

# **ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ВЕЩЕСТВ ПО РАСТЕНИЮ**

- 1. Введение. Организация системы транспорта у растений.**
- 2. Передвижение элементов минерального питания по растению.**
- 3. Транспорт органических веществ.**

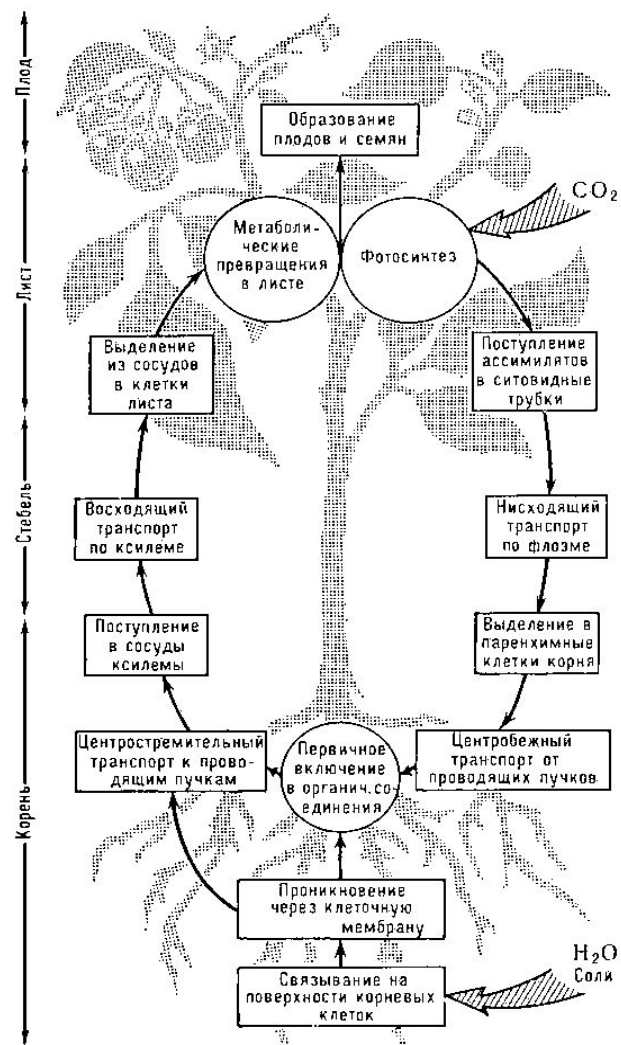
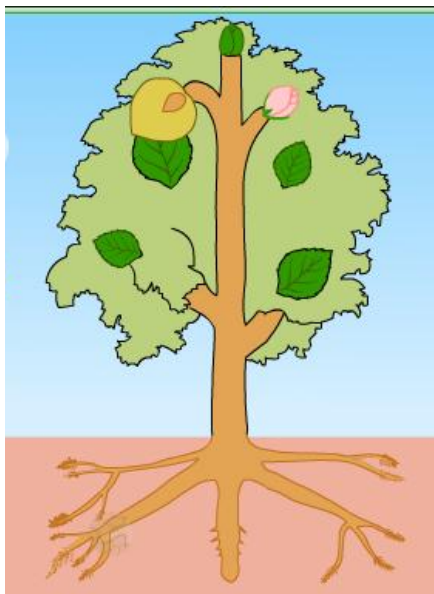
# I. Роль изучения транспорта веществ:

- теоретическое значение как одна из проблем физиологии
- практическое значение
- взаимосвязь отдельных органов в единую физиологическую систему

Донорно-акцепторные связи между органами:

- органы, поставляющие питательные вещества – **доноры**,
- органы, потребляющие – **акцепторы**.

Назовите доноры минеральных питательных веществ и органических веществ.

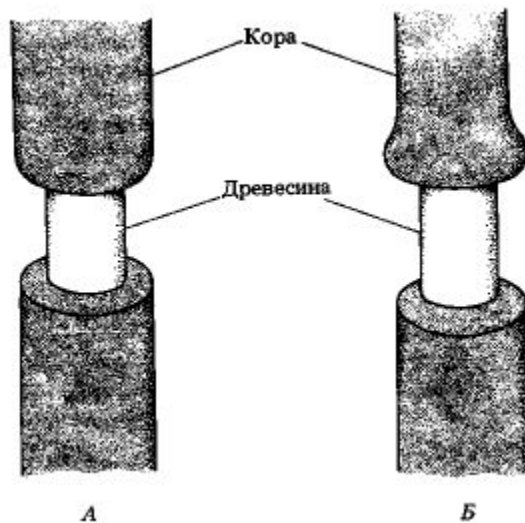




Большую роль в выяснении путей передвижения отдельных питательных веществ сыграл прием кольцевания растений.

Этот прием был применен в конце XVII в. (1679 г.) итальянским исследователем М. Мальпиги, который высказал предположение, что вещества их почвы поступают в корни, затем по древесине в листья и стебли (сырой сок), а после переработки – в обратном направлении по коре.

## Марчелло Мальпиги 1628-1694



Опыт Мальпиги со снятием кольцеобразного куска коры со стебля (А). Набухание ткани над кольцом (Б)

# Организация системы транспорта

*Внутриклеточный*

*Ближний*: в пределах одного органа, по неспецифическим тканям, на короткие расстояния.

*Дальний*: между разными органами, по специализированным тканям. Транспорт по ксилеме и флоэме.

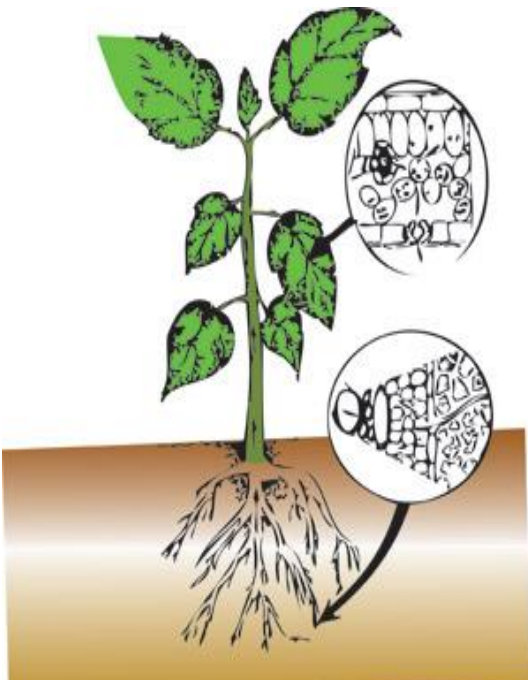
## II. Передвижение элементов минерального питания по растению

Назовите акцепторы минеральных веществ

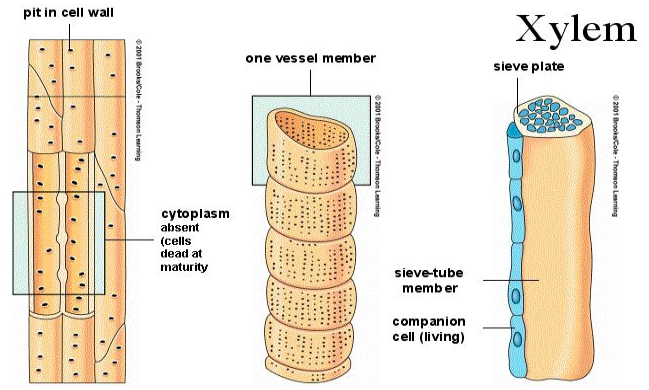
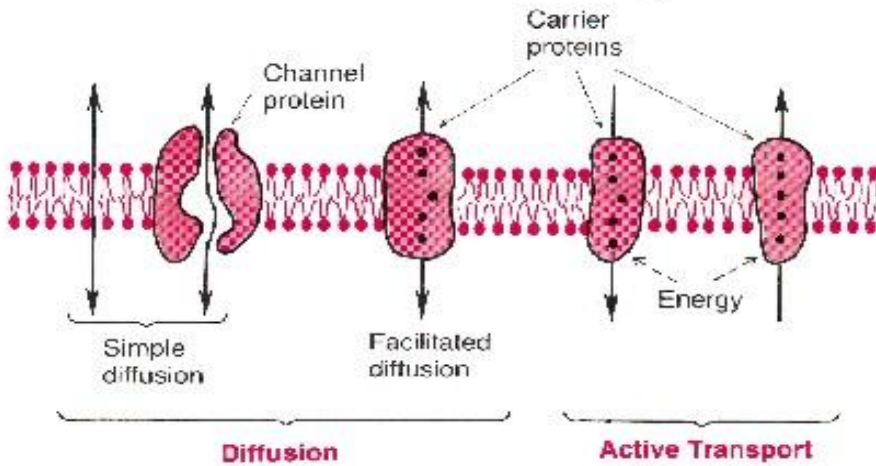
Как осуществляется внутриклеточный транспорт

