

# ***ПРОВОДЯЩИЕ ТКАНИ***



*Симпластный транспорт – транспорт по  
цитоплазматическому  
континууму*

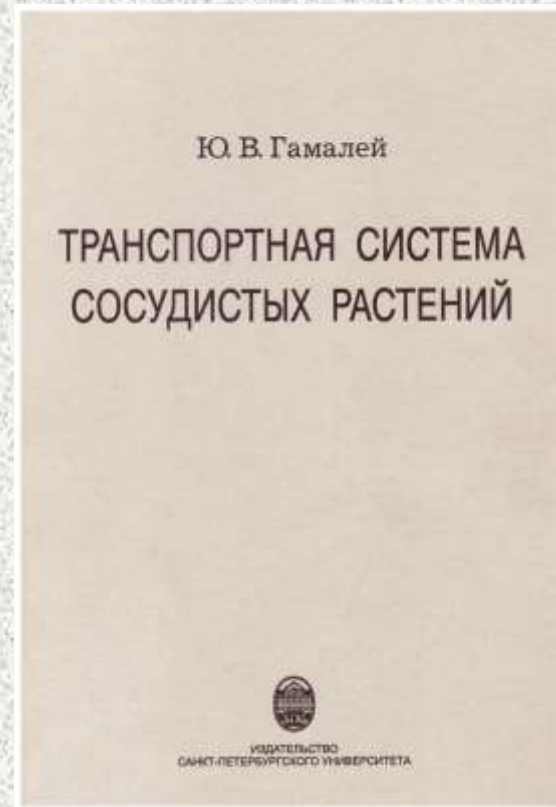
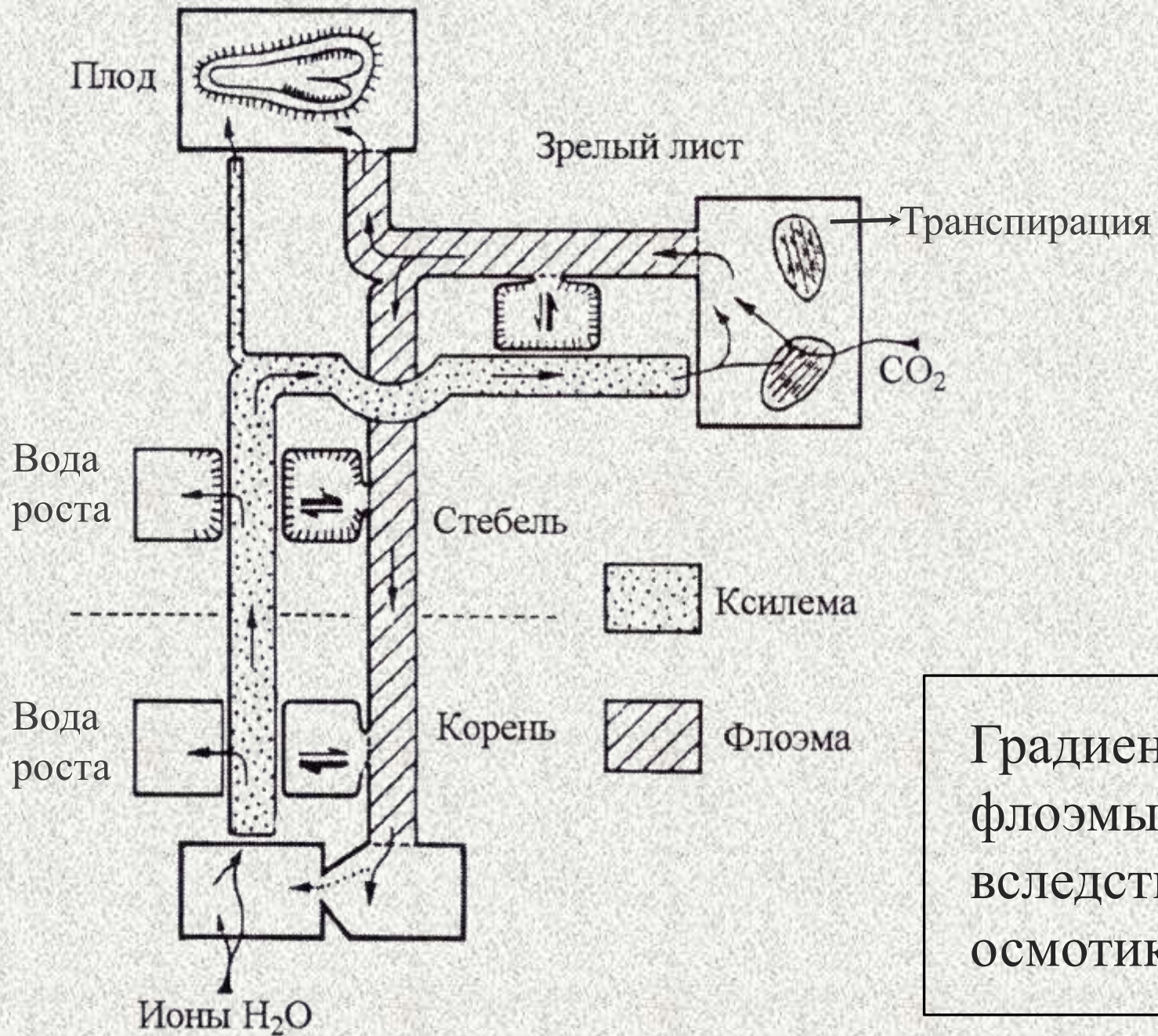
*Эндопластный транспорт – транспорт по  
межклеточной  
эндоплазматической  
сети, включая вакуоли*

