

Вспомним самое основное  
о почвенной влаге

# Количественное выражения содержания влаги в почве

$W$  – весовая или массовая влажность почв (г/г или % к весу).

$$W = \frac{m_w}{m_s} \quad \text{или} \quad W = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}}$$

$m_w$  – масса воды,

$m_s$  – масса твердой фазы,

$m_{вл}$  – масса влажной почвы,

$m_{сух}$  – масса сухой почвы (равная  $m_s$ ),

Влажность почвы – количество воды, приходящееся на единицу веса **абсолютно сухой почвы**, г/г или % к весу.

(ВАЖНО - именно на абсолютно сухую навеску).

Объемная влажность - объем воды в единице объема почвы  $\theta = V_B / V_{\Pi}$   
(см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> или % к объему).

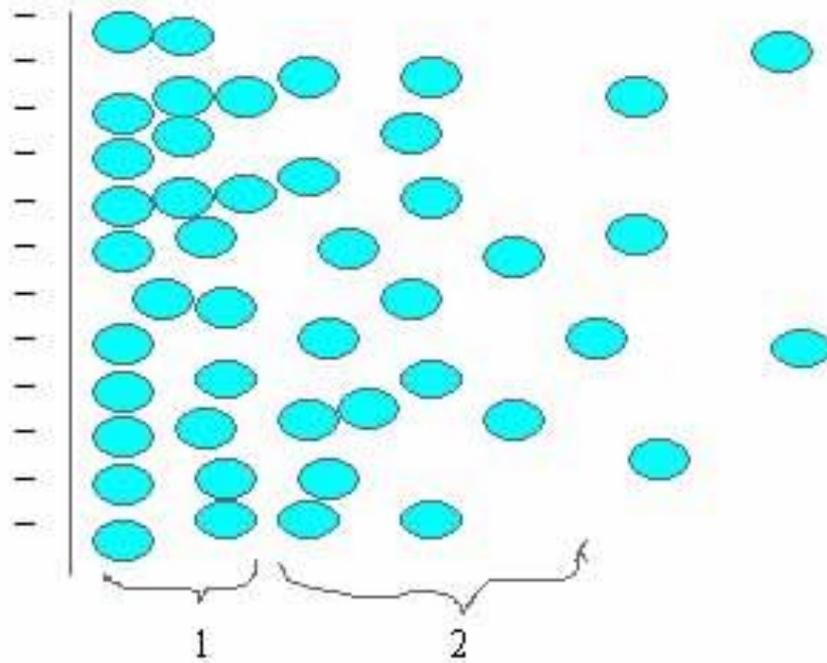
- **Но !**

важно знать не только содержание влаги в почве, но и ее состояние.

- **А именно**

степень ее доступности для растений или, наоборот, связанности с твердой фазой почвы.

# Изменение состояния (степени связанности) влаги по мере удаления от поверхности твердой фазы почвы



- 1. Адсорбированная влага**  
(прочносвязанная)
- 2. Пленочная влага**  
(рыхлосвязанная)
- 3. Пленочно-капиллярная влага**
- 4. Капиллярная влага**
- 5. Гравитационная влага**

*абсолютно-сухая  
почва*

*увеличение влажности*

*все поры заполнены водой  
(водовместимость)*

уменьшение степени связи воды с твердой фазой почвы

прочносвязанная

неподвижная

слабоподвижная

подвижная свободная

## Состояние влаги в почве характеризуют почвенно-гидрологические константы

**Полная влагоемкость (ПВ)** – или водовместимость,

все поровое пространство заполнено водой, теоретически равна порозности.

**Капиллярная влагоемкость** - над уровнем грунтовых вод располагается верховодка, где влага содержится в капиллярах, которые в нижней своей части находятся в грунтовой воде - «капиллярно-подпертая вода».

**Наименьшая влагоемкость (НВ)** - влага, удерживаемая только капиллярными силами.

Грунтовые воды опустились, а влага из почвы свободно стекает под действием гравитационных сил.

**Воздухоемкость** - воздуходержание при влажности НВ.

Оптимальные диапазоны воздухоемкости для различных по почв:

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

**Влажности разрыва капиллярной связи (ВРК)**, ниже которой подвижность влаги влажности резко уменьшается, влага удерживается молекулярными силами, слабоподвижная

**Влажность завядания (ВЗ)** - растения приобретают признаки устойчивого завядания.

# Важные для растений диапазоны почвенной влаги

**(ПВ–НВ)** – *диапазон подвижной влаги.*

*- водоотдача*

**(НВ–ВЗ)** – *диапазон доступной (продуктивной) влаги.*

пески - 6-8 %

суглинистые -12-17 %

**(НВ–ВРК)** – *диапазон легкоподвижной, легкодоступной для растений влаги.*

100% НВ – 70 % НВ

# Движение влаги в насыщенной почве - фильтрация

Диапазоны средних значений коэффициента фильтрации для различных по гранулометрическому составу почв

Почвенные объекты	Диапазон $K_f$ , см/сут
Песчаные почвы	300-800
Суглинистые	60-100
Глины	10-50

## Класс коэффициента фильтрации

Класс коэффициента фильтрации	Наименование	Значение (см/сут)
I	Очень низкий	<15
II	Низкий	15-25
III	Пониженный	25-45
IV	Средний	45-110
V	Средне-высокий	110-230
VI	Высокий	230-550
VII	Очень высокий	>550

Продолжим тему о почвенной влаге и ее роли  
в жизни растений.