Назовите системы ближнего транспорта

По какой ткани осуществляется дальний транспорт минеральных веществ



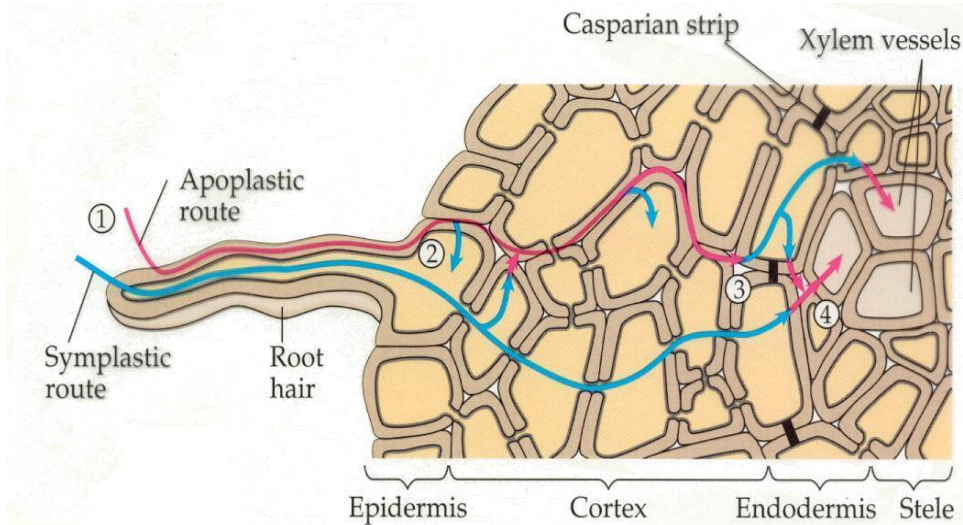
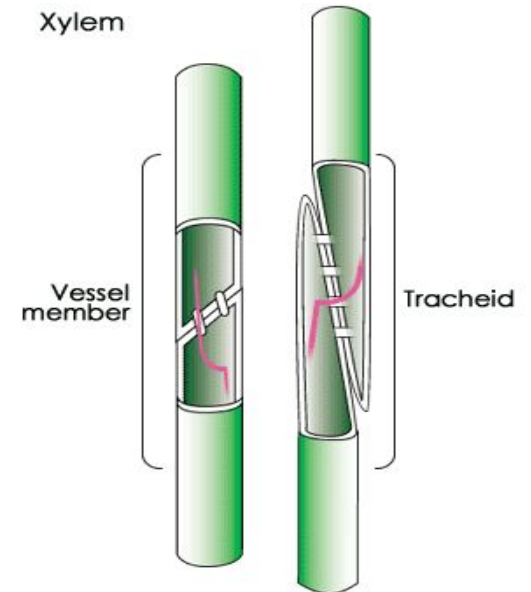
# Cell Membrane Transport



tracheids Conducts water and dissolved minerals

Conducting cells are dead and hollow at maturity

## Xylem



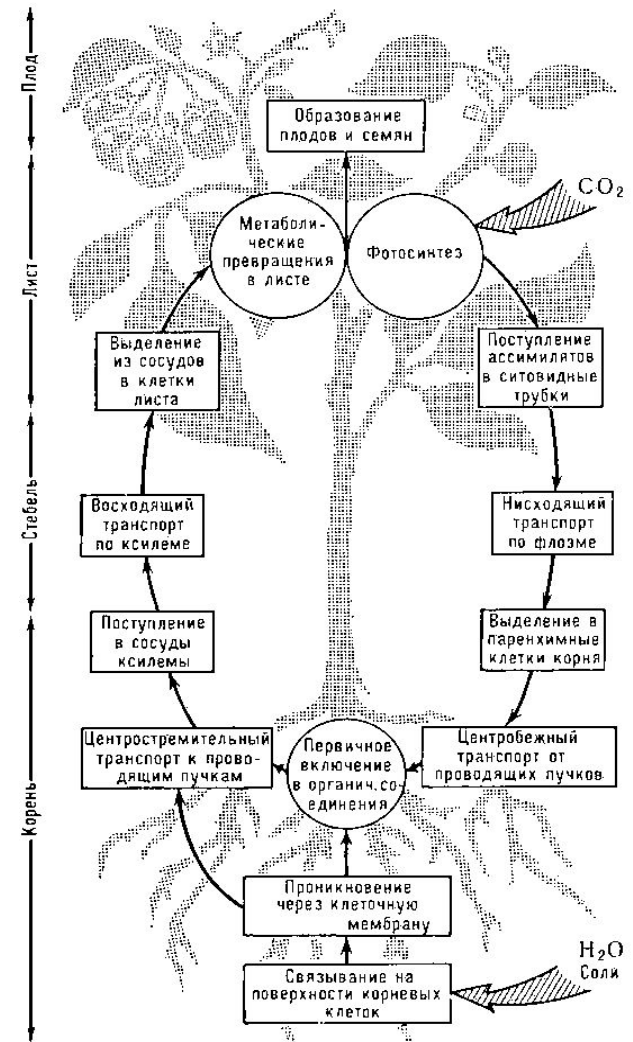
# Круговорот минеральных веществ в растении. Реутилизация

Для растительного организма характерна экономность в использовании питательных веществ, что выражается в способности к **реутилизации** (повторному использованию) основных элементов минерального питания.

Повторному использованию подвергается большинство элементов минерального питания, в том числе Р, N, К, Mg и др.

Элементы, которые практически не реутилизуются - Са и В, что связано с малой подвижностью и плохой растворимостью соединений, в состав которых входят эти элементы.

Рециркуляция



В растении существуют два градиента распределения минеральных веществ:

- для элементов, подвергающихся повторному использованию, характерен **базипетальный градиент распределения**, т. е. чем выше расположен лист и чем он моложе, тем больше в нем азота, фосфора, калия.
- для элементов, не подвергающихся повторному использованию (кальций, бор), характерен **акропетальный градиент распределения**. Чем старше орган, тем больше содержание в нем указанных элементов.

Практическое значение исследования распределения элементов питания по органам растения:

- по отношению к элементам, подвергающимся повторному использованию, признаки голодания будут проявляться, прежде всего, на более старых листьях,
- по отношению к элементам, не подвергающимся реутилизации, признаки дефицита проявляются в первую очередь на молодых листьях.

Следовательно, градиент страдания растений направлен в противоположную сторону градиента распределения.



# III. ТРАНСПОРТ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

1. Распределение ассимилятов в растении.
2. Пути передвижения ассимилятов.
3. Механизм транспорта.
4. Регуляция транспорта.