*Апопластный транспорт – транспорт по  
межклеточной  
экзоплазматической  
сети*



***Проводящие ткани  
обеспечивают направленный  
транспорт веществ на  
большие расстояния***





Градиент давления вдоль русла флоэмы и ксилемы возникает вследствие разницы концентрации осмотиков в терминалях листа и корня

Распределение транспортных потоков в теле растения

# ***Аксиомы транспортной концепции:***

1. открытая система циркуляции водных растворов
2. цитоплазматическая вода прочно связана и ее вклад в циркуляцию воды по транспортной системе невелик
3. циркуляция воды апопласта и эндопласта подчинена законам осмоса
4. баланс циркулирующей по проводящим тканям и паренхиме воды контролируется не только почвенным поглощением и устьичным выделением, но и локальным синтезом и гидролизом органических осмотиков



*Ксилема и флоэма, несмотря на различие направлений потоков и типов транспорта, имеют заметное сходство в структуре.*



# ***Ксилема и флоэма ткани комплексные.***

***В их состав входят:***

- 1. собственно проводящие элементы***
- 2. механические элементы***
- 3. паренхимные клетки***



*Между механическими  
волокнами и паренхимой  
существуют промежуточные  
варианты.*



*Все паренхимные клетки  
вытянуты в том или ином  
направлении.*

*Направление растяжения  
клеток совпадает с  
направлением транспорта по  
эндопласту.*



***Ксилема***



***Ксилема реализует  
основной апопластный  
транспорт.***

***Скорость транспорта составляет 1-8 м/ч***



*Источником  
азотосодержащего потока  
кислелы селужит почвенный  
раствор веществ.*



**Ксилемная жидкость  
представляет собой 0,1–  
0,4%-ный раствор  
неорганических веществ,  
органических кислот,  
аминокислот, витаминов,  
гормонов, алкалоидов и т.п.**



*Acer saccharum*



*Весенняя пасока может  
содержать до 2,5% сахарозы*



# ***1. Трахеальные элементы***



*При дифференциации  
трахеальных элементов  
происходит лигнификация  
оболочки и автолиз  
протопласта.*





Бурая («сухая») гниль древесины  
(*Fomitopsis* sp. и др. грибы)

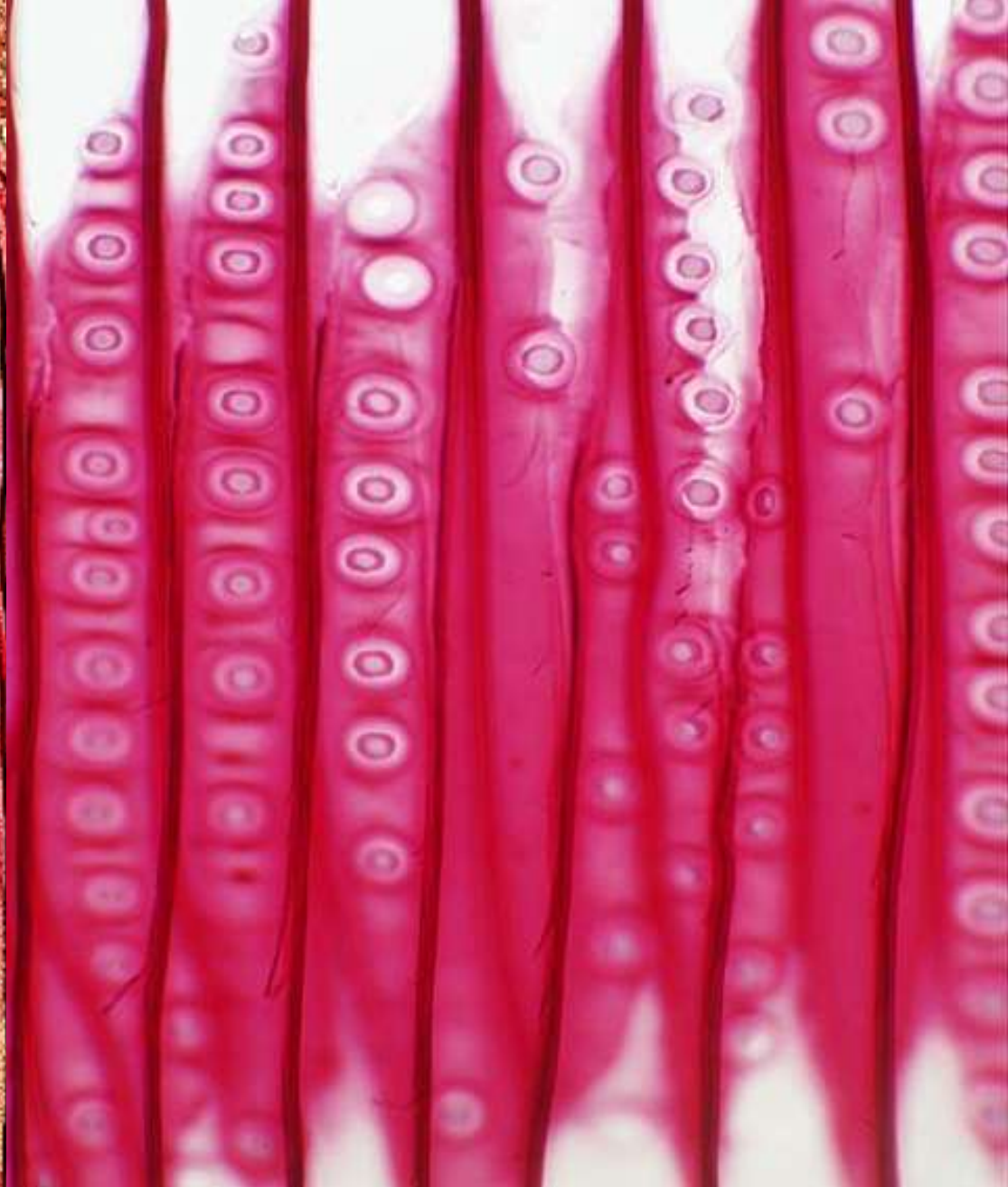
Волокнистая гниль древесины  
(*Donkioportia expansa* и др. грибы)