И вместе с этим рассмотрим вопросы  
аэрации (содержания воздуха) почв.

# Влага в основных процессах жизнедеятельности растений

- **Фотосинтез** –биологический процесс формирования органических веществ из углекислого газа атмосферы и воды под действием солнечной энергии в хлоропластах зеленых растений.
- **Дыхание** (процесс формально противоположный фотосинтезу), заключается в потреблении кислорода, выделении углекислого газа и воды и образовании энергии, необходимой для жизнедеятельности растений
- **Транспирация** ( $Tr$ , см/сут) – испарение растениями в атмосферу парообразной влаги

2 основных процесса в растениях  
- **фотосинтез и транспирация** -  
тесно взаимосвязаны:

- наступает недостаток почвенной влаги →
- надо снижать **транспирацию** (поток воды через устьица) →
  - прикрываются устьица →
  - вместе с этим снижается поступления  $\text{CO}_2$  в лист →
  - снижается **фотосинтез** (продукционный процесс).

# *Как контролировать влагообеспеченность растений?*

Основной показатель влагообеспеченности растений - **транспирация** – испарение растениями в атмосферу парообразной влаги в процессе жизнедеятельности

Измеряется **количество влаги**, выделяемое определенной **массой** или **площадью** листьев (1 г или 1 см<sup>2</sup>) сырых (или сухих) в **единицу времени**, см/сут или  $\text{гН}_2\text{О}/\text{г}_{\text{сух.в-ва}} \text{сут}$

При этом для фотосинтеза (т.е. продукционного процесса) растению необходимо **всего лишь от 2 до 10%** общей потребляемой влаги (!).

Для сравнения различных видов растений по их потребности во влаге используют **транспирационный коэффициент** – количество влаги, расходуемое растением для формирования **1 г зеленой массы**.

Он отражает **эффективность** использования влаги растением, способность экономно потреблять влагу при формировании зеленой биомассы.

Сорго – 271, Кукуруза - 372, Пшеница - 505, Сахарная свекла - 601

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ  
ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ  
ДОСТАТОЧНОГО (зона смешанных  
лесов Европейской части СССР)  
И НЕДОСТАТОЧНОГО (степная зона)  
УВЛАЖНЕНИЯ (по Л. А. Иванову и др.)**

Древесные породы	Интенсивность транс- пирации (г воды/г сырой массы в 1 ч)	
	при дос- таточном увлажне- нии	при недос- таточном увлажне- нии
Ель европейская . . .	146	48
Сосна обыкновенная	141	76
Берёза повислая . . .	433	166
Дуб черешчатый . . .	374	160
Клён остролистный . .	326	104
Ясень обыкновенный	502	155

