

Поступление воды

1. Корень как орган поглощения воды:

- функциональная организация корневой системы;
- особенности анатомического строения корня.

2. Механизм поступления воды в корень. Почва как среда водоснабжения растений.

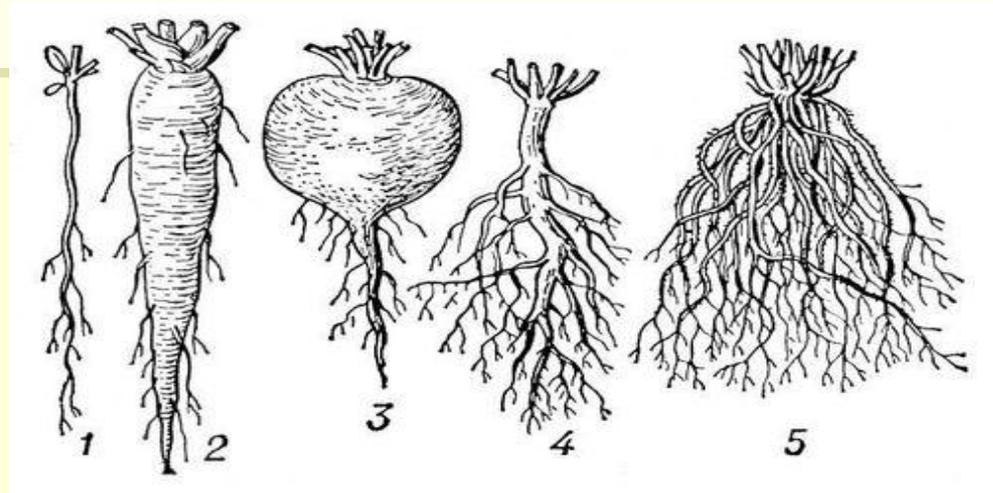
3. Влияние условий на поступление воды.

Поступление воды

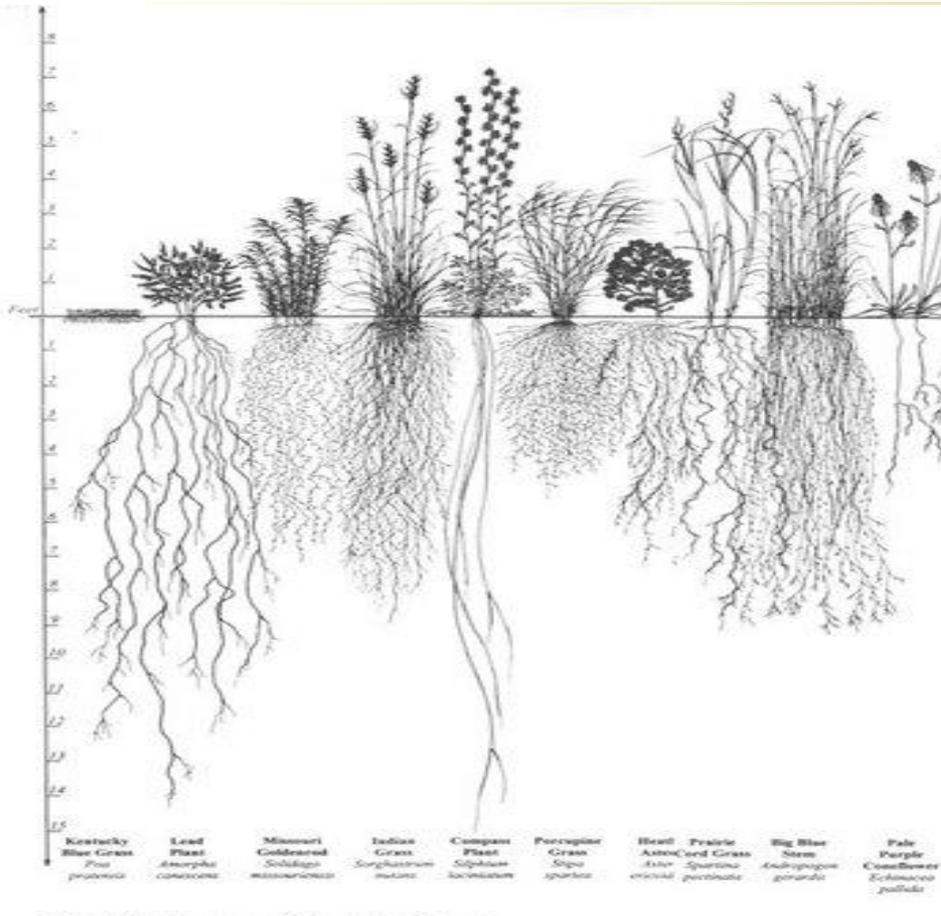


Наземные растения в основном поглощают воду из почвы.

Однако некоторое количество воды может поглощаться из атмосферы.



Размеры корневой системы характеризуются глубиной проникновения и ветвлением



Растение	Глубина проникновения корней, м
Одуванчик	0,3
Вьюнок полевой	1,0
Бобы конские	1,7
Ячмень, овес	2,6
Лесные деревья	5-10
Виноград	12-16
Пустынные растения	10-20

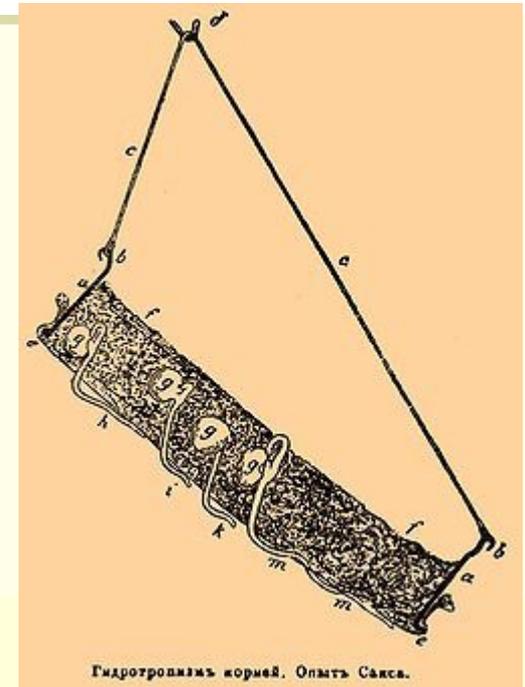
Плотность корней древесных и травянистых растений в пахотном слое составляет 0,3-5 см/см³ почвы, а для успешного азотного питания необходимо 0,1-1 см/см³

Функциональная организация корневой системы

Огромная поверхность, которая связана с глубиной проникновения и сильной разветвленностью

Огромная потенциальная способность к росту корневых систем

- высокая скорость (1-10 см/сут)
- высокая доля меристематических клеток (10% по массе против 1% у стебля)
- гидротропизм



У однолетних сеянцев яблони:
число корней достигает 45 000, формируется 5-7 порядков ветвления
протяженность корней 250 м, а с учетом корневых волосков – 3 км.

У 12-14 мес.растения сахарного тростника:

общая длина корней достигает 17 км,
S без корневых волосков–366 614 см²,
S корневых волосков – 124 511 см².

При выращивании 1 растения ржи было установлено, что имеется:

143 корня	1-го порядка,	
35 000 корней	2-го порядка,	
2 300 000 корней	3-го порядка,	
11 500 000 корней	4-го порядка,	Всего около 14 млн корней.

Общая длина корней может достигать 600 км,

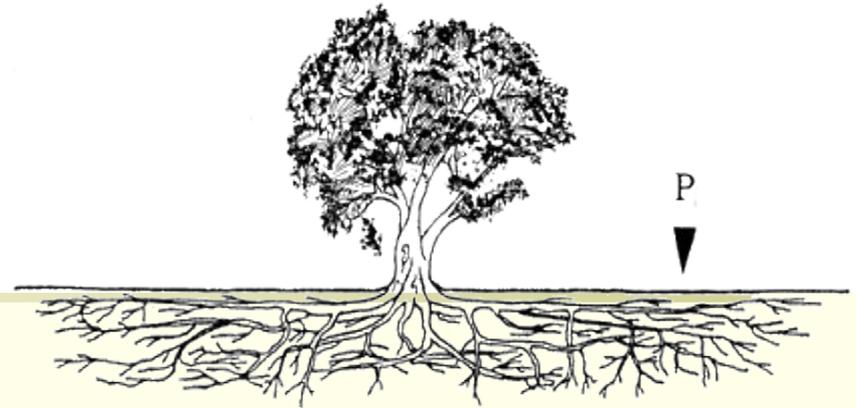
Общая поверхность –225 м².

Образуется 15 млрд. корн. волосков длиной 10 000 км, площадью 400 м².

Общая поверхность надземных органов (80 побегов, 480 листьев) – 4,5 м².

Таким образом, общая поверхность корней превышает поверхность надземных органов в 140—150 раз.

За счет диффузии влага в почве передвигается не более 1 см/сут, т.е. 30 см/мес.



Решающее значение для функционирования корневой системы как органа поглощения воды имеет не общая протяженность, а динамический признак – скорость роста.

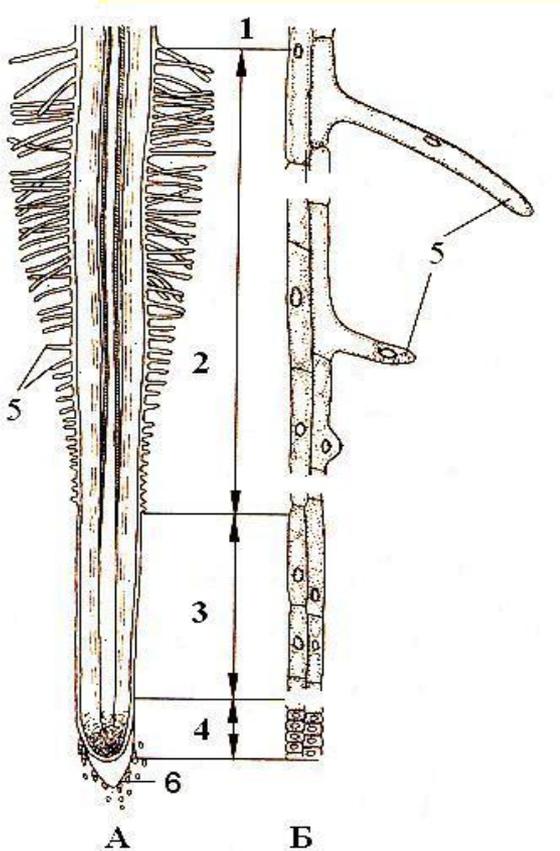
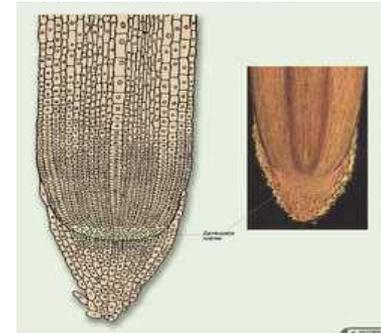
«Вопреки ходячему представлению, корневая система вовсе не неподвижно закреплена в определенном Участке, но все время движется в ней вперед и вперед, словно огромная стая мелких роющих животных, «обсасывая» каждую встречную песчинку и слизывая с нее, если так можно выразится, те мельчайшие пленки воды, которые ее одевают».