# 1. Распределение ассимилятов в растении

**Передвижение ассимилятов  
подчиняется схеме донор-акцептор**

**Доноры (источники)**  
ассимилятов -  
фотосинтезирующие  
ткани, запасающие ткани  
(органы).

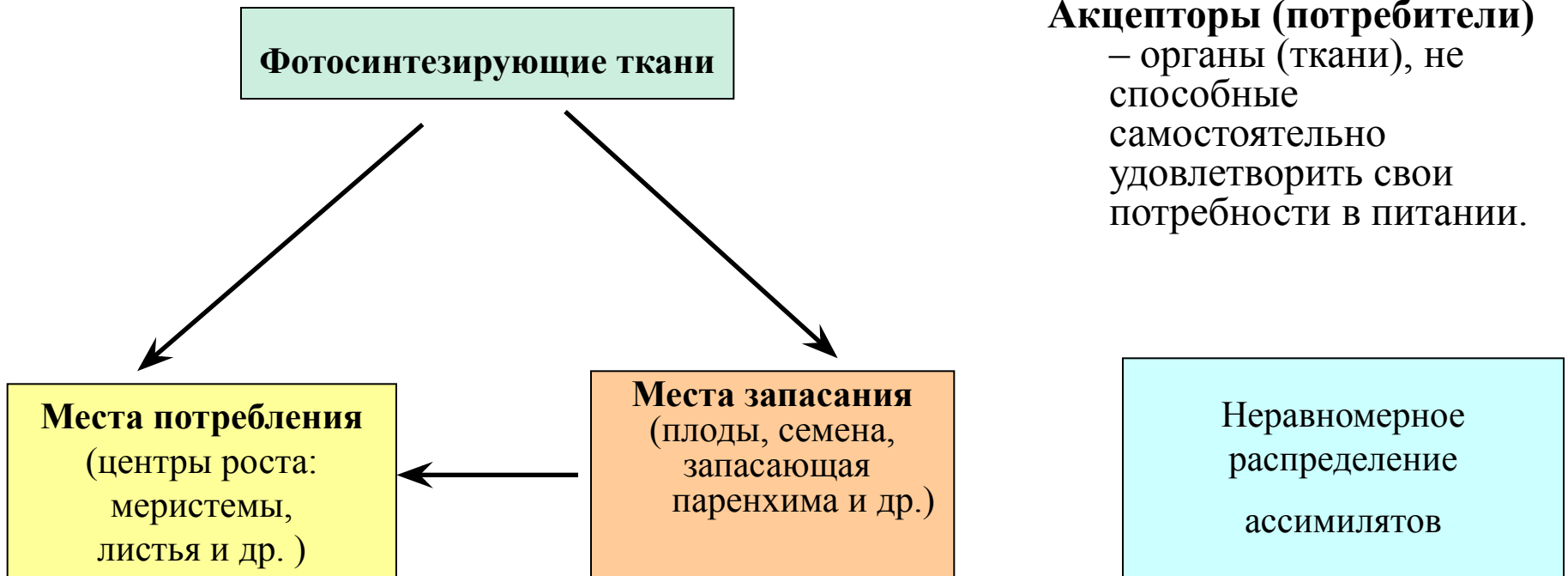
**Фотосинтезирующие ткани**

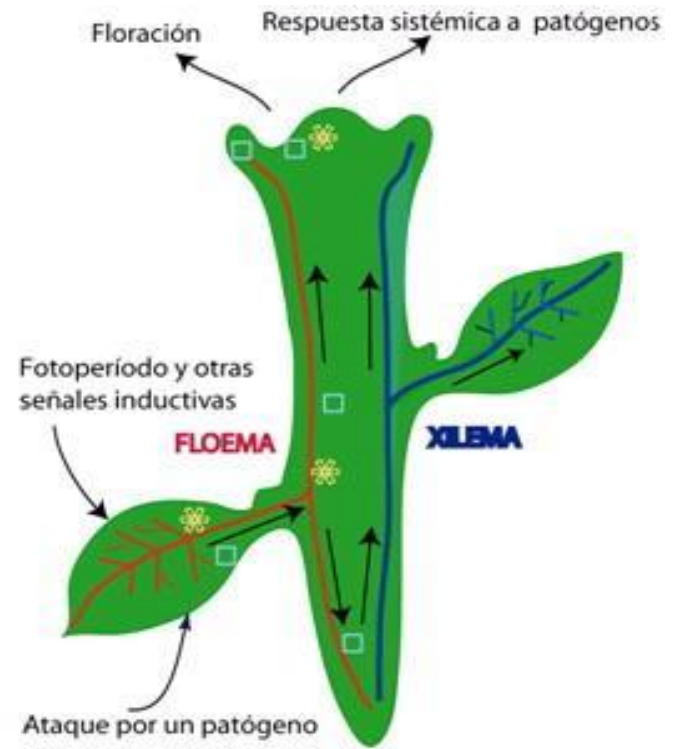
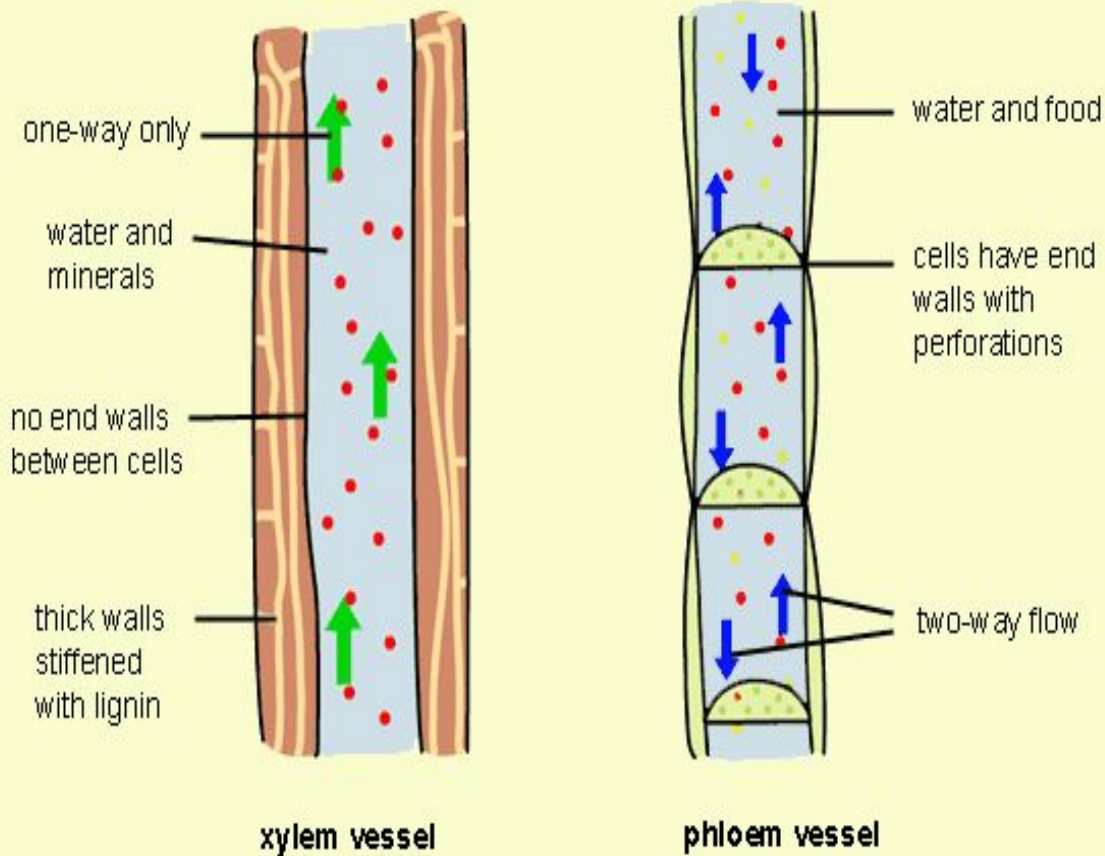
**Акцепторы (потребители)**  
– органы (ткани), не  
способные  
самостоятельно  
удовлетворить свои  
потребности в питании.