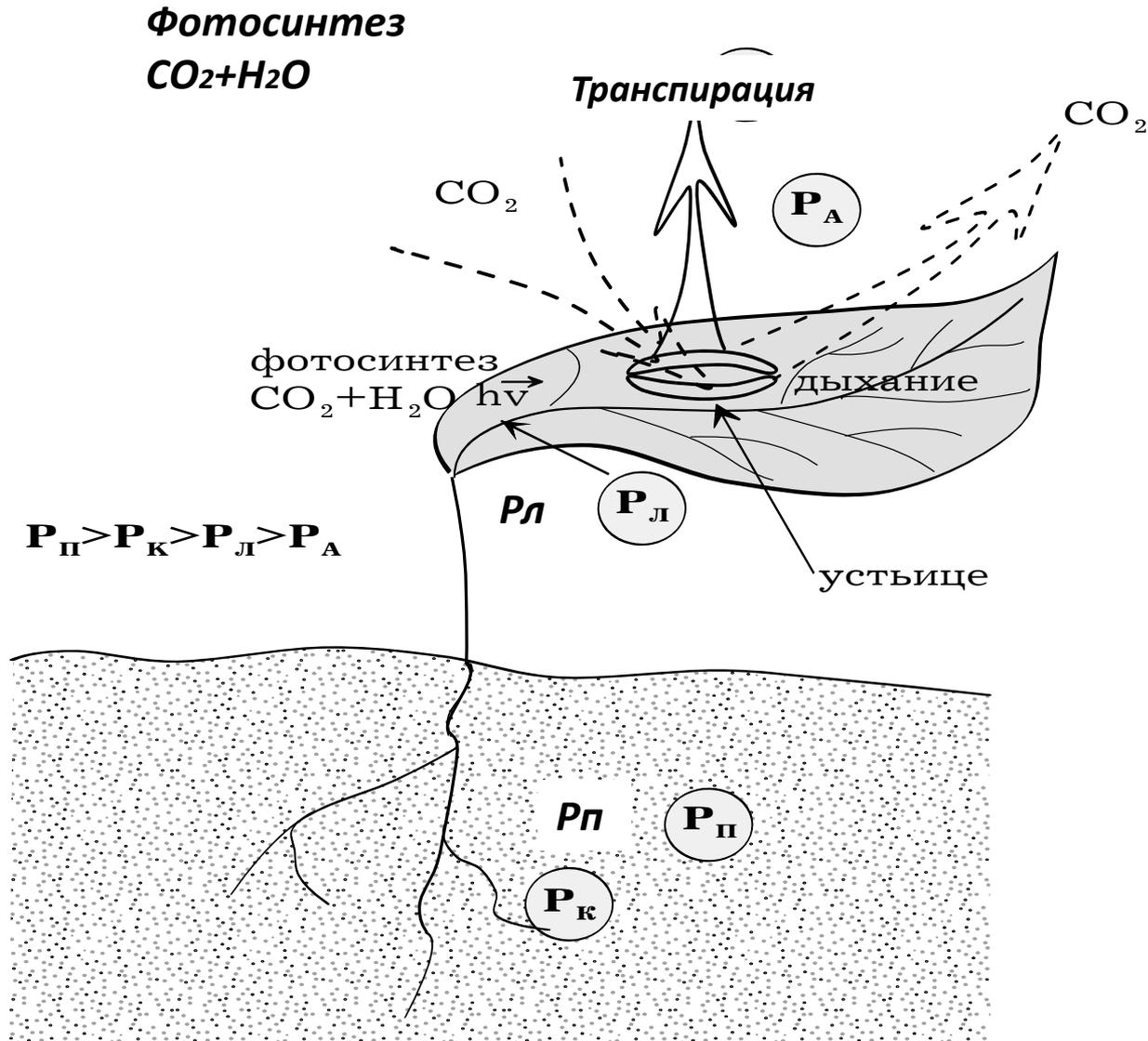
# Транспирационная трапеция.

Оптимальный диапазон содержания влаги (от  $HВ$  до  $70\%$  от  $HВ$ )

и критическая влажность в почве



# Термодинамический подход к движению влаги в системе «почва-растение-атмосфера»



## Основные выводы

- Поток влаги через растение (транспирация,  $Tr$ ) возможен лишь при условии, что соблюдается неравенство  $P_n > P_k > P_l > P_a$ , т.е. из точки с высоким давлением в низкое.
- Относительная транспирация ( $Tr/Tr_0$ ), является показателем влагообеспеченности растений.  
Ее зависимость от влажности (или давления влаги) в почве - «транспирационная трапеция» - имеет две «критические» точки:
  - давление входа воздуха в поровое пространство как показатель аэрации почвы ( $P_b$ ),
  - «критическая» влажность, ниже которой влаги недостаточно, и растение снижает транспирацию ( $P_{kr}$ ).
- Область давлений влаги от  $P_b$  до  $P_{kr}$  – область оптимального водного питания

# Зависимость критической влажности от различных факторов

**Почва** - поровое пространство и гранулометрический состав определяют скорость подтока влаги к корням. Ведь именно они отвечают за формирование структуры