Максимов Н.А.

Влияние условий на формирование корней

- 1) температура, сильное понижение температуры заметно тормозит рост корней и способствует образованию толстых, мясистых, мало ветвящихся корневых систем.
- 2) влажность (недостаток стимулирует, в засушливых условиях в 3-4 раза больше, чем во влажной).

Особенности анатомического строения корня



1) *Зона опробковения*

2) *Зона корневых волосков*

$$\Psi_{\text{в}} = \Psi_{\text{осм.}} + \Psi_{\text{давл.}}$$

3) *Зона растяжения* Содержание

воды $(6-35) \times 10^{-8}$ г.

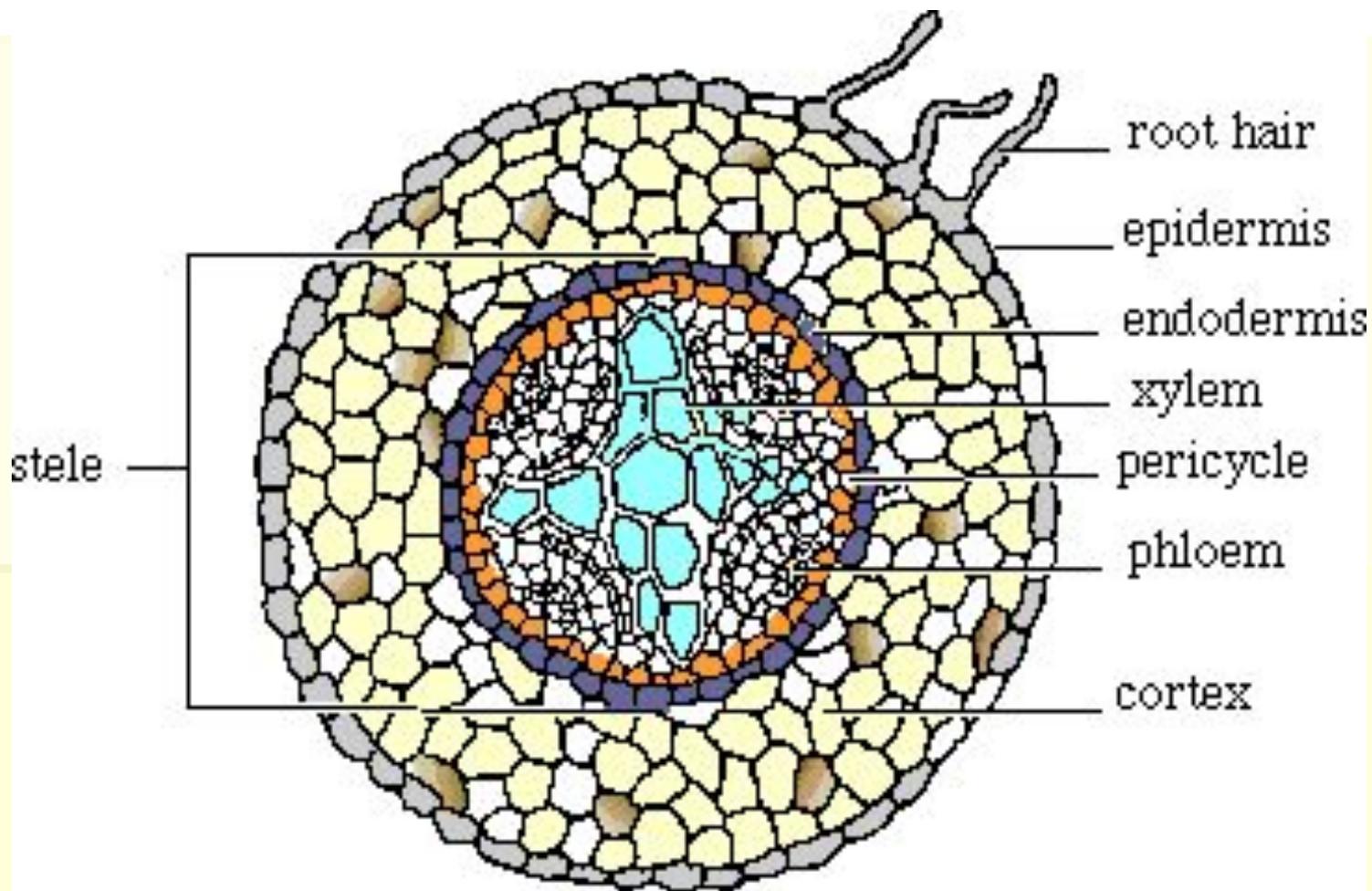
$$\Psi_{\text{в}} = \Psi_{\text{осм.}} + \Psi_{\text{матр.}}$$

1) *Зона деления*

Содержание воды $(1-5) \times 10^{-8}$ г.

$$\Psi_{\text{в}} = \Psi_{\text{матр.}}$$

Поперечное строение корня



Механизм поступления воды в корень

$\Psi_{\text{в эпидермы}} < \Psi_{\text{в почвенного раствора}} \rightarrow$ вода поступает в корни

Вода поступает за счет осмоса, перемещаясь от участков с высоким водным потенциалом (почва) к участкам с более низким водным потенциалом (корень).

Градиент водного потенциала между почвой и клетками создается с помощью двух механизмов:

- активный транспорт ионов, приводящий к концентрированию солей;
- транспирация.

Почва как среда водоснабжения растений

- а) количество доступной влаги зависит от состояния и свойств почвы;
- б) почва оказывает косвенное влияние на водоснабжение растений, воздействуя на формирование корневой системы.

Полевая влагоемкость характеризует максимальное количество воды, удерживаемое почвой в капиллярах и которое может быть использовано растением).

Ψ_v почвенного раствора близок к 0.

При подсыхании **Ψ_v почв.раствора снижается. Ψ_v почвы < Ψ_v корня** - растения завядают.

Коэффициент завядания (влажность завядания) - количество воды (в %), при котором растение впадает в устойчивое завядание.

Мертвый запас влаги в почве — это количество воды, полностью недоступное растению

Для с/х растений легкодоступна вода в пределах -5 бар (500 кПа), не ниже -15 бар.

Для засоленных почв – 30 бар.

$$\Psi_v = \Psi_{\text{осм.}} + \Psi_{\text{матр.}}$$

	Чернозем	Песок
Полевая влагоемкость	40 %	15 %
Мертвый запас	25 %	5 %
Количество доступной воды	15 %	10 %

Фракционный состав почвенной влаги

- 1) **Химически связанная вода** входит в состав вторичных минералов и органических веществ почвы, недоступна для растений.
- 2) **Сорбированная вода**, связанная, удерживается силами адсорбции на поверхности частиц почвы
 - **Гигроскопическая вода** (прочносвязанная) адсорбируется сухой почвой при помещении ее в атмосферу с 95% относительной влажности воздуха. Полностью недоступна.
 - **Пленочная вода** (слабосвязанная) окружает коллоидные частицы почвы. Частично доступна.
- 3) **Свободная вода** содержится в свободном пространстве почвы:
 - **Капиллярная вода** находится в верхних слоях, заполняет капиллярные поры в почве. Удерживается в капиллярах силами поверхностного натяжения (Ψ_v не более -1 бар). Хорошо доступна для растений.
 - **Гравитационная вода** заполняет крупные промежутки между частицами почвы, она хорошо доступна растениям. $\Psi_v = -0,1$ бар, зависит от осмотической концентрации.

Передвижение воды по растению

- 1) **Организация системы транспорта.**
- 2) **Радиальный транспорт воды в корне**
- 3) **Корневое давление.**
- 4) **Передвижение воды по сосудистой системе растения.**
 - **Строение проводящей системы.**
 - **Движущие силы водного потока.**
 - **Механизм поднятия воды.**

Организация системы транспорта

Транспорт:

Внутриклеточный

Ближний

- в пределах одного органа,
- по неспецифическим тканям,
- на короткие расстояния.