**Места потребления**  
(центры роста:  
меристемы,  
листья и др. )

**Места запасаания**  
(плоды, семена,  
запасающая  
паренхима и др.)

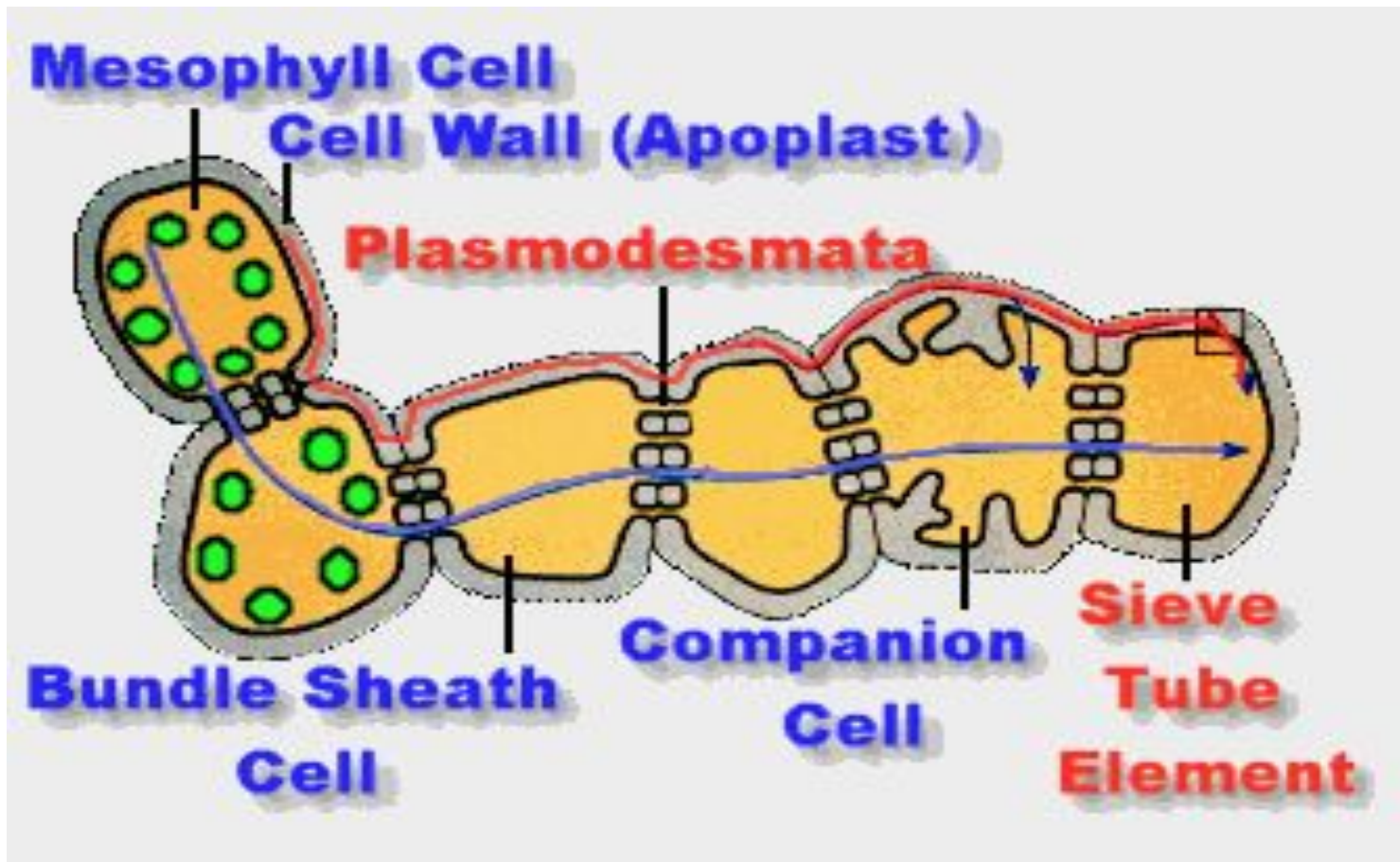
**Неравномерное  
распределение  
ассимилятов**





Движение по флоэме не имеет определенного направления в отличие от ксилемы, зависит от расположения донора и акцептора.

## 2. Пути передвижения ассимилятов



## 2.1. Внутриклеточный транспорт

Это транспорт ассимилятов из хлоропластов в цитоплазму  
Крахмал → глюкоза → фруктозодифосфат → триозы.

Триозы выходят из хлоропластов с помощью транспортных белков с затратой энергии.

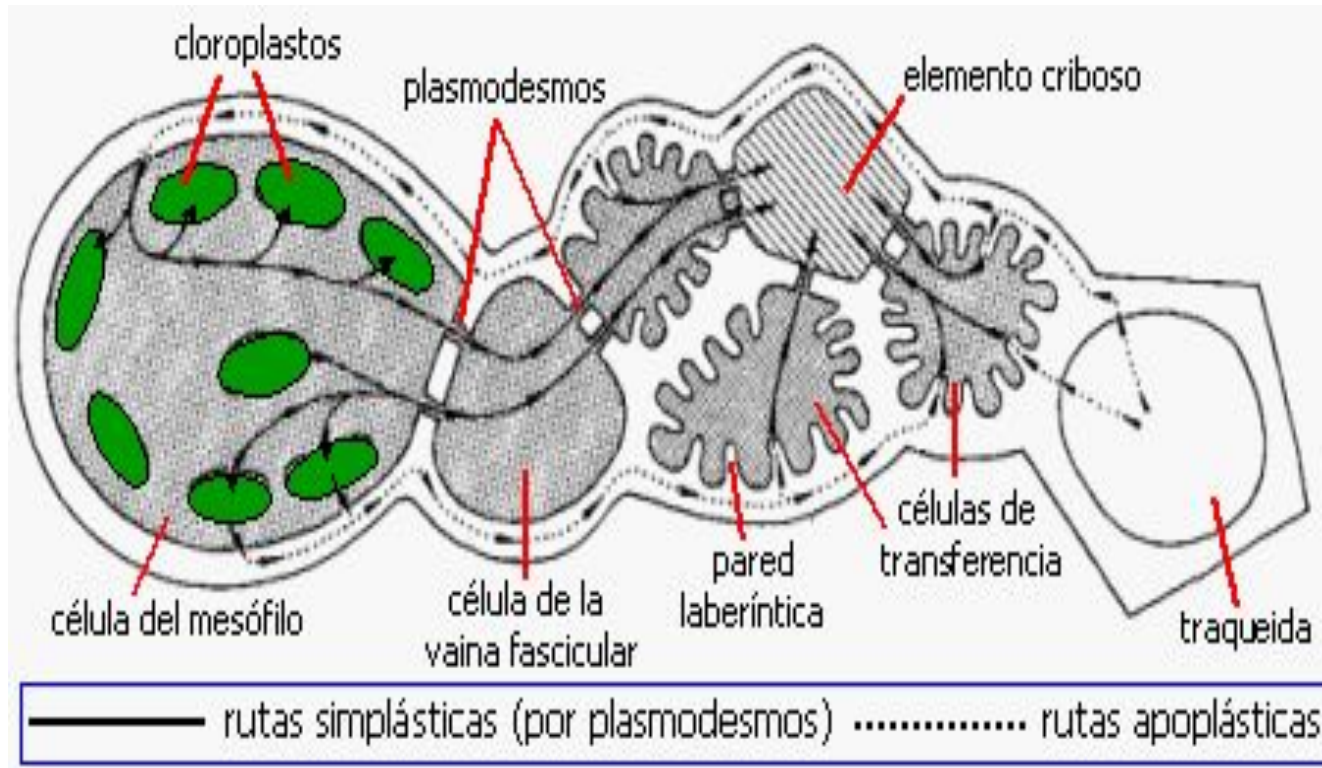
В цитоплазме триозы расходуются на дыхание, синтез гексоз, сахарозы, крахмала. Это позволяет снижать концентрацию триозофосфатов в цитоплазме, что способствует их притоку по градиенту концентрации.

Образующаяся сахароза не накапливается в цитоплазме, а экспортируется или временно аккумулируется в вакуолях, образуя резервный пул

## 2.2. Межклеточный паренхимный транспорт

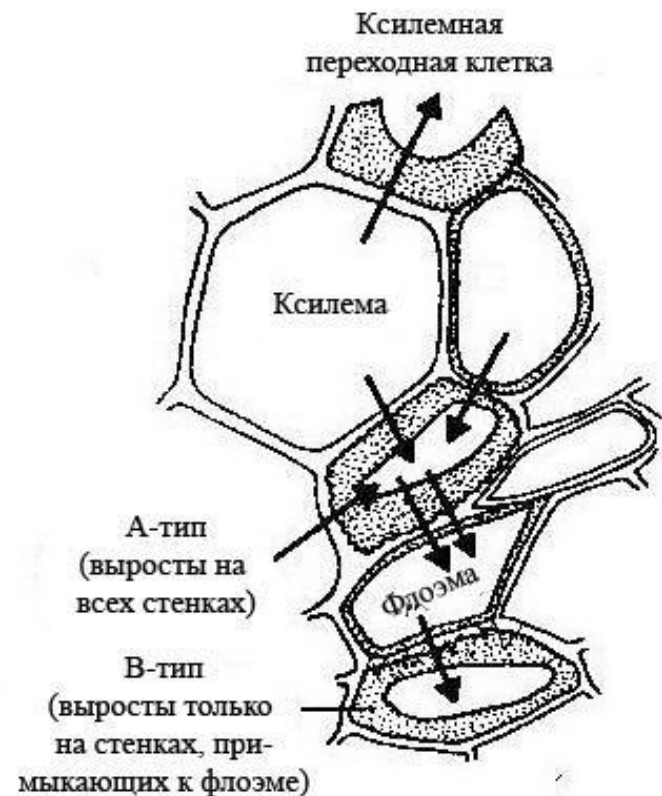
Ближний транспорт может осуществляться двумя путями — по плазмодесмам (симпласту) или по апопласту.

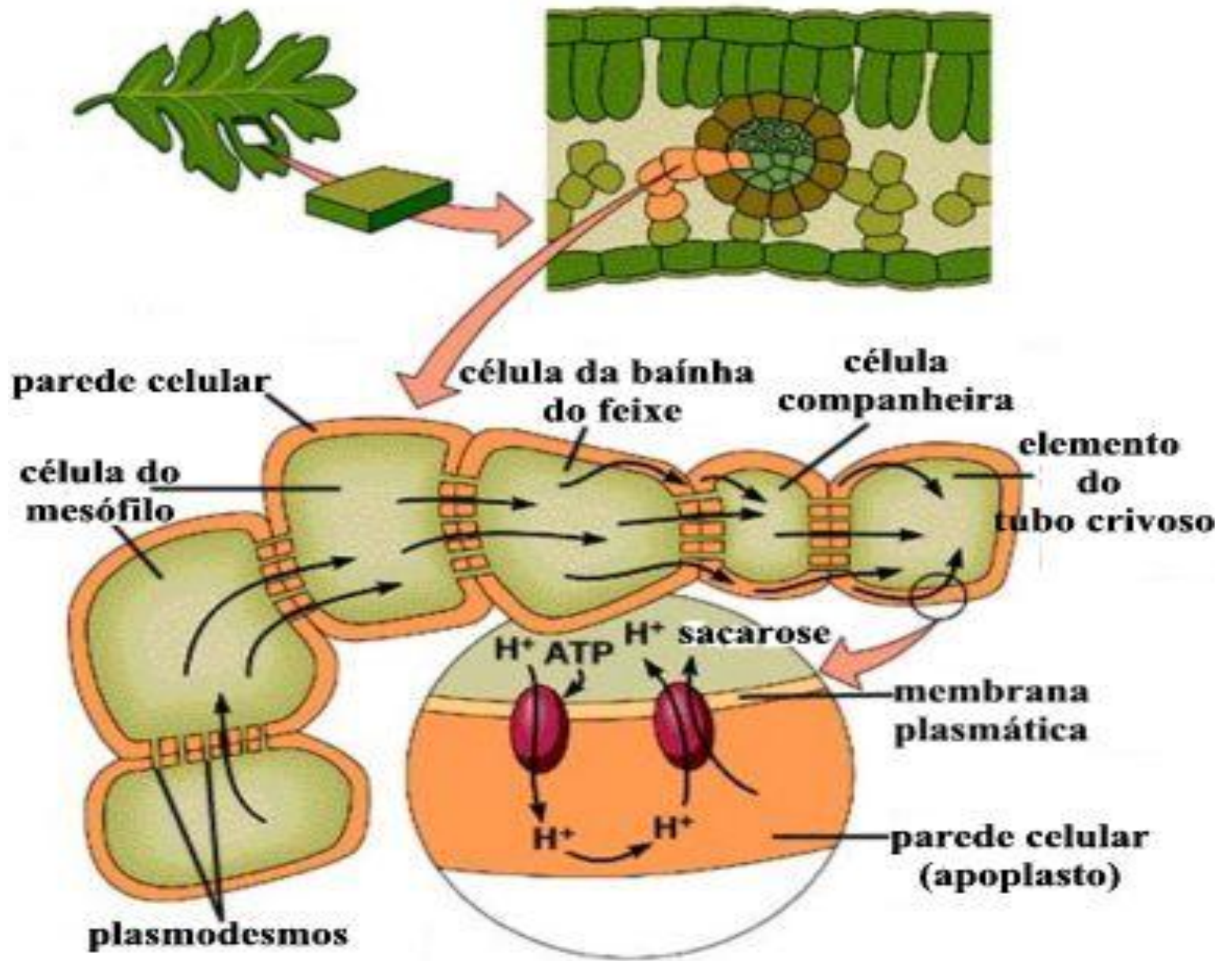
Скорость перемещения ассимилятов в паренхимных тканях 10—60 см/ч



Из апопласта и симпласта ассимиляты  
поступают в сопровождающие  
(передаточные) клетки (посредники  
между клетками листовой паренхимы  
и ситовидными трубками)

Имеют многочисленные выросты  
клеточных стенок. Благодаря выростам  
поверхность плазмалеммы возрастает.  
Одновременно это увеличивает  
емкость свободного пространства и  
создает благоприятные условия для  
абсорбции веществ







## 2.3. Флоэмный транспорт

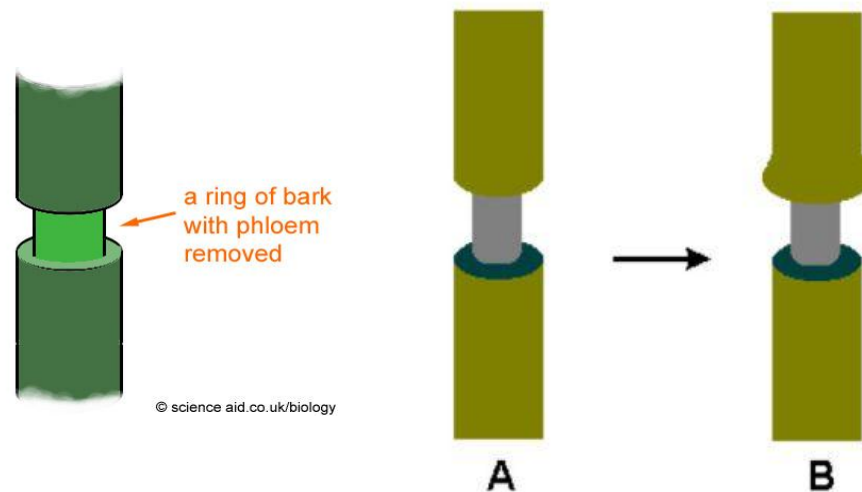
### Доказательства флоэмного транспорта

1) Кольцевание, 1679 г.  
итал. Марчелло  
Мальпиги.

