорошим газообменом. Суточная динамика  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  распространяется до глубины 30-50 см в соответствии с колебаниями температуры.

Обновление состава почвенного воздуха в пахотном слое может происходить в течение суток полностью несколько раз.

# Воздушный режим почв и его регулирование

Максимальное содержание  $\text{CO}_2$  и минимальное  $\text{O}_2$  приходится, как правило, на летний период, а осенью и зимой почва освобождается от накопленного углекислого газа. В почвах нормального увлажнения в нижней части почвенного профиля больше содержится  $\text{CO}_2$  и меньше  $\text{O}_2$ , а в почвах в затрудненном газообменом  $\text{CO}_2$  скапливается в верхней и средней части профиля.

**Регулирование воздушного режима** проводят с

**Спасибо за внимание!**