# ***1. Трахеальные элементы трахеиды***





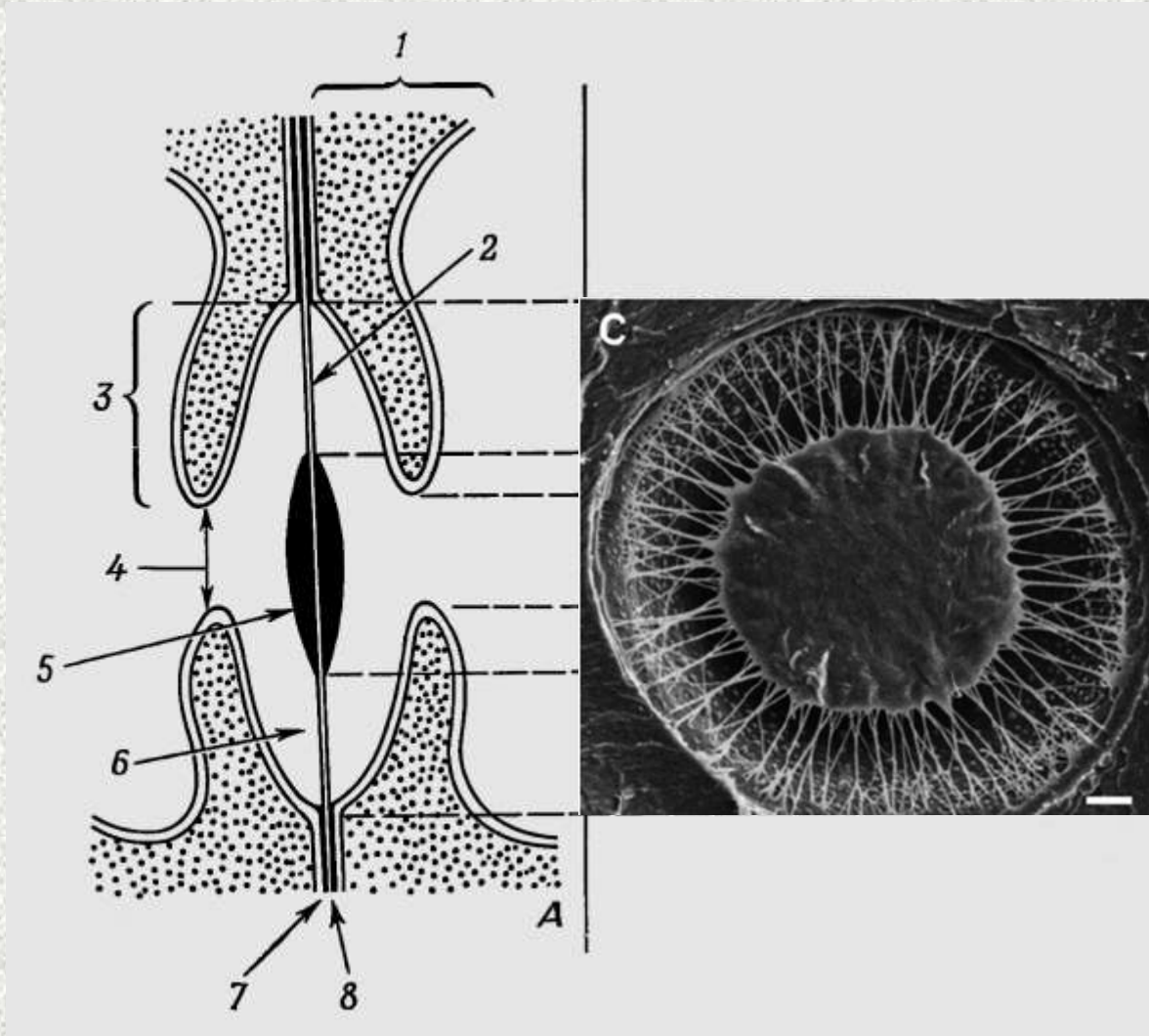
Трахеиды *Pinus* sp.



*Сопротивление одиночной окаймленной  
поры трахеиды лежит в пределах  
0,073–28 МПа.*

*При увеличении числа пор на стенке  
гидравлические потери уменьшаются  
(при прочих равных условиях) и  
составляют 0,000005–0,057 МПа.*





***Маргинальная зона замыкающей пленки поры вокруг торуса проводит растворы эффективнее гомогенной замыкающей пленки и оказывает меньшее сопротивление.***