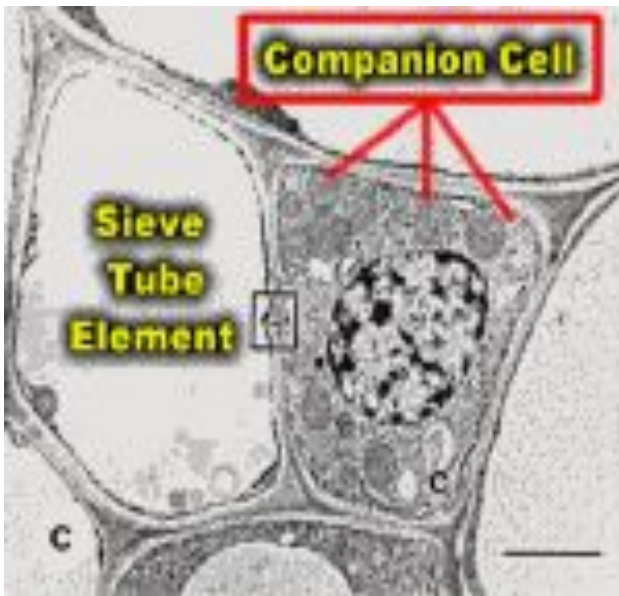
2) Использование  
радиоактивных  
меток  $^{14}\text{CO}_2$ .

3) Метод получения  
флоэмного сока с  
помощью сосущих  
насекомых.

Эта методика получила  
название афидная (от лат.  
тли — *Aphidoidea*)



Выделяется медвяная роса - падь

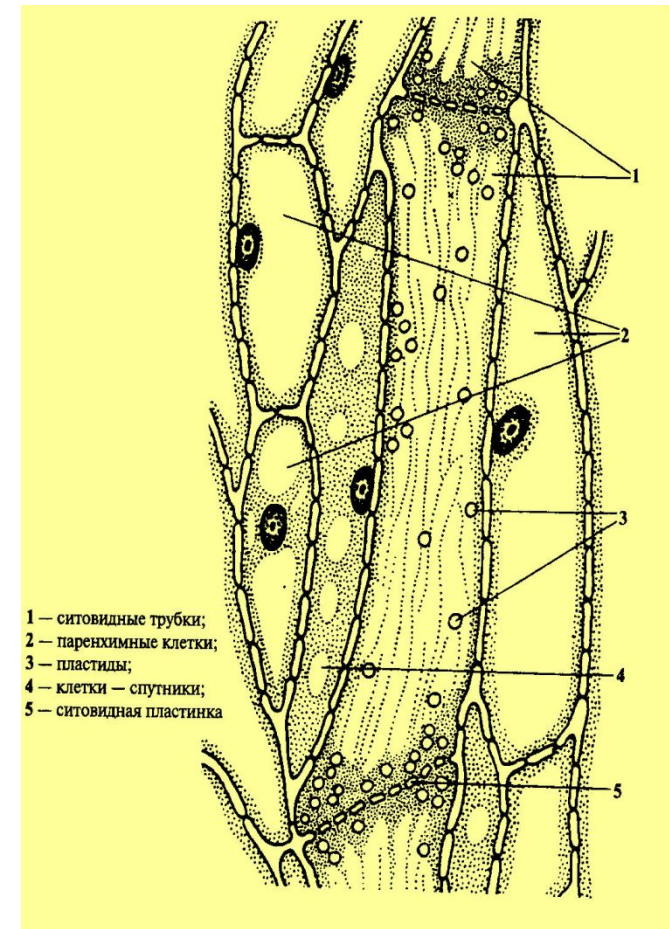


# Структура флоэмы

В отличие от ксилемы флоэма представляет собой совокупность живых клеток.

Флоэма состоит из нескольких типов клеток, специализированных в метаболическом и структурном отношении:

- ситовидные трубки (ситовидные клетки) - транспортная функция
- клетки-спутницы - энергетическая роль
- передаточные клетки.





célula companheira

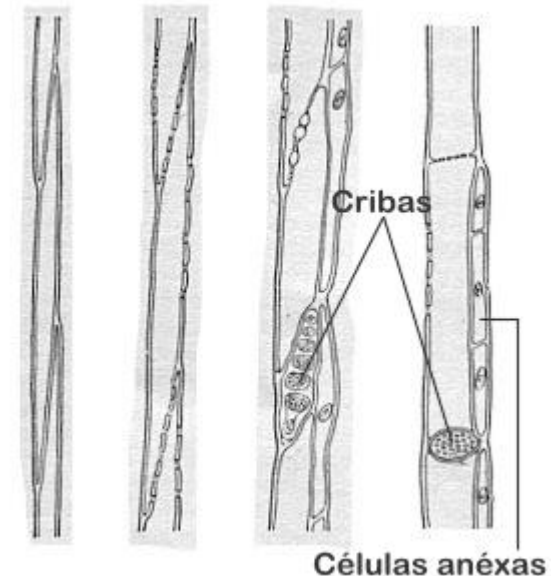
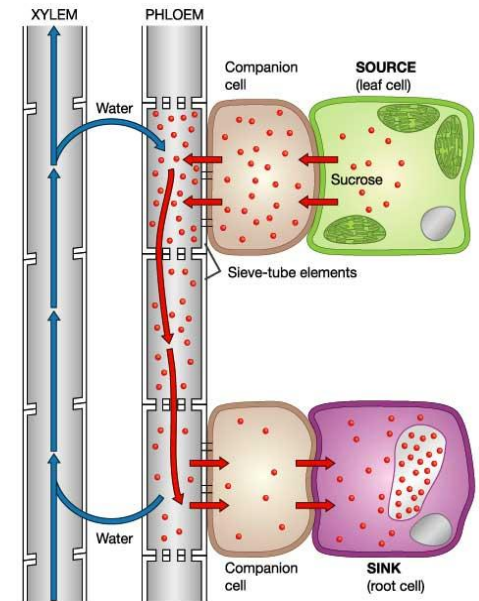
célula do tubo crivoso

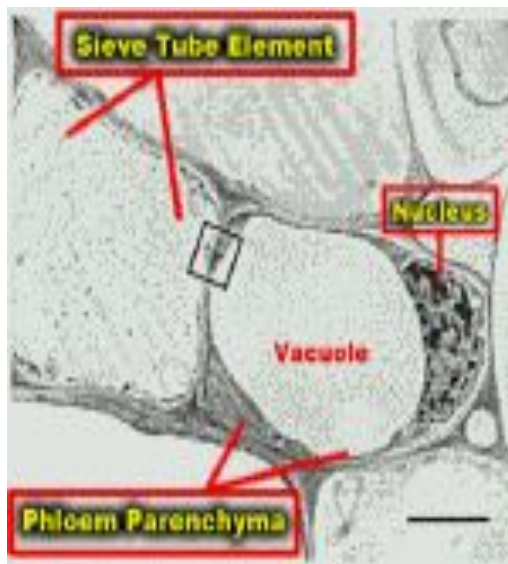
placa crivosa

5 μm

# Особенности ситовидных трубок

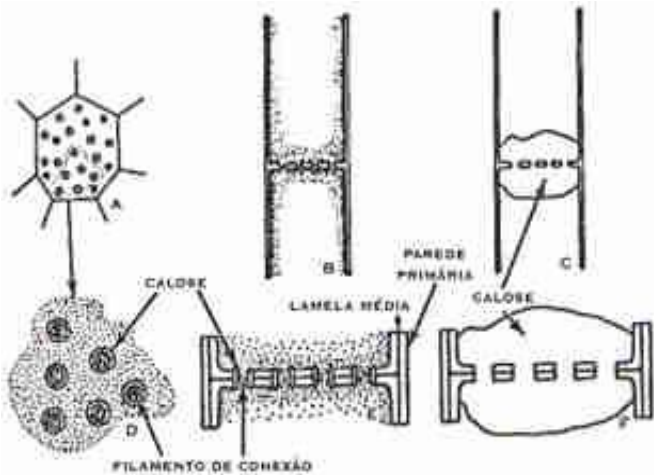
- протопласты с ограниченной метаболической активностью;
- система межклеточных контактов посредством ситовидных полей СП;
- вертикальные ряды вытянутых цилиндрических клеток с тонкими клеточными оболочками.
- клетки (членики) отделены друг от друга ситовидными пластинками, пронизанными многочисленными порами, через которые проходят цитоплазматические тяжи.