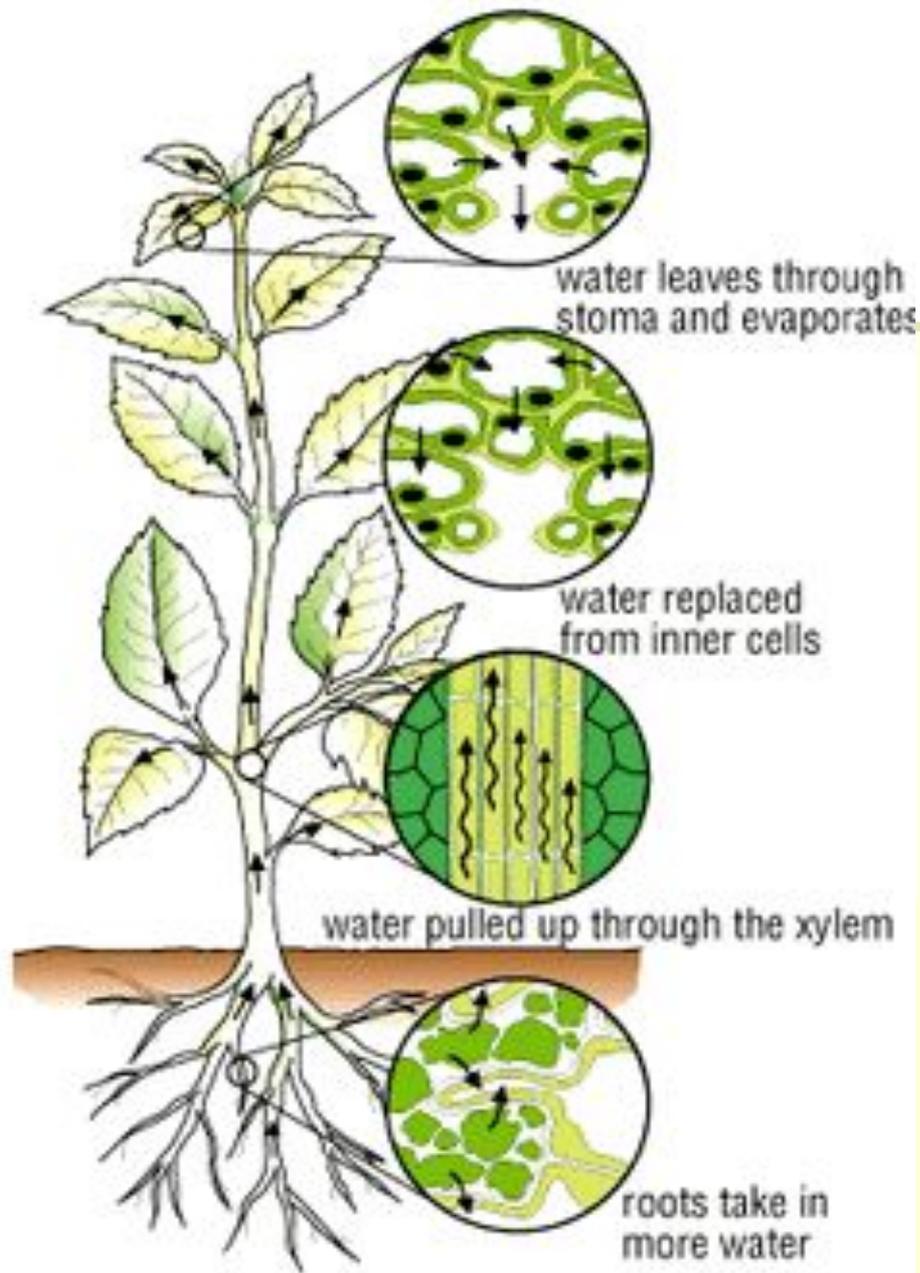
радиальный транспорт воды в корне от поверхности до сосудов, находящихся в центральном цилиндре.

транспорт в листе от сосудов, входящих в состав проводящего пучка до испаряющей поверхности.

Дальний

- между разными органами,
- по специализированным тканям.

транспорт по сосудам (трахеидам).



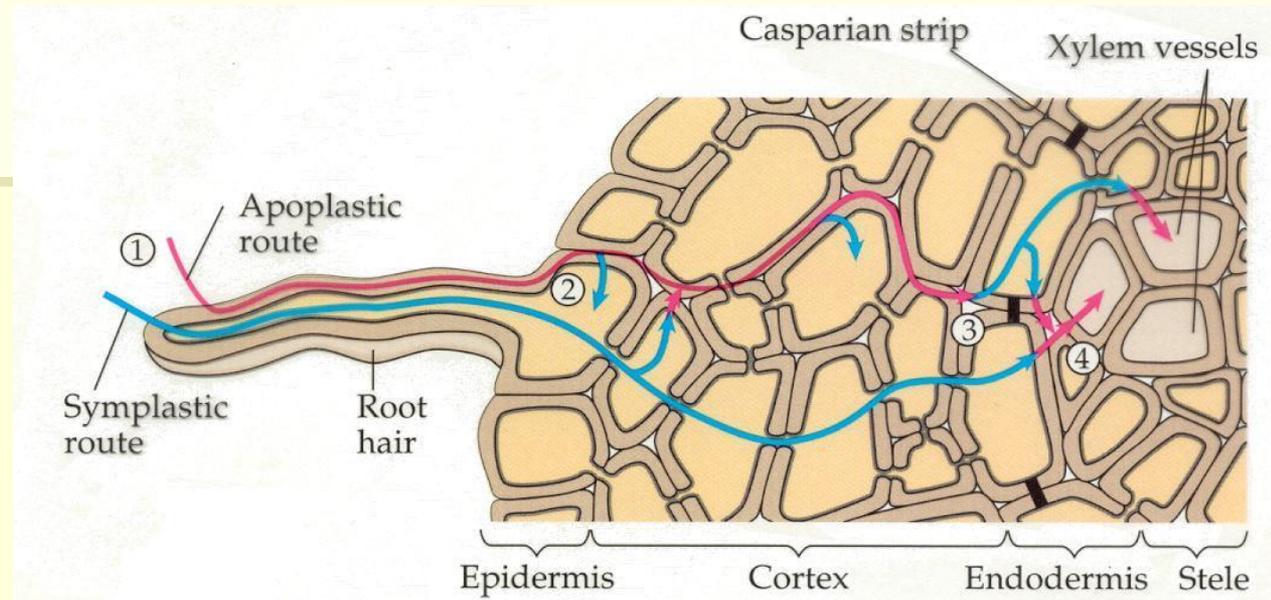
Путь воды от корневого
волоска до клеток
листа

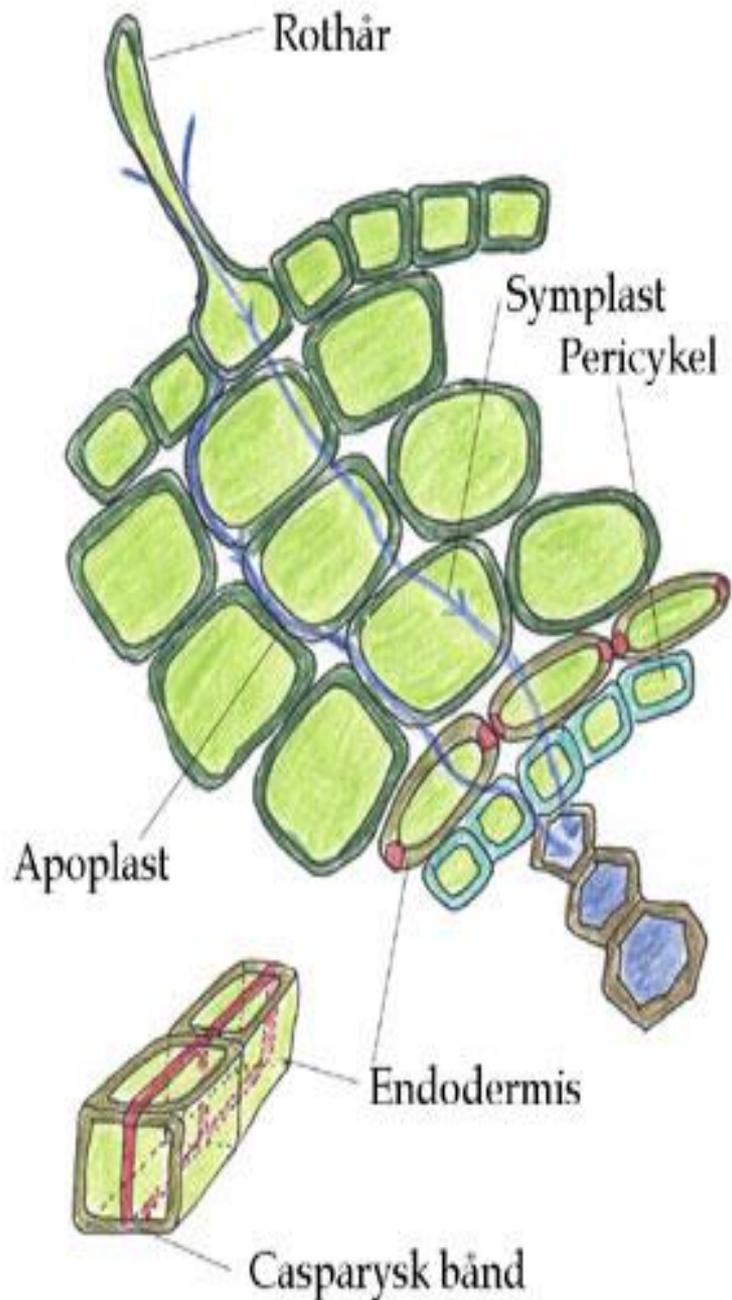
Радиальный транспорт воды в корне

Радиальный транспорт в корне - от поверхности корня до сосудов ксилемы:

эпидерма → кора → эндодерма → перицикл → паренхима цилиндра → сосуды ксилемы

по апопласту,
по симпласту,
трансмембранный



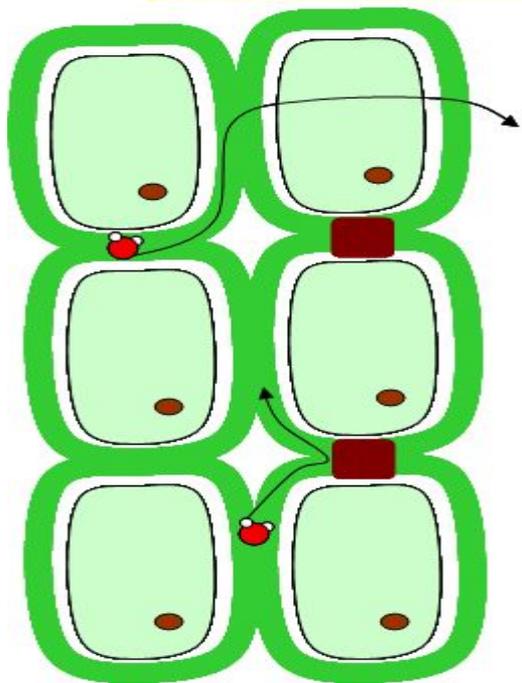
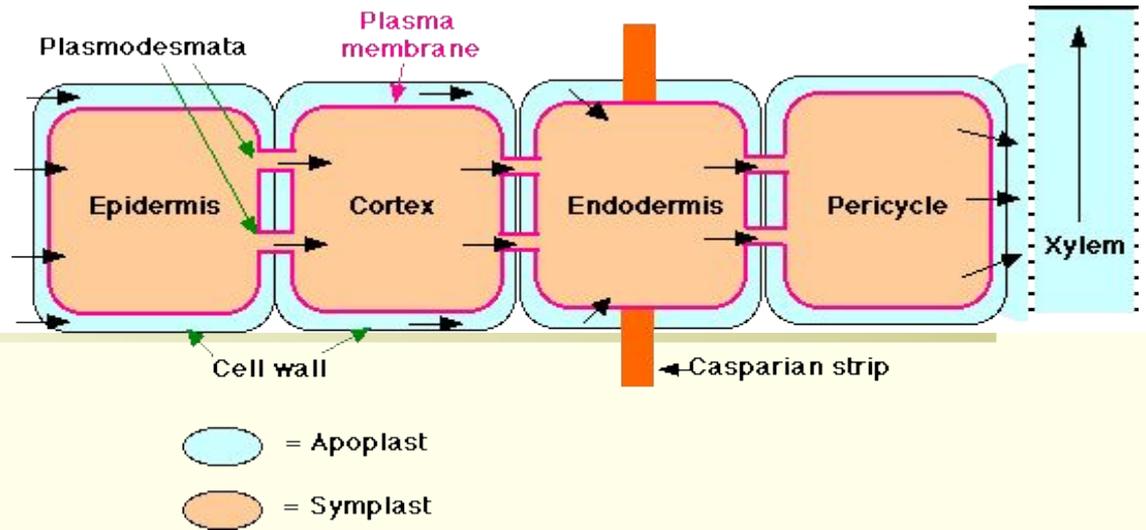
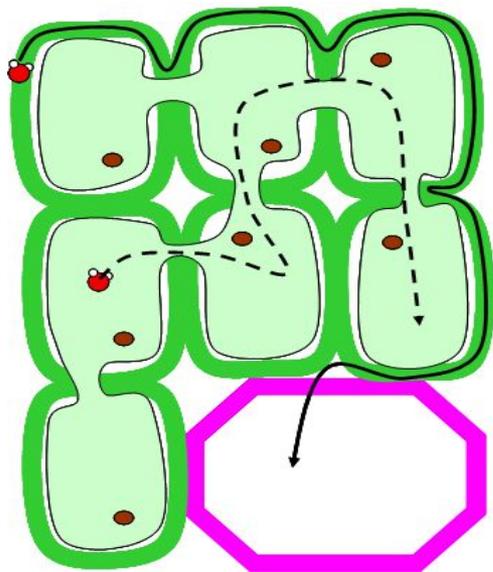