## **Погодные условия**

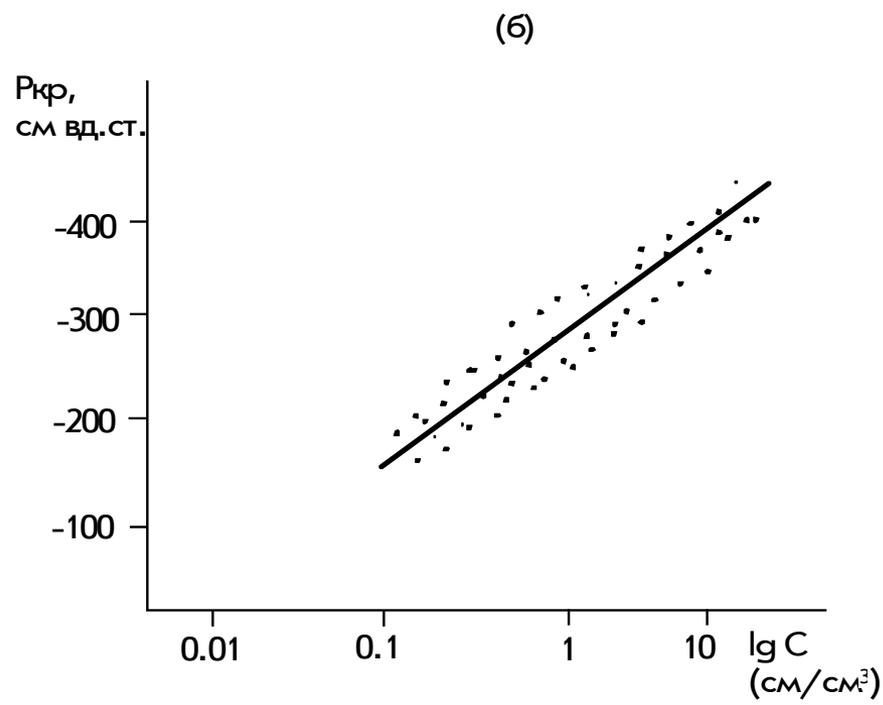
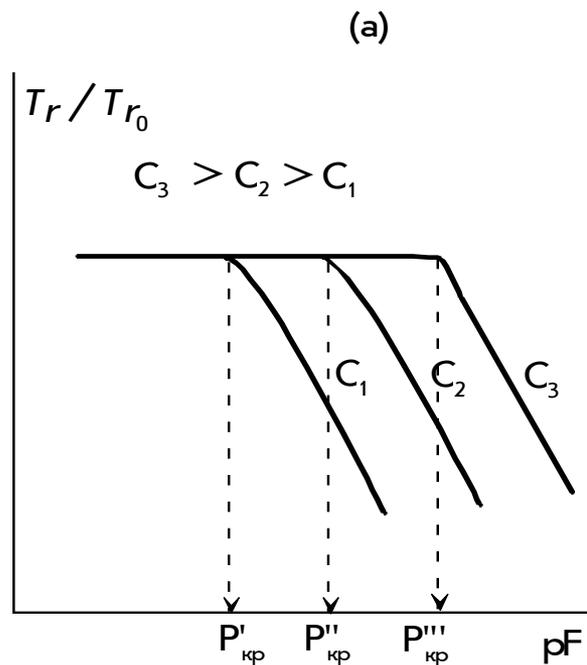
При суховеях наблюдается завядание растений при полном достатке воды в почве - так называемая «атмосферная засуха».

Причина: при резком увеличении сухости воздуха высокая транспирация, и растения не «успевают» прикрыть устьица и восстановить поток от почвы к листьям - «инерционность» растений по сравнению с изменением метеоусловий

## Биологические факторы

Из биологических факторов остановимся лишь на **концентрации корней**.

- (а) При увеличении концентрации корней «критическая влажность» увеличивается, т.е. растений с более развитой корневой системой охватывают большой ареал водного питания (имеют широкий диапазон оптимума на транспирационной трапеции).
- (б) Зависимость от концентрации корней близка к степенной, а в полулогарифмических координатах близка к линейной.



## **Агротехнологические факторы управления водообеспеченностью растений**

**Дата посадки** - фактор важен, особенно в условиях дефицита влаги. Незасухоустойчивые виды успевают развить биомассу, чтобы завершить свой цикл формирования урожая.

Необходимо, чтобы почвенная засуха не совпала с периодом интенсивного роста растений, увеличения биомассы.

**Способ посадки.** Цель – найти оптимальное размещение растений в рядках и расстояние между рядками, чтобы растения в наибольшей мере использовали солнечную радиацию.

Необходимо создать архитектуру листового покрова, чтобы с наибольшей эффективностью использовать солнечную радиацию.

**Борьба с сорняками** - они потребляют влагу, оптимальное внесение пестицидов и пр..

**Обработка почвы** - снижаются непродуктивные потери в виде испарения с поверхности почвы, создается слой агрегатов - преграда для подтока влаги к поверхности.

**Удобрения:**

- а) увеличение роста корней (прежде всего, фосфатные удобрения),
- б) увеличение вегетативной массы и лучшее использование солнечной энергии,
- в) ускорение циклов развития, особенно важно для засушливых регионов и, конечно.

**Мульчирование поверхности** – важный аспект снижения непродуктивных потерь в виде испарения.

Другие положительные воздействия мульчи: увеличение водопроницаемости, а, следовательно, увеличении почвенных влагозапасов, снижении поверхностного стока.