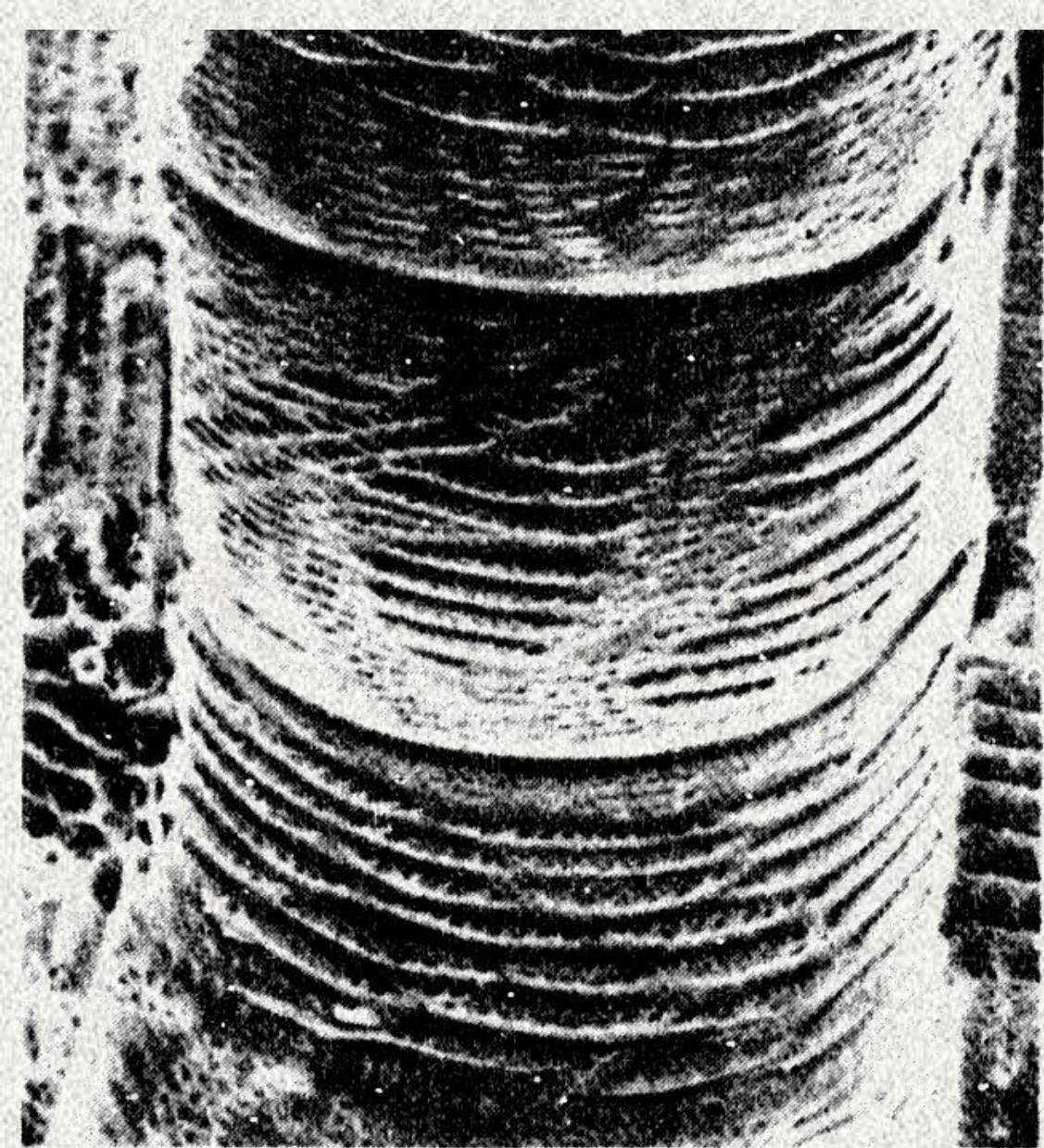
***При удалении окаймления от замыкающей пленки поры гидравлические потери уменьшаются.***

Пара пор с торусом трахеид *Pinus sp.*



***1. Трахеальные элементы  
трахеиды  
членики сосуда (трахеи)***





100 мкм

Сосуд *Quercus rubra*



*Quercus rubra*

*Fraxinus americana*



Длина сосудов может достигать нескольких метров, так у *Quercus rubra* она составляет 10,5–11 м, а у *Fraxinus americana* – до 18 м