Скорость передвижения воды в корне – 1 мм/час, по ксилеме – 10 -25 м/час.

Корни оказывают

сопротивление току воды в 1,5 р. больше, чем в листе и в 4 р. больше, чем в стебле, т.к. движение идет через мембраны.

Высокое сопротивление мембран, обладающих избирательной проницаемостью, позволяет корню контролировать поток воды в растении.



При достаточном водоснабжении вода в коре корня транспортируется по апопласту и лишь частично по симпласту.

При недостатке воды она передвигается в основном по симпласту.

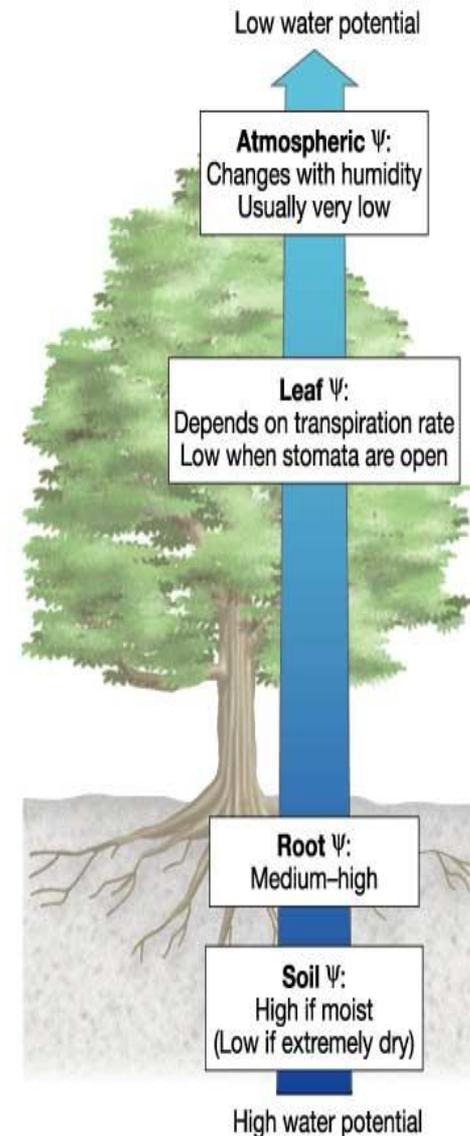
Механизмы транспорта воды

Движущей силой водного потока вдоль растения является градиент водного потенциала.

Вода передвигается в сторону более низкого водного потенциала.

Механизмы возникновения градиента водного потенциала:

- Активное поглощение солей клетками эпидермы и их активное передвижение из одной клетки в другую;
- Транспирация.



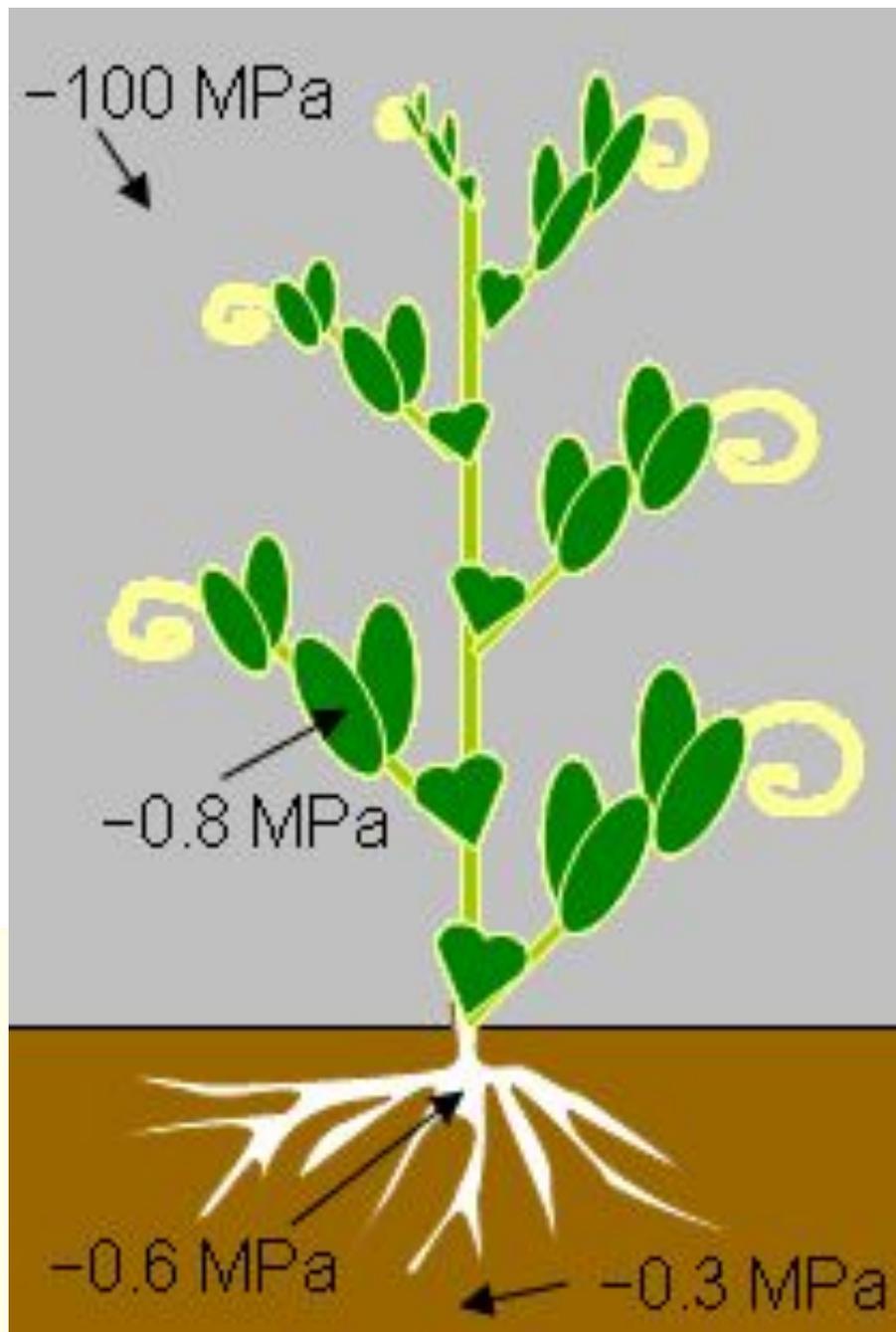


**Джангдриш Чандра Бос (1958-1937
гг.)**

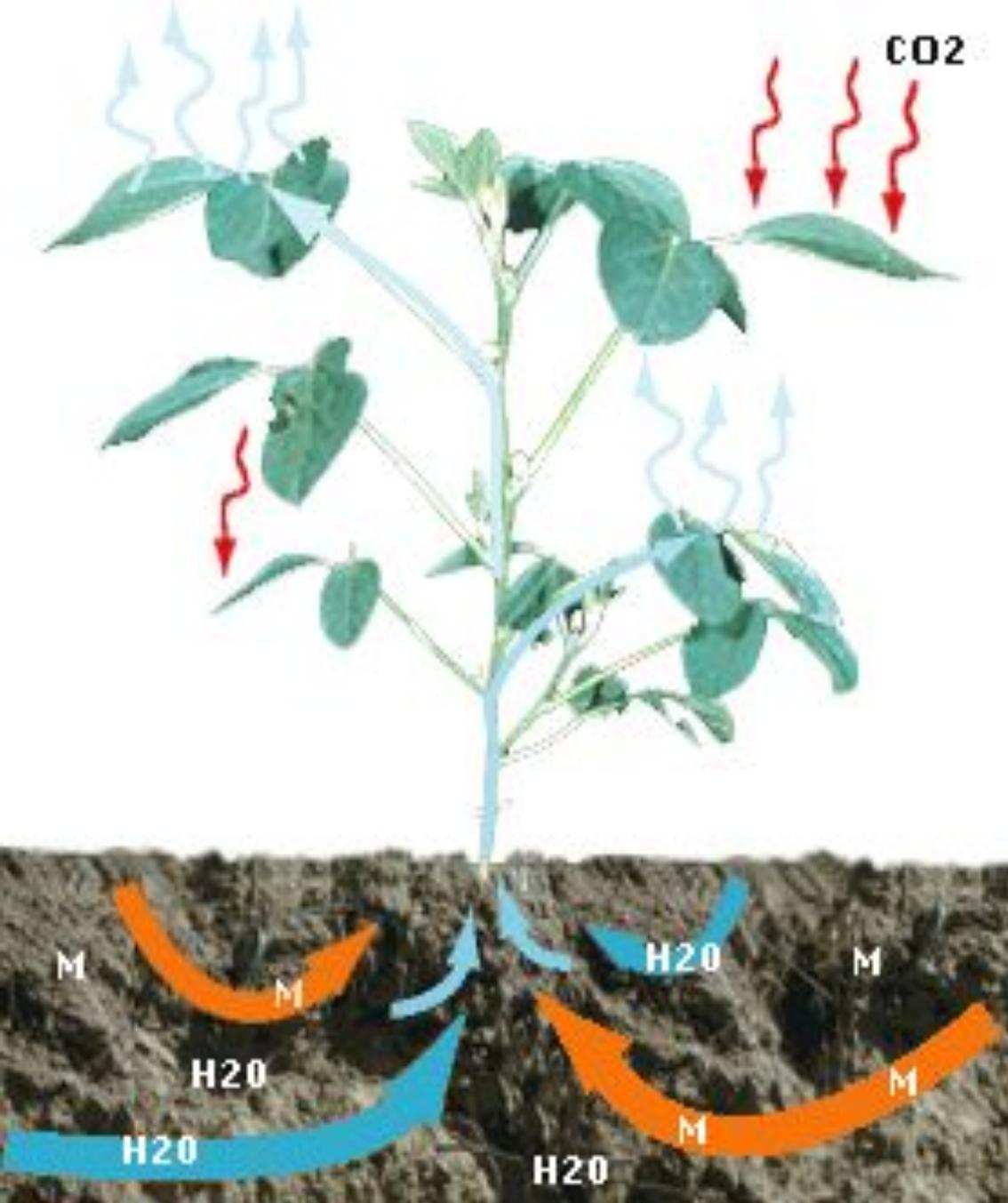
Двигатель – перистальтическая волна
микрорепульсаций паренхимных клеток