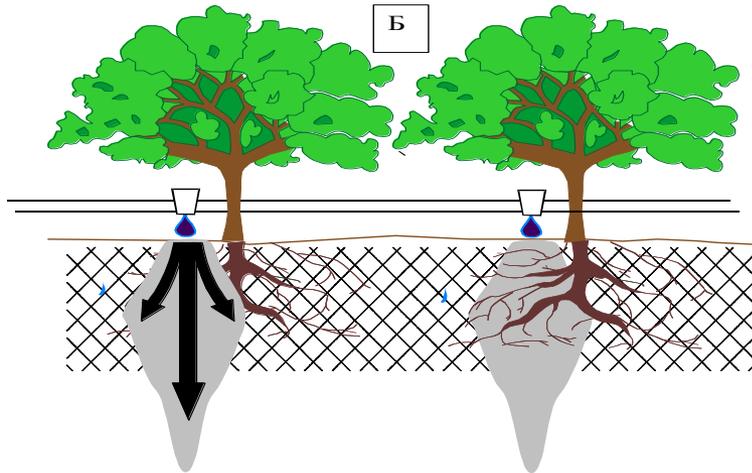
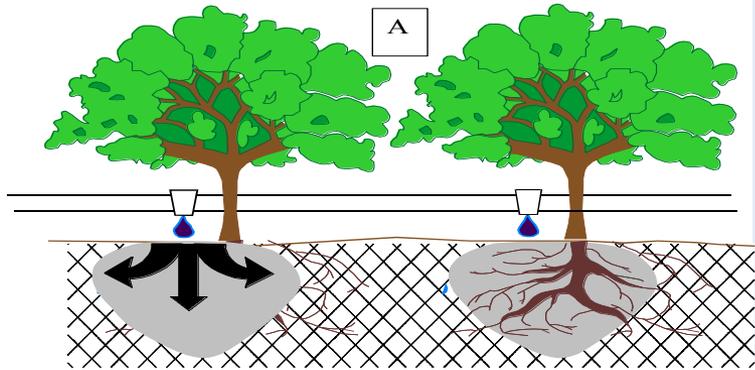
Это может стать доминирующим фактором, например, в тропических странах при осадках ливневого типа.

# Регулирование влагообеспеченности растений



Орошение

Способов полива очень много:  
дождевание, струйчатое, капельное, подкороновое и др.



**Главное** – знать, когда и сколько поливать?

Не допустить:

- недостаточной нормы и
- избыточной, когда

Для этого надо знать поливную норму, рассчитывать или иметь соответствующие приборы (тензиометры, влагомеры).

# Полив

## Цель полива:

- Поддерживать оптимальную влажность корнеобитаемого слоя

При этом:

- не допустить переувлажнения
- не допустить непродуктивных потерь влаги

Верхний предел оптимального увлажнения –  
влажность наименьшей влагоемкости (НВ)

Нижним пределом (начало пролива) принята величина **70%**  
от НВ.

## **Необходимость полива определяется:**

**Инструментально** – определение влажности  
(термовесовое, влагомеры)

или давления почвенной влаги (тензиометры)

**Визуально:**

- на супесчаных почвах - когда свежий почвенный образец не формируется в шарик уплотнением рук (даже если почва кажется влажной),.
- на легких суглинках - если шарик формируется, но он непрочный и при легком нажиме распадается.
- на тяжелых почвах - если шарик распадается при надавливании на него.

# Поливная норма связана

1. со свойствами почвы –  
индивидуальна для каждой почвы
2. с физиологическими особенностями растения:  
ее потребностями, глубиной корнеобитаемого слоя

Пример:

плодовые деревья - 0,8 -1 м

многолетние травы - 0,5-0,9 м.

3. со способом полива – дождевание, капельное и др.

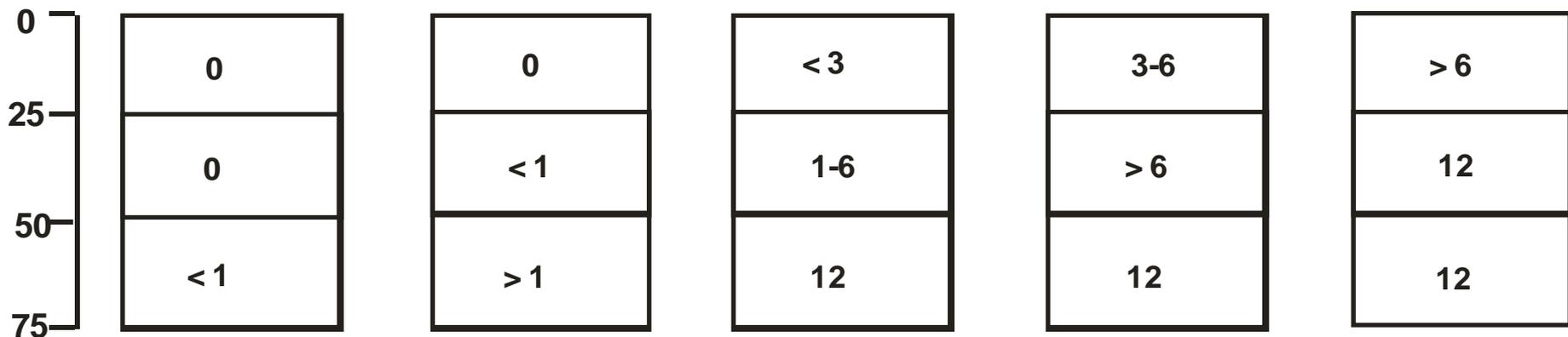
# Основы «правильного» орошения

- 1) контроль качества поливной воды.
- 2) полив при минимальной разнице температур почвы, воздуха, поливной воды
- 3) сохранение оптимального содержания гумуса, как структурообразующей основы (регулярное внесение органоминеральных удобрений, применение посева трав).
- 4) в засушливой зоне и для песчаных почв обработка без оборота пласта или на небольшую глубину (10-15 см).
- 5) мульчирование поверхности почвы для уменьшения испарения, улучшения водно-физических свойств почвы, увеличения коэффициента фильтрации, уменьшения эрозии и промерзания почв.
- 6) соблюдение нормы полива, не допускать переполив.