**членик  
сосуда**

**транспорт  
растворов через  
перфорации в  
оболочке**

**членик  
сосуда**



**трахеида**

**транспорт  
растворов через  
окаймленные  
поры**

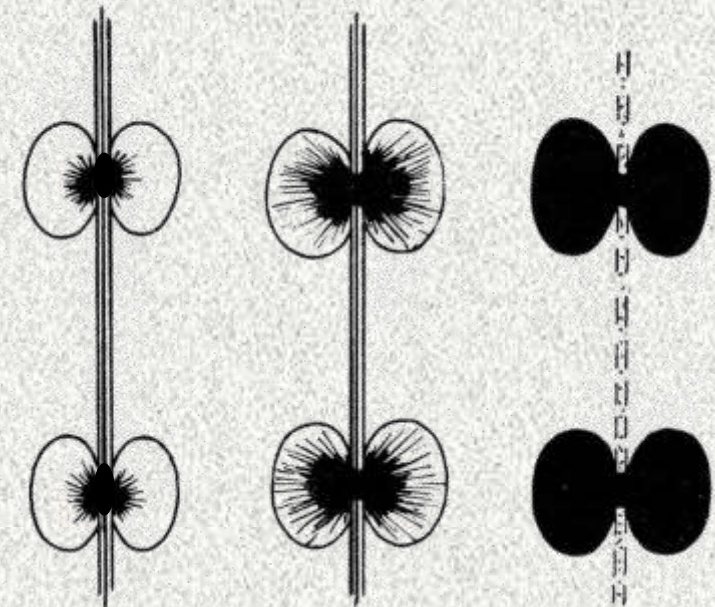
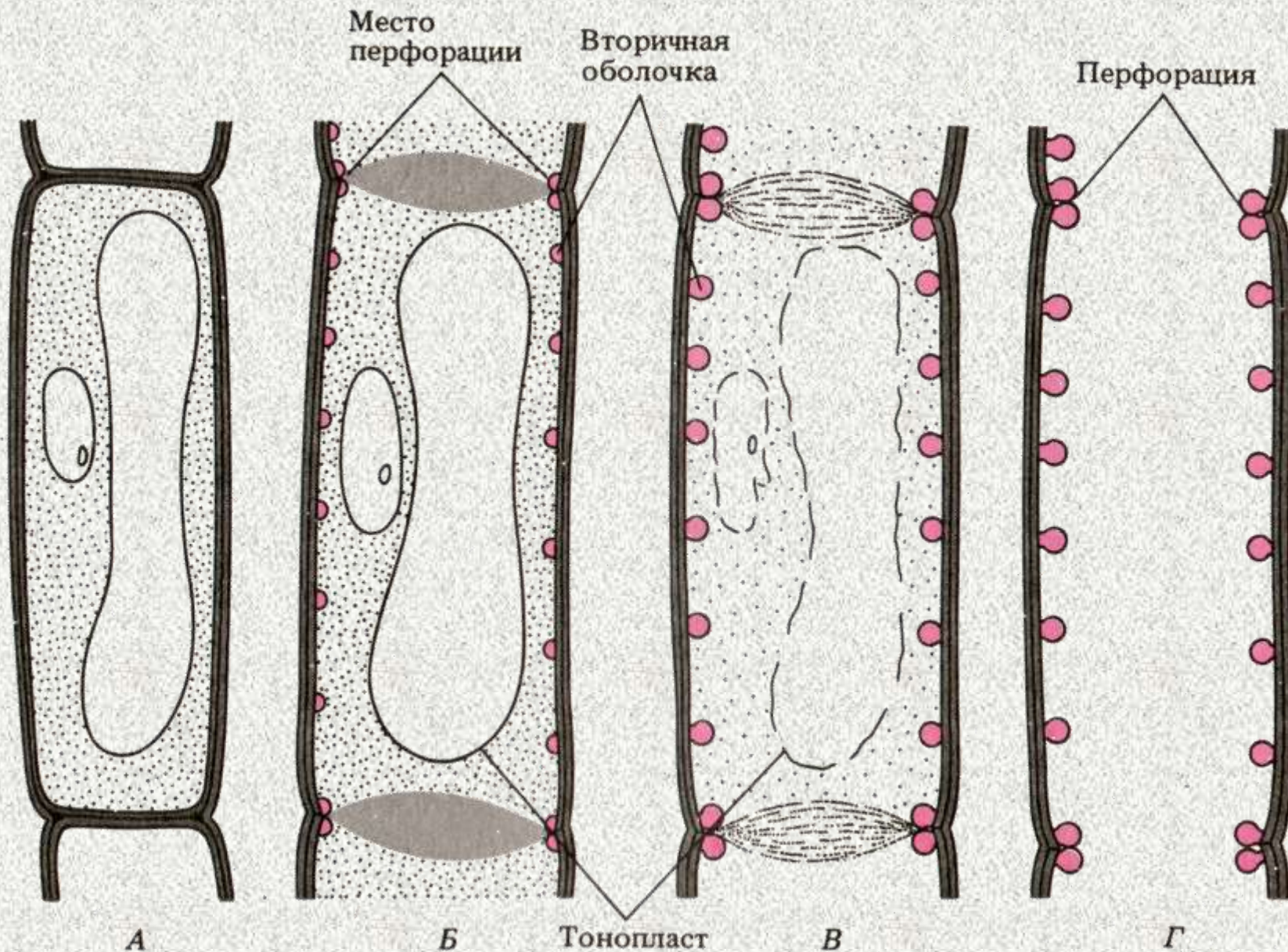
**трахеида**