Современные доказательства:

- ✓ участие сократительных белков (Можаева, Пильщикова, 1972);
- ✓ распространяющиеся автоколебания гидростатического давления
корня (Залялов, 1984);
- ✓ автоколебания транспирации (Ушакова, 1984);
- ✓ активные участия живых клеток в восходящем водном токе (Саппу,
1998)



Вторая причина возникновения градиента водного потенциала в растении – транспирация



Двигатели водного тока:

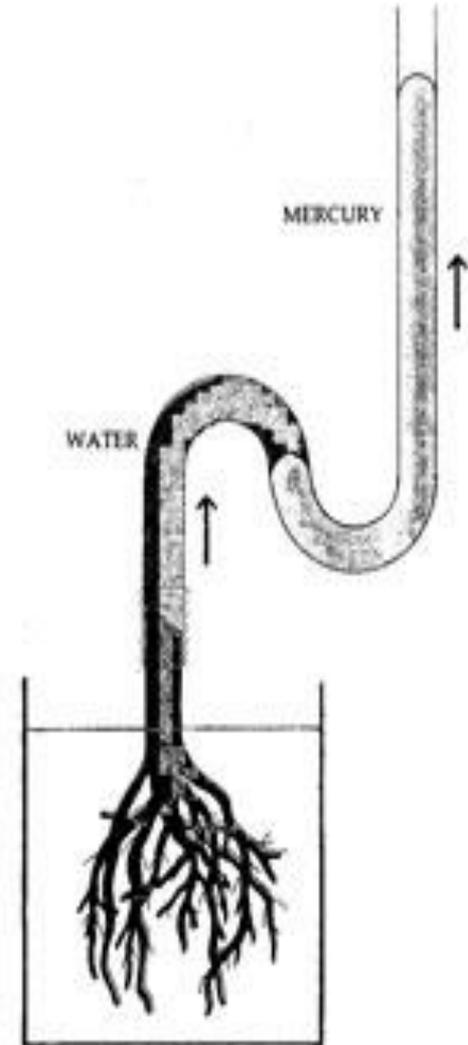
Верхний –
транспирация
(10-15 бар)

Нижний –
корневое
давление (2-3
бар)

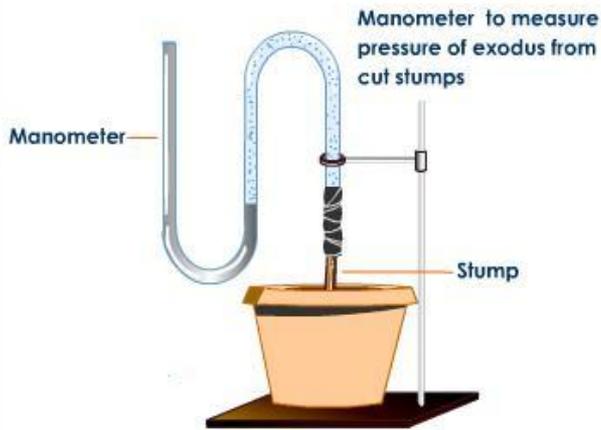
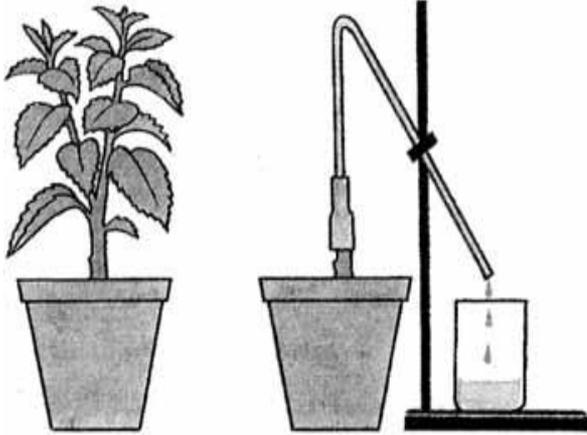
Корневое давление

- это сила, вызывающая в растении односторонний ток воды с растворенными веществами, не зависящая от процесса транспирации.

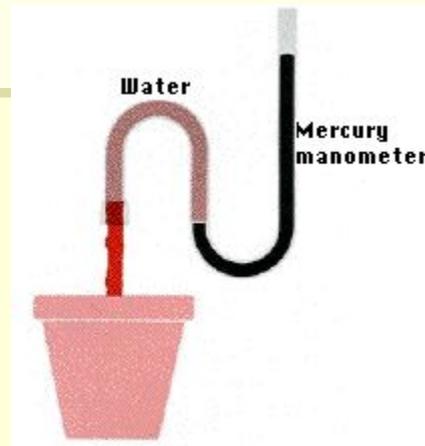
- *Плач растений*
- *Гуттация*



Плач растений



Experiment to demonstrate root pressure-8





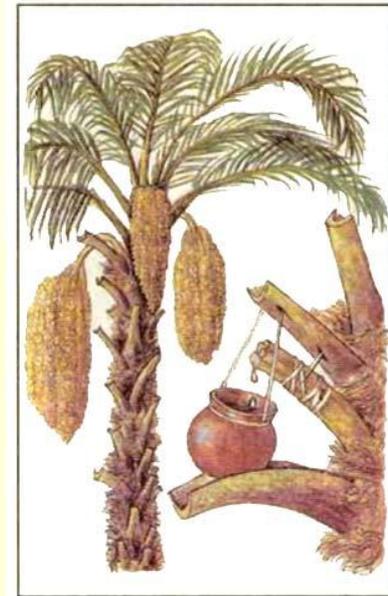
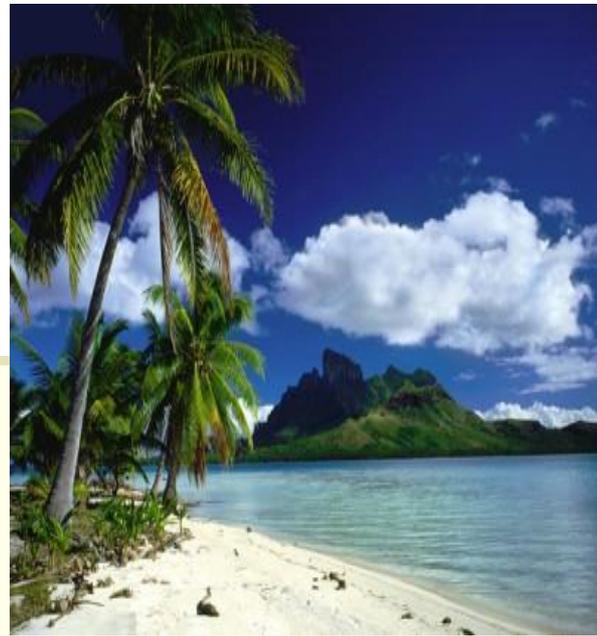
Acer saccharum
Mo Fayyaz



Содержание сахара в пасоке:

- береза 0,5-1,2 %
- сахарный клен – 4-5 %,
- сахарная пальма – до 14 %.

- **1 га сахарной пальмы (150-200 растений) может дать до 20 тонн сахара**
- **1 дерево сахарного клена за период сбора дает 50-100 л сока (2,5-5 кг сахара)**





Гуттация

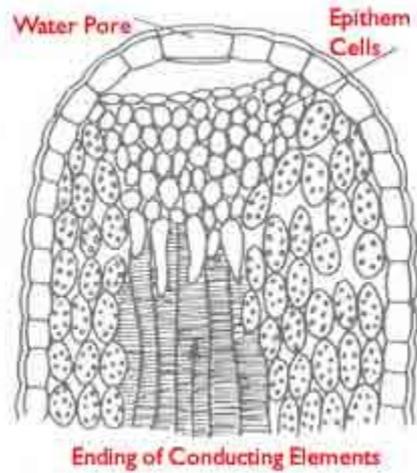
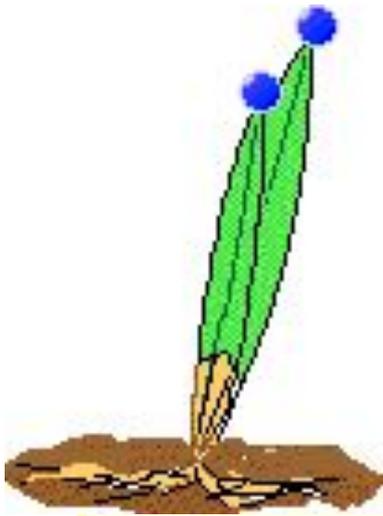


Гуттация — процесс выделения капельножидкой воды на кончиках листьев при высокой влажности воздуха, когда транспирация затруднена.