**Дренаж (осушение)  
переувлажненных почв**



*Водные режимы почв: среднегодовой период переувлажнения, мес*





**Торфяная почва.**

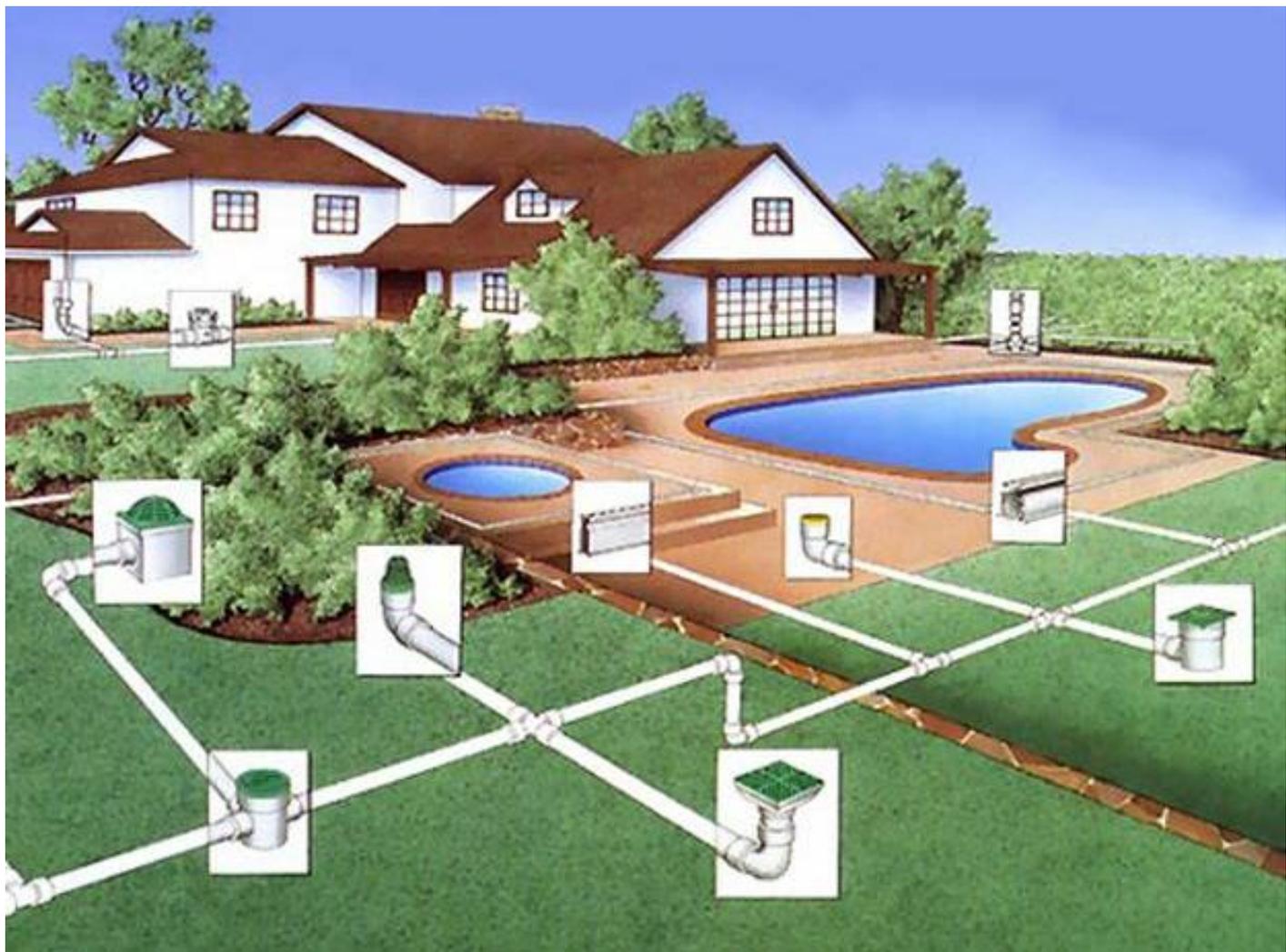


**Неоднородная окраска почвенного профиля, обусловленная сменой режимов застоя влаги и поступления кислорода (железистые пятна и оглеение в средней части профиля)**



Заболоченная почва, влажность в подвале и доме, постепенно размывающийся фундамент — это признаки высоких грунтовых вод. Решение этих проблем — дренажная система.





Дренажная система: дрены с уклоном, сбор дренажной воды в коллекторы, сброс воды в водоприемник (река, озеро и пр.).