По мере развития структура СТ претерпевает изменения:

- распадается ядро;
- уменьшаются размеры и количество пластид и митохондрий;
- исчезает тонопласт, на месте вакуоли образуется полость
- ЭПР гладкий, в виде стопок.
- цитоплазма располагается в пристенном слое.
- плазмалемма сохраняется в зрелых клетках



В порах ситовидных пластинок откладывается углевод каллоза и флоэмный белок (Ф-белок)

# Клетки-спутницы

Примыкают к каждой клетке  
ситовидной трубки.

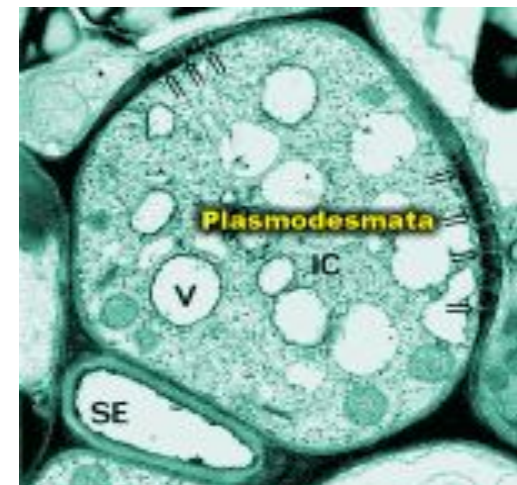
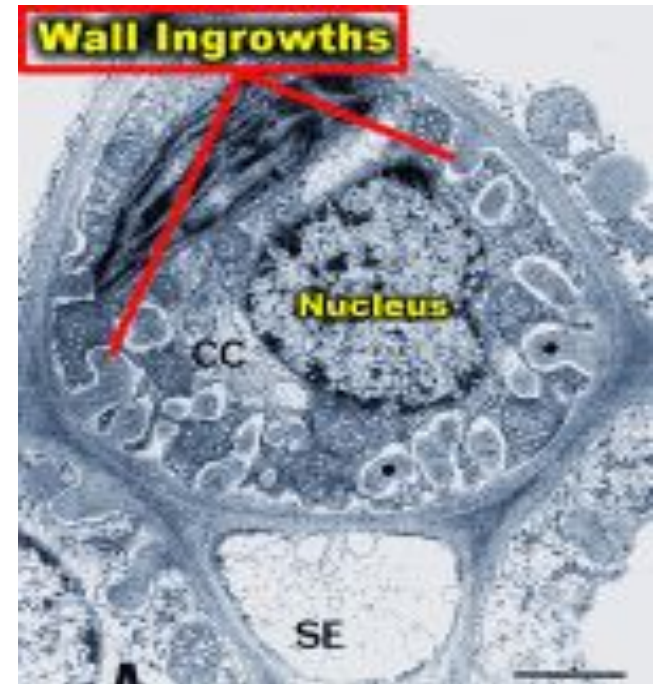
Богаты цитоплазмой

Крупное ядро и ядрышко,

Многочисленные митохондрии и  
рибосомы

Имеют высокую  
метаболическую активность,  
снабжают ситовидные трубки  
АТФ.

Клетки- спутницы и ситовидные  
трубки связаны между собой  
плазмодесмами.



# Состав флоэмного экссудата

Composition of White Lupine Xylem & Phloem Sap		
Substance	Xylem Sap (mg l-1)	Phloem Sap (mg l-1)
Sucrose	*	154,000
Amino acids	700	13,000
Potassium	90	1,540
Sodium	60	120
Magnesium	27	85
Calcium	17	21
Iron	1.8	9.8
Manganese	0.6	1.4
Zinc	0.4	5.8
Copper	T	0.4
Nitrate	10	*
pH	6.3	7.9

Концентрация флоэмного сока колеблется в пределах от 8 до 20%. На 90% или более флоэмный сок состоит из углеводов, в основном из дисахарида сахарозы ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ). У некоторых видов наряду с сахарозой транспортной формой углеводов служат: олигосахара (**раффиноза, вербаскоза, стахиоза**) – Березовые, Мальвовые, Вязовые, Тыквенные некоторые спирты (**маннит** - Маслиновые, **сорбит** - Розоцветные, **дульцит** - Бересклетовые). Моносахариды (глюкоза и фруктоза) составляют малую долю передвигающихся углеводов. Азотистые вещества транспортируются по флоэме в виде аминокислот и амидов. Во флоэмном соке обнаружены низкомолекулярные белки, органические кислоты, фитогормоны, витамины, неорганические ионы.

Отличительной особенностью флоэмного сока является слабощелочная реакция (pH = 8,0-8,5), высокая концентрация АТФ и ионов  $K^+$ .

## Особенности передвижения по флоэме

- Высокая скорость - 50—100 см/ч (по симпласту 6 см/час).
- Большое количество переносимого материала. За вегетационный период вниз по стволу может пройти 250 кг сахара.
- Перенос на большие расстояния – до 100 м.
- Относительная масса флоэмы не велика.
- Ситовидные трубки очень тонкие – диаметр 30 мкм (толщина волоса – 60-71 мкм).

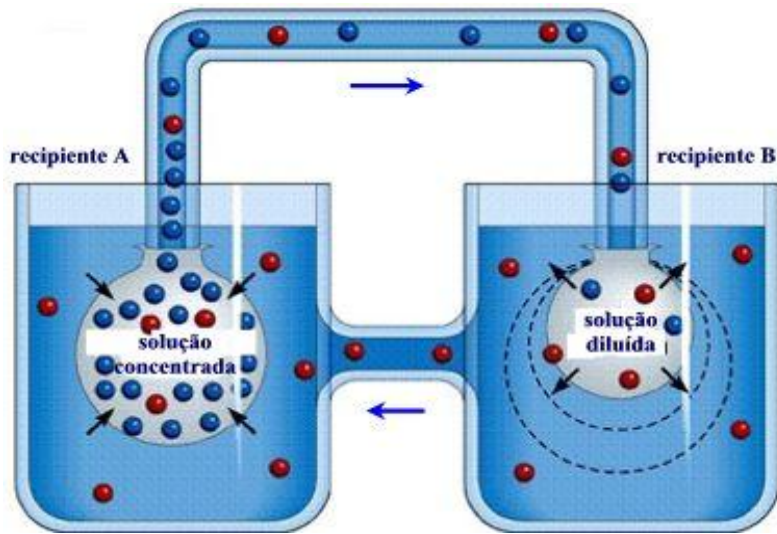


# Влияние условий внешней среды

Транспорт веществ по флоэме зависит:

- **от температуры.** Оптимальная температура 20 и 30 °С.
- **условия минерального питания** (бор, фосфор, калий ускоряют скорость передвижения сахарозы).
- **вода**
- **связь с метаболизмом:** тормозится в присутствии всех метаболических ингибиторов (азид натрия, йодацетат, динитрофенол и др.) и ускоряется при добавлении АТФ.