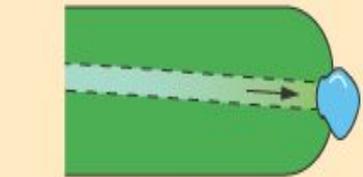
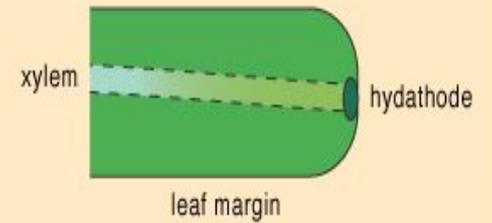
Выделение жидкости идет через специальные водные устьяца — **гидатоды**

Выделяющаяся жидкость — **гутта**

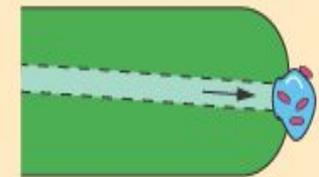
Содержание веществ в гутте в 8-10 раз меньше, чем в пасоке



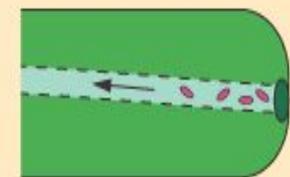
INFECTION VIA HYDATHODE



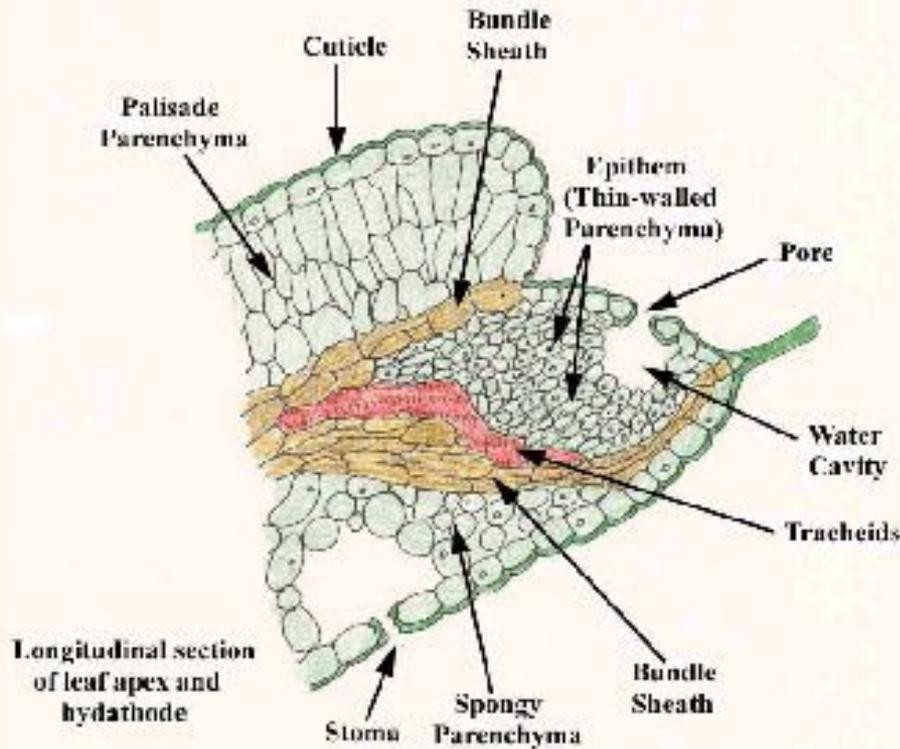
guttation droplet forms in high humidity



pathogenic bacteria invade droplet

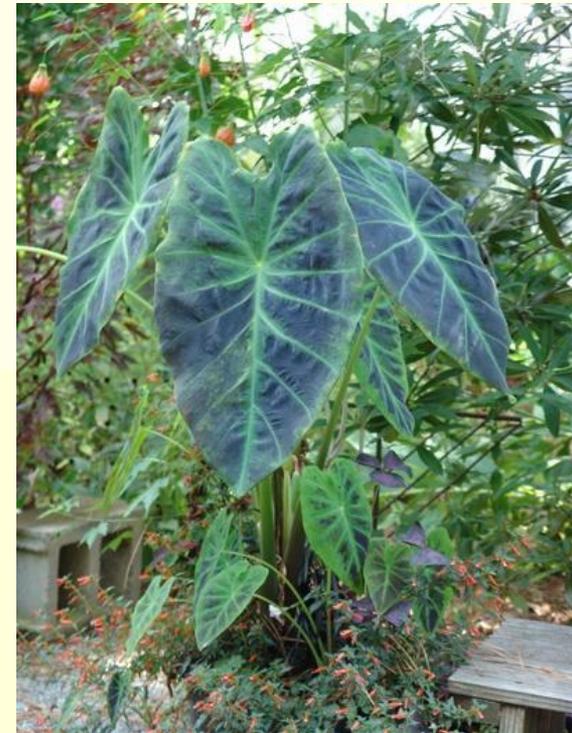


bacteria enter plant with retreating xylem fluid



Longitudinal section of leaf apex and hydathode





Дальний транспорт воды по растению

Строение проводящей системы.

Движущие силы водного потока.

Механизм поднятия воды

Главным путем транспорта воды является ксилема.

Транспорт воды по сосудистой системе идет по градиенту водного потенциала.

Вне ксилемы передвигается 1-10 % общего потока воды.

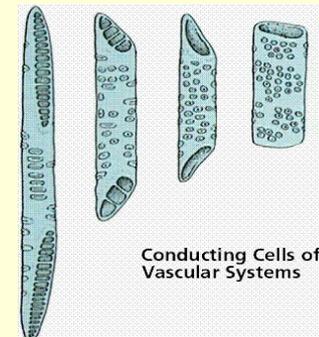
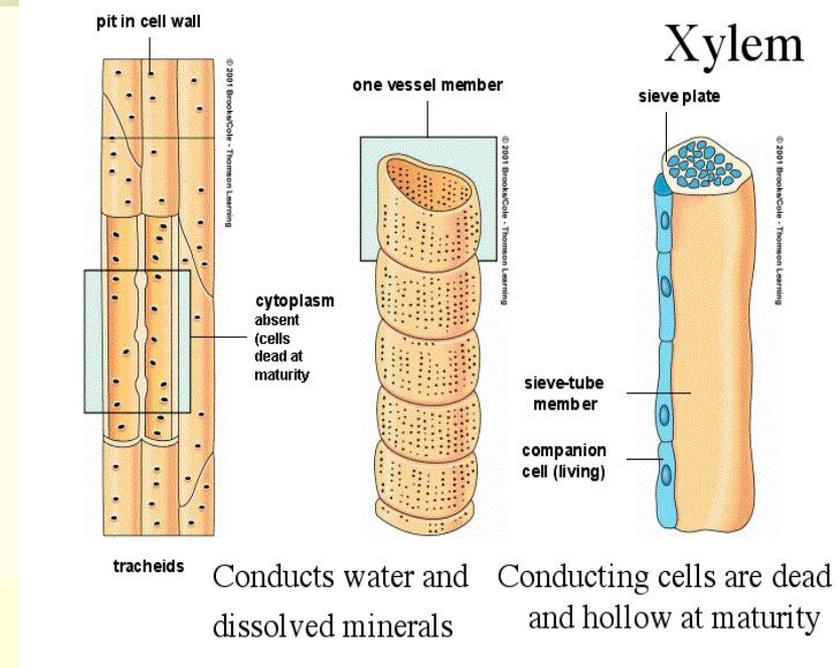
Это ток по КС живых клеток от корня до листа, поддерживаемый градиентом водного потенциала.

Особенности ксилемы как специализированной ткани

1) Сосуды ксилемы похожи на полые трубки из клеточных стенок, которые расположены одна над другой.

КС лигнифицированная, пронизанная порами.

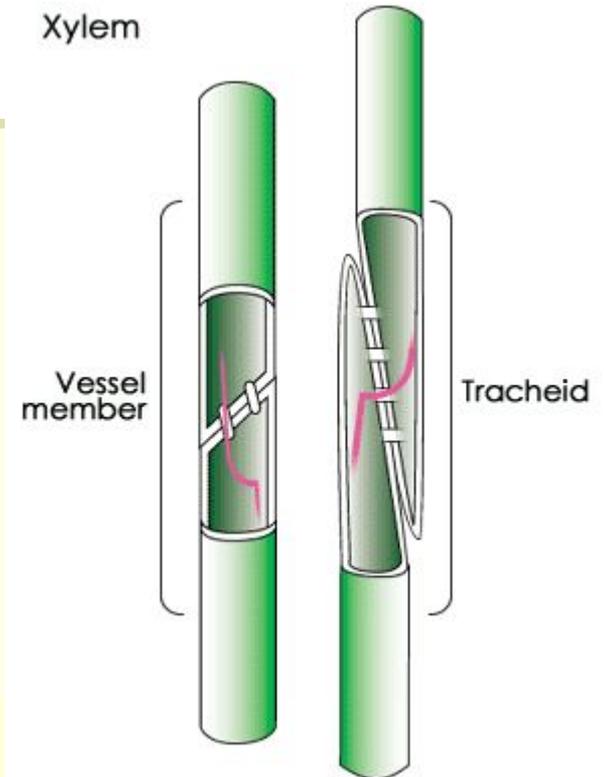
Перфорированная часть члеников сосудов - *перфорационная пластинка*



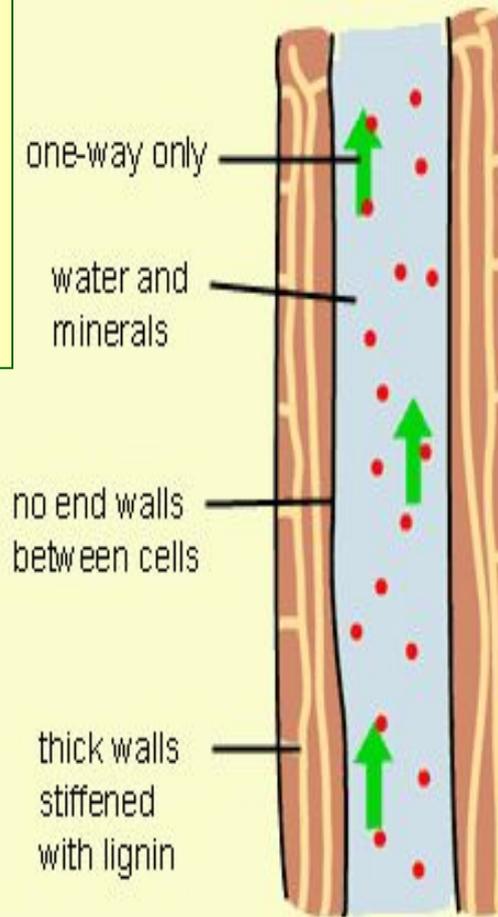
2) Вытянутые, тонкие. Средняя длина сосудов около 10 см, у некоторых видов – почти на всю высоту дерева.
Средний диаметр сосудов от 0,3 до 0,5 мм.