**Итог:**

что определяет оптимизацию условий увлажнения или дренирования почвы?

**Главнейшие факторы –  
физические свойства почвы, а именно,  
гранулометрический состав,  
плотность и  
содержание органического вещества.**

# Аэрация почвы

## Почва – среда обитания живых организмов

- Почвенные микроорганизмы
- Различные насекомые, черви, простейшие
- Корни растений



**дыхание**

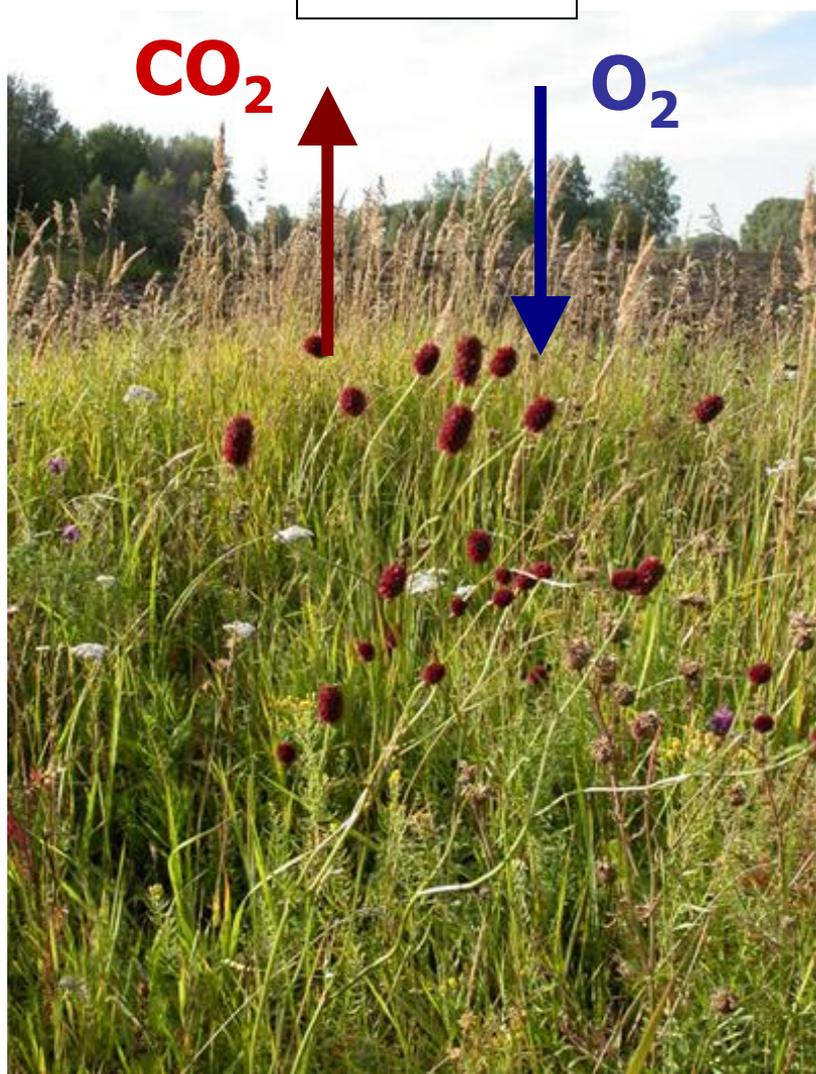
## Почвенный воздух

- поставляет кислород к корням растений,
- содержит кислород в своем составе окисляет и разлагает органические и минеральные вещества в почве
- подвижен, выводит излишки углекислого газа в атмосферу



# Потребности растений в аэрации почвы

**важно!**



*При недостатке кислорода в почвенном воздухе:*

- корни растений не погибают, а теряют в весе, и перестают расти;
- в почве активизируются патогенные, болезнетворные микроорганизмы.

*При долгом недостатке кислорода* происходит потеря структуры почв, иногда невозможна.

*При избытке влаги:*

- развиваются патогенные грибы, образуется корневая гниль
- железо и марганец переходят в раствор и становятся токсичными для растений и микроорганизмов.
- подавление жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и животных.

*При повышении температуры почвы* корням растений требуется больше кислорода.