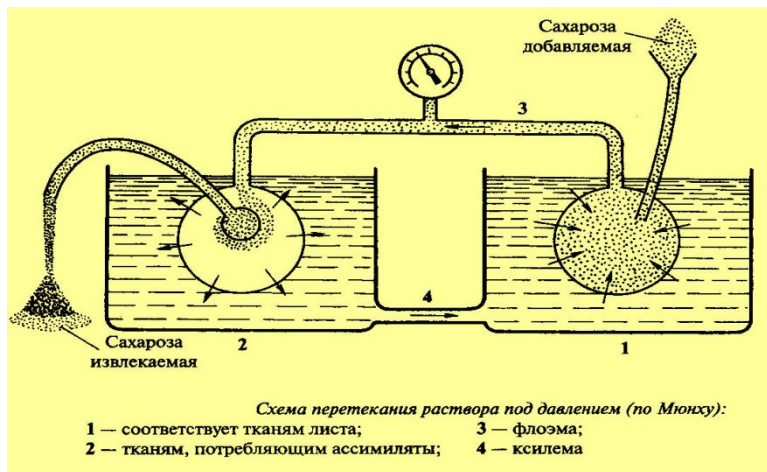
# Механизм флоэмного транспорта



**Гипотеза «массового тока»**  
Выдвинута в 1930 г. Э. Мюнхом.

Ассимиляты транспортируются от источника (А) к месту потребления (В) по градиенту тургорного давления, возникающего в результате осмоса.

Между В и А создается осмотический градиент, который в СТ превращается в градиент гидростатического давления. В результате во флоэме возникает ток жидкости под давлением от листа к корню.



# Гипотеза электроосмотического потока

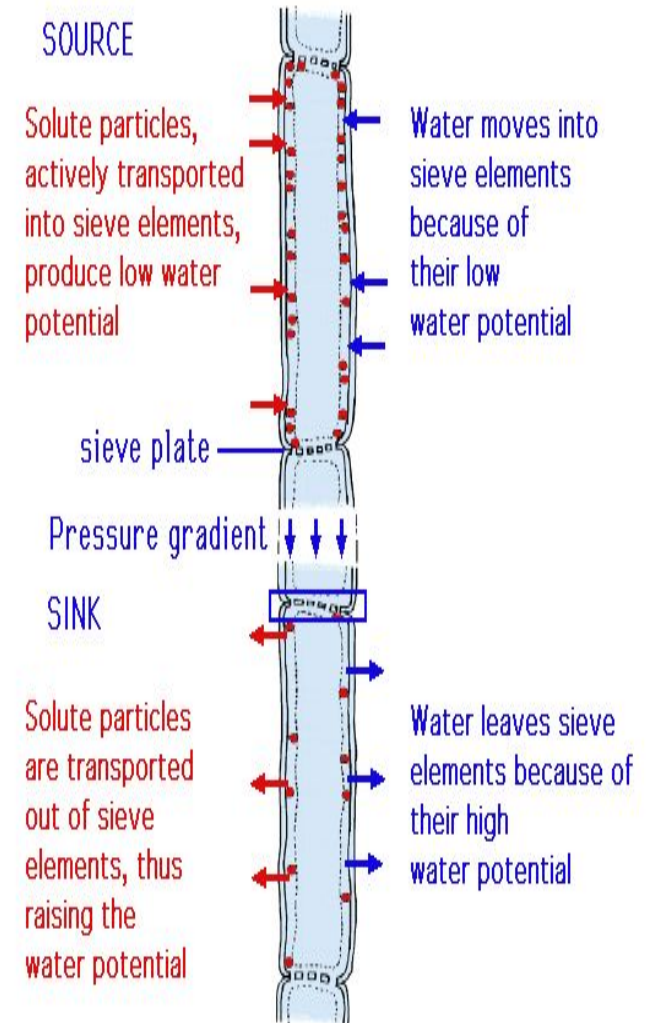
Выдвинута в 1979 году Д. Спаннером

На каждой ситовидной пластинке возникает электрический потенциал, что связано с циркуляцией ионов  $K^+$ .

$K^+$  активно (с затратой энергии АТФ) поглощается выше ситовидной перегородки и проникает через нее в нижний членик.

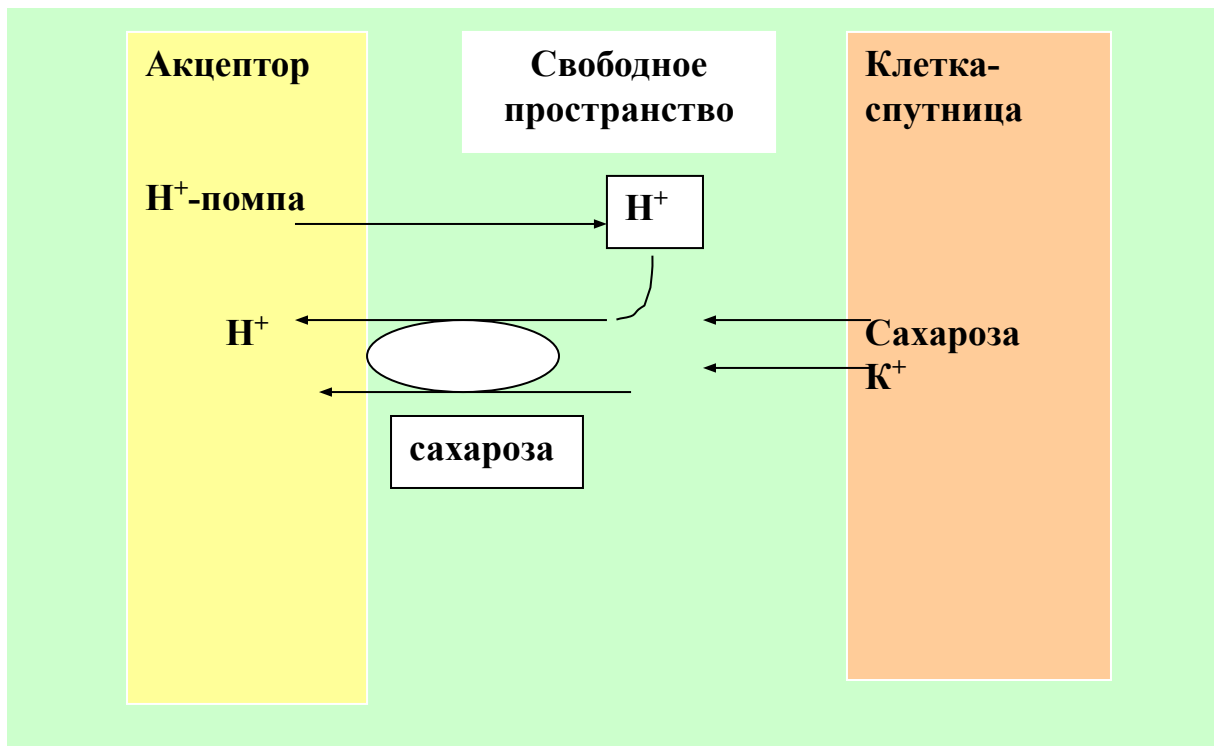
По другую сторону перегородки ионы  $K^+$  пассивно выходят в сопровождающую клетку. Активное поступление  $K^+$  с одной стороны ситовидной трубки обеспечивается тем, что ассимиляционный поток обогащает ситовидную трубку АТФ.

Возникающий на каждой ситовидной пластинке электрический потенциал и является движущей силой потока сахарозы по флоэме.



# Разгрузка флоэмы

В плазмалемме акцепторов работает  $H^+$ -помпа.  $H^+$  выкачиваются (апопласт закисляется), что способствует отдаче  $K^+$  и сахарозы. Возникает  $\Delta pH$ , что приводит к поступлению  $H^+$  в симпорте с сахарозой ( $H^+$  по градиенту, сахароза – против).



# 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