Диаметры сосудов древесины, мкм

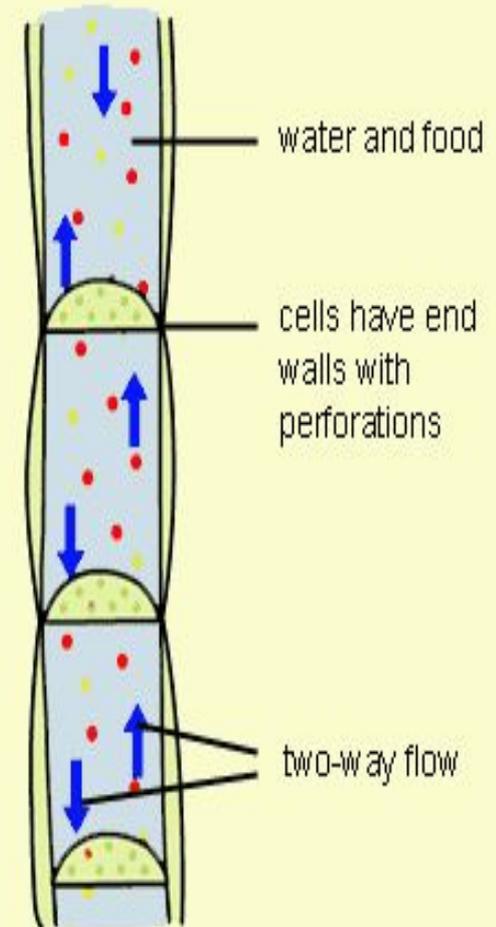
Трахеиды хвойных	20-40
Вяз	130-140
Дуб	200-300
Ива	80-120
Ясень	120-350
Лианы	до 700
Диаметр волоса	71
Диаметр капилляра	8



3) Лишены живого содержимого, поэтому нет сопротивления потоку воды.



xylem vessel



phloem vessel

4) Высокая скорость передвижения воды – до 8 м/час.

Скорость проведения воды в растении, м/час

Хвойные	1,5
Ольха	2,0
Ива	3,0
Орех	4,0
Вяз	6,0
Ясень	25,7
Дуб	40,0
Лианы	150,0
Водоросли	0,6-0,8

Outside air Ψ
= -10.0 to
-100.0 MPa

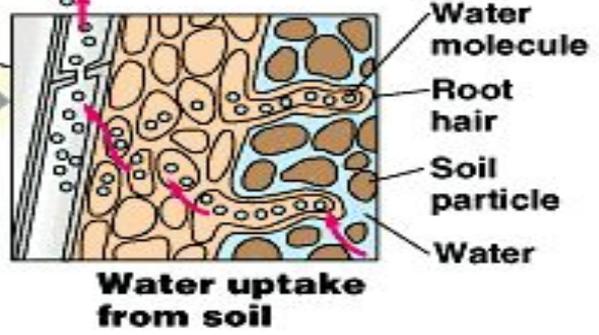
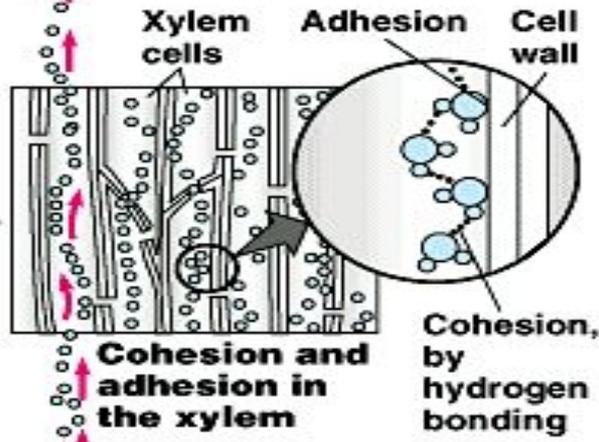
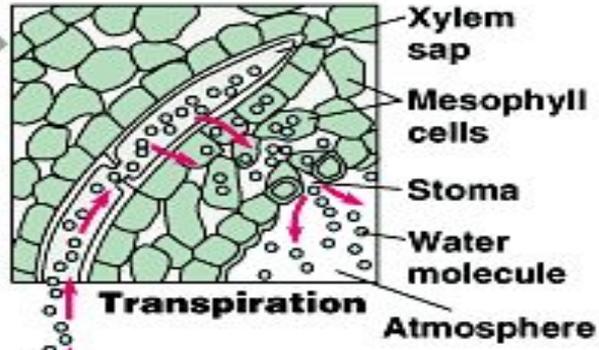
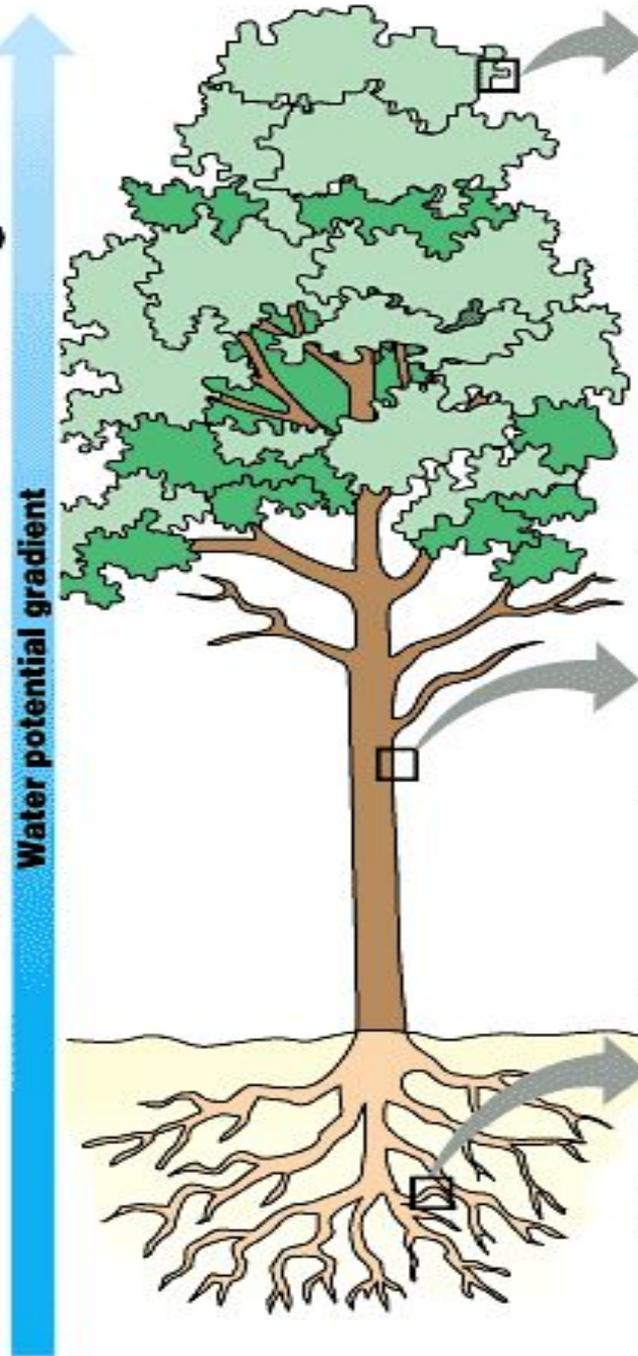
Leaf Ψ (air spaces)
= -7.0 MPa

Leaf Ψ (cell walls)
= -1.0 MPa

Trunk xylem Ψ
= -0.8 MPa

Root xylem Ψ
= -0.6 MPa

Soil Ψ
= -0.3 MPa



Механизм поднятия воды

Теория сцепления Е.Ф. Вотчал (1897), Е. Диксоном (1910)

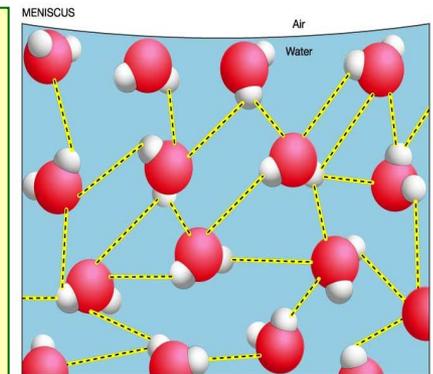
Когезия - *силы сцепления* между молекулами воды, свободной от газов.