Атмосферный воздух: 21% - кислород; 0,03% - углекислый газ

### **Газовый состав почвенного воздуха**

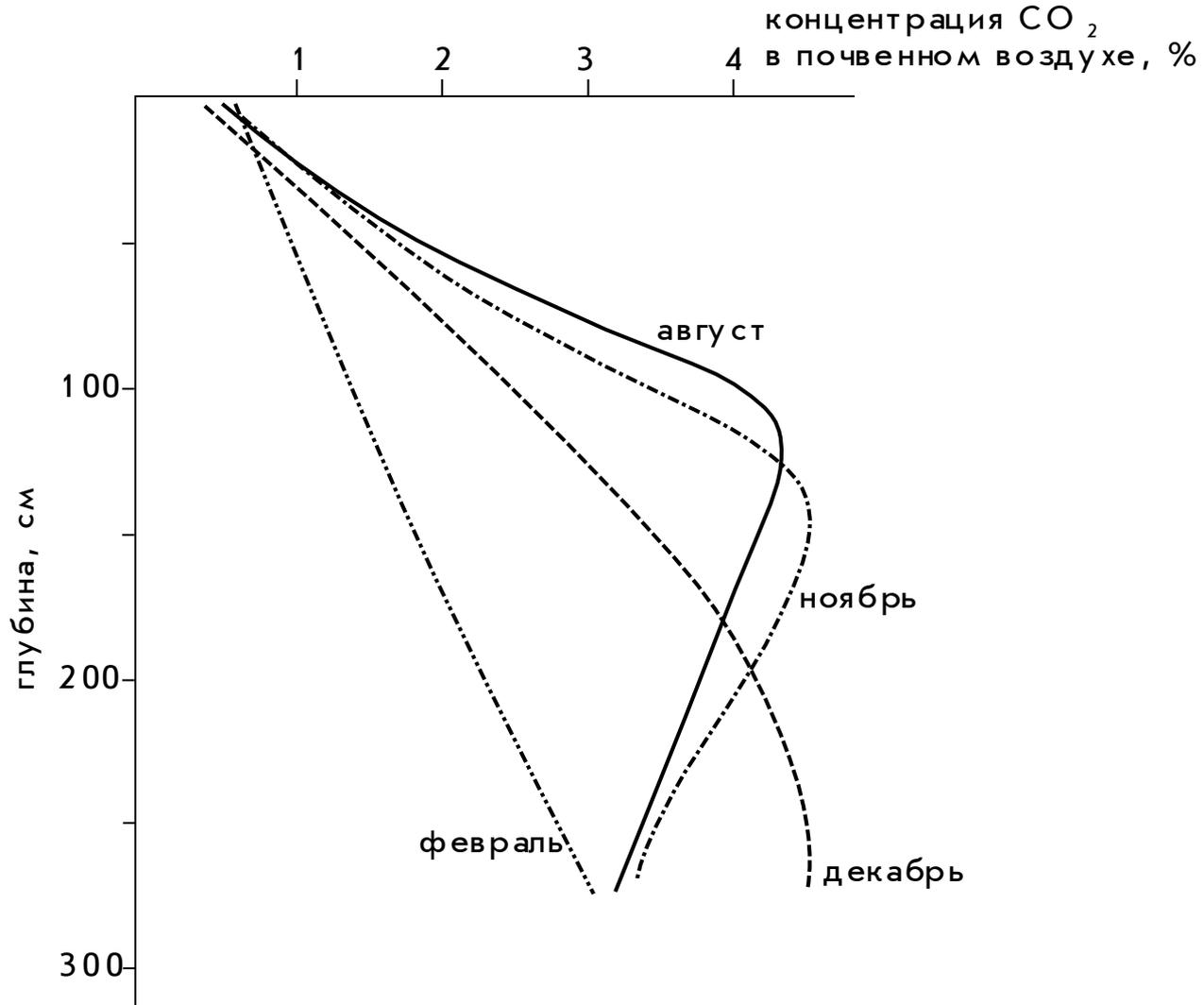
21% - 0,05% кислород; 0,03 - 20% (!) – углекислый газ

В почве за счет дыхания корней, за счет химических процессов содержание  $\text{CO}_2$  увеличивается даже в поверхностных слоях до **1.3%**.

В более глубоких слоях почвы, из-за физического «стекания» более тяжелого углекислого газа, его концентрация повышается до 10%.

Если воздухоносная порозность почвы снижается, то содержание  $\text{CO}_2$  в этом ограниченном объеме порового пространства будет повышаться.

# «Стекание» CO<sub>2</sub> в нижние слои почвы



**Корень** является активной частью растения → для поглощения веществ необходима энергия → необходим кислород → корни «дышат».

Рост корней существенно замедляется при снижении содержания **кислорода** в почвенном воздухе менее **15 объемных %**.

Некоторые растения (например, рис) имеют специализированные клетки, формирующие ткань, - **аэренхиму**, сохраняющую воздух и способствующую нормальному росту корней в период затопления.

## **Дыхательные корни - ПНЕВМАТОФОРЫ**



*Незначительное улучшение качества, состава почвенного воздуха ведет к значительному улучшению состояния растений, лучшему усвоению питательных элементов.*

## **Агротехнические приемы улучшения аэрации почв**

- 1) *Вспашка /культивация*
- 2) *Разрушение корки* (вспашка и мульчирование соломой, компостом, торфяной крошкой, песком и др., особенно в случае неводоустойчивой структуры).
- 3) *Не допускать переполив*, следить за тем, чтобы не происходило застоя влаги на поверхности почвы.
- 4) *Не допускать переуплотнение* почвы, по возможности минимизировать проход техники по участку, особенно по влажной почве