***Сосуды эффективнее  
проводят воду, чем трахеиды.  
Из-за большего диаметра они  
хуже противостоят  
кавитации, чем трахеиды.***

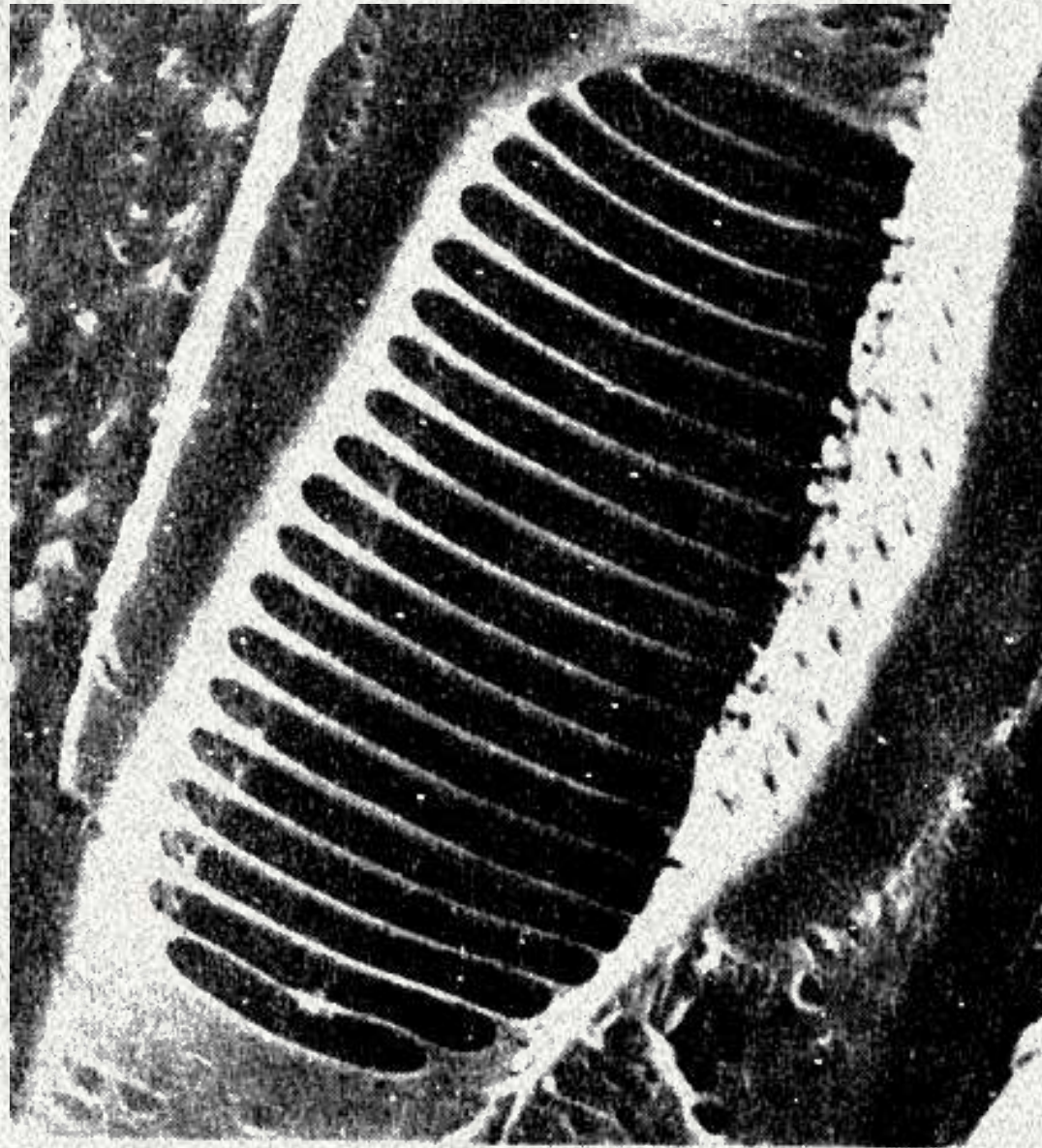




Лигнификация клеточной  
стенки сосуда

Схема развития сосуда