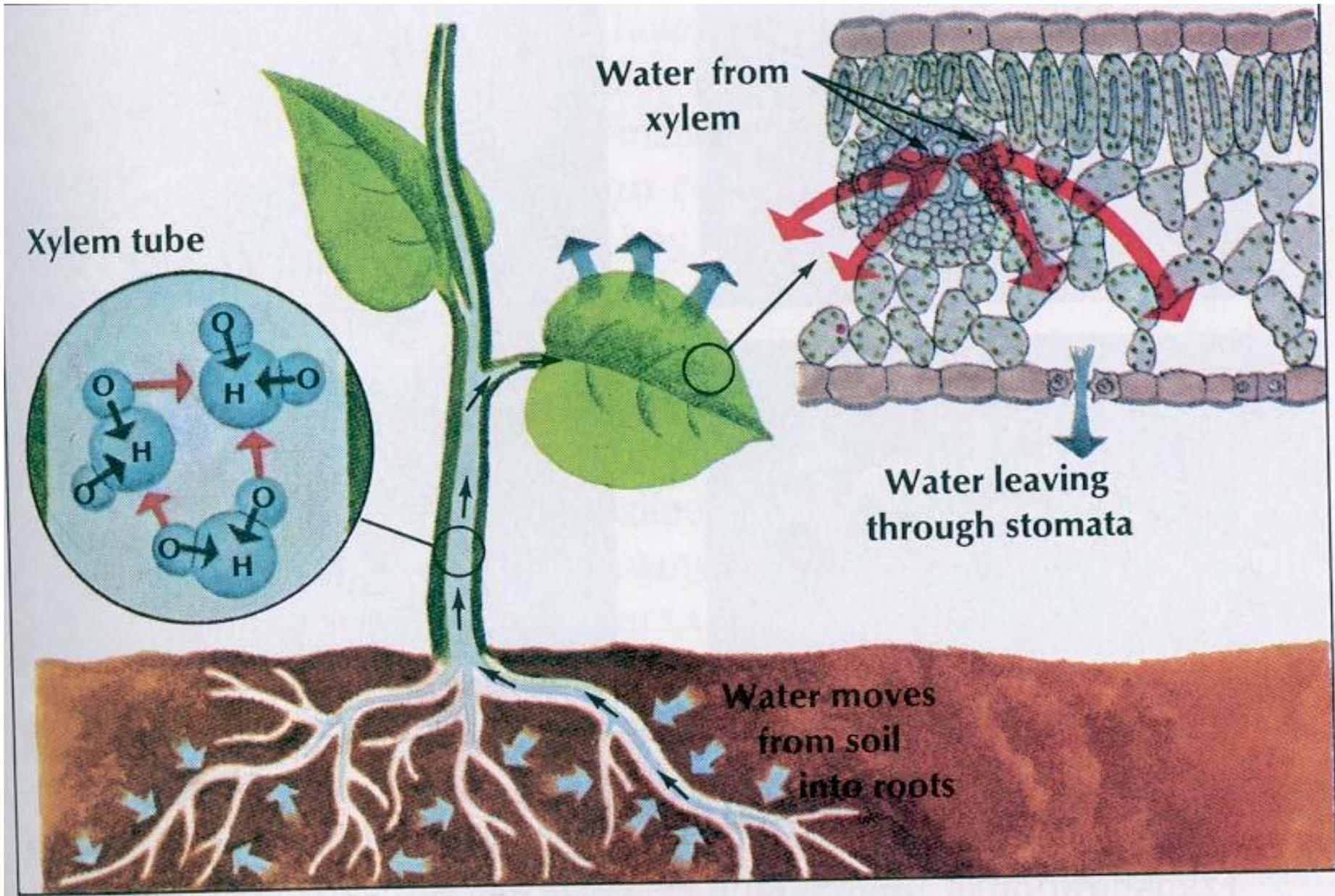
Силы сцепления между молекулами воды — 30 бар (это сила, которая позволяет поднять воду на высоту 120 м без разрыва водных нитей).

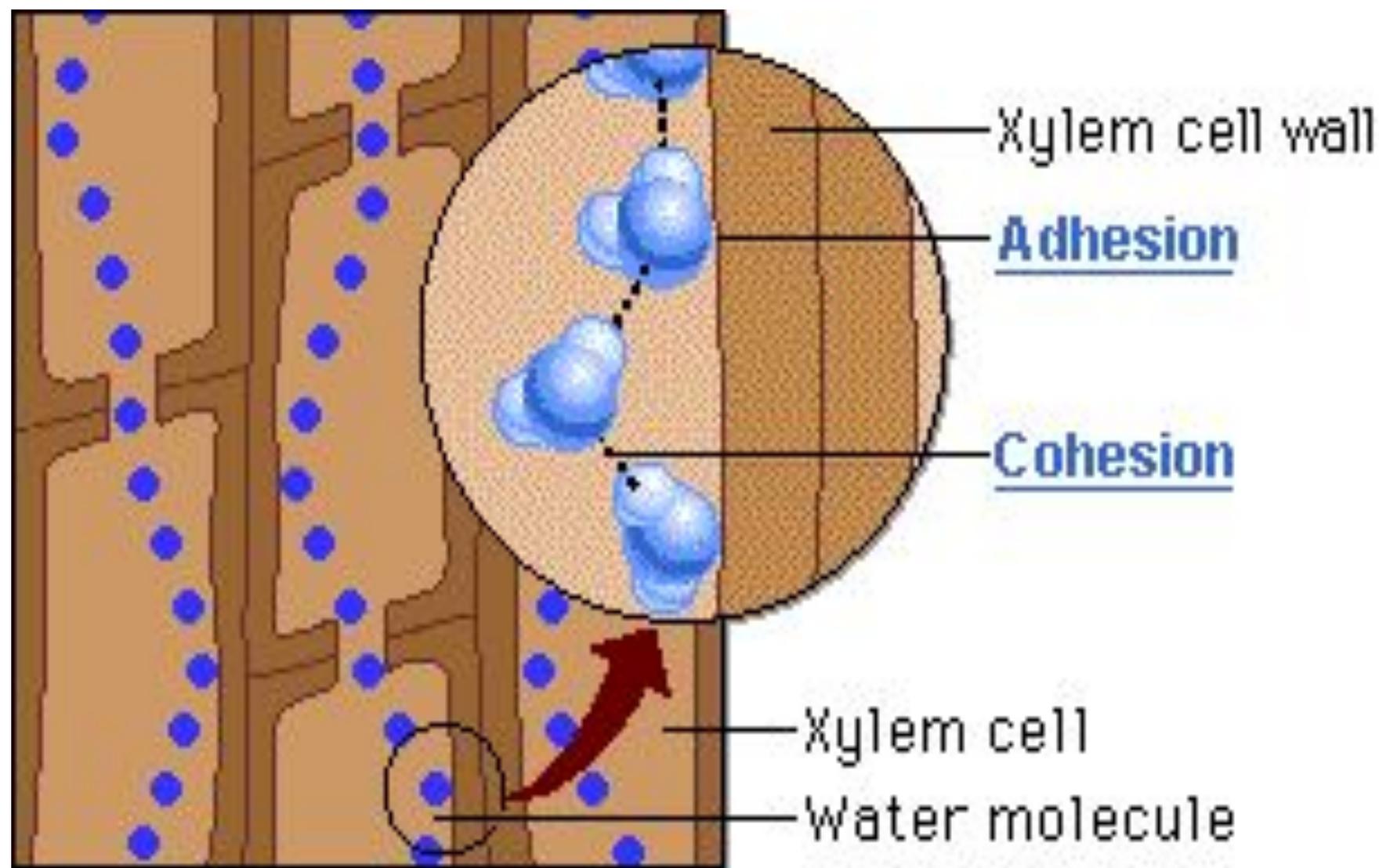
Адгезия - *силы сцепления* между водой и стенками сосудов.

Молекулы воды, соединяясь друг с другом водородными связями, образуют в растении сплошные водяные нити, проходящие от клеток эпидермы корня до испаряющих клеток паренхимы листовой пластинки.

Поэтому испарение одной молекулы воды заставляет двигаться вверх всю водяную нить.

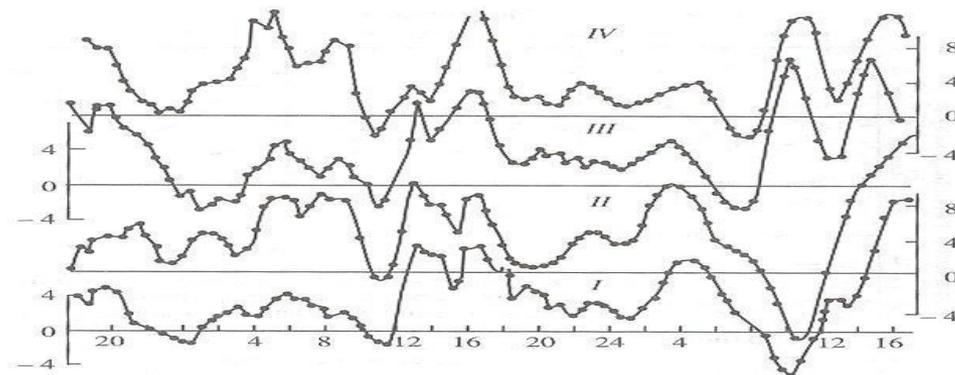






Доказательства теории сцепления

- измерение натяжения воды в ксилеме;
- исследования по изменению толщины стебля травянистых растений и диаметра стволов деревьев. Дж. Бос (1920) установил, что диаметр ствола секвойи изменяется: днем уменьшается, ночью увеличивается.
- исследования движения воды. Движение воды начинается с вершины дерева: опыты с термопарой и элементом нагревания.
- скорость движения воды в течение суток изменяется. В дневные часы она значительно больше.

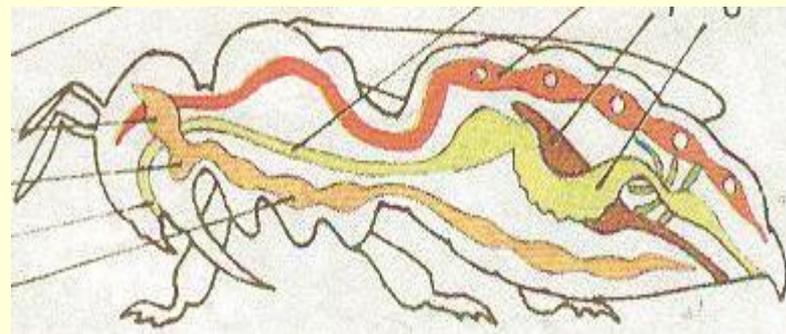
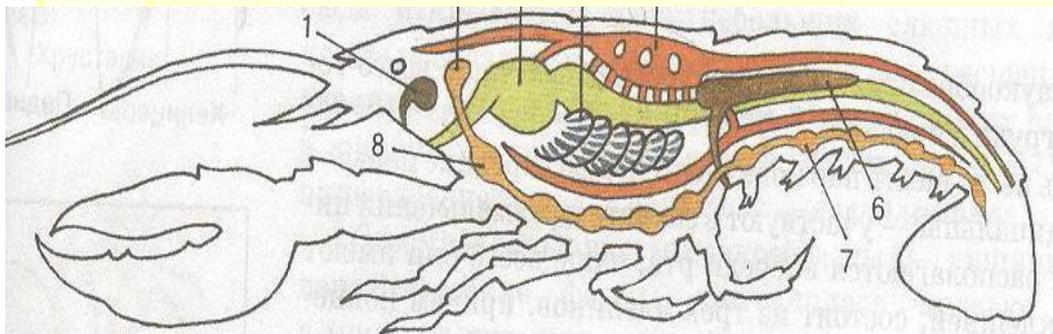


Автоколебания диаметра стебля *Helianthus annuus* L. По оси абсцисс — время суток, по оси ординат — изменения диаметра стебля (в мкм); I-IV — номера междуузлий

Непрерывная циркуляция внутренней водной среды – неотъемлемый атрибут жизни

Структурные и функциональные взаимосвязи между восходящим и нисходящим водными потоками обеспечивают функционирование единой гидродинамической системы в растении.

Сходство с незамкнутой кровеносной системой животных



Спасибо за внимание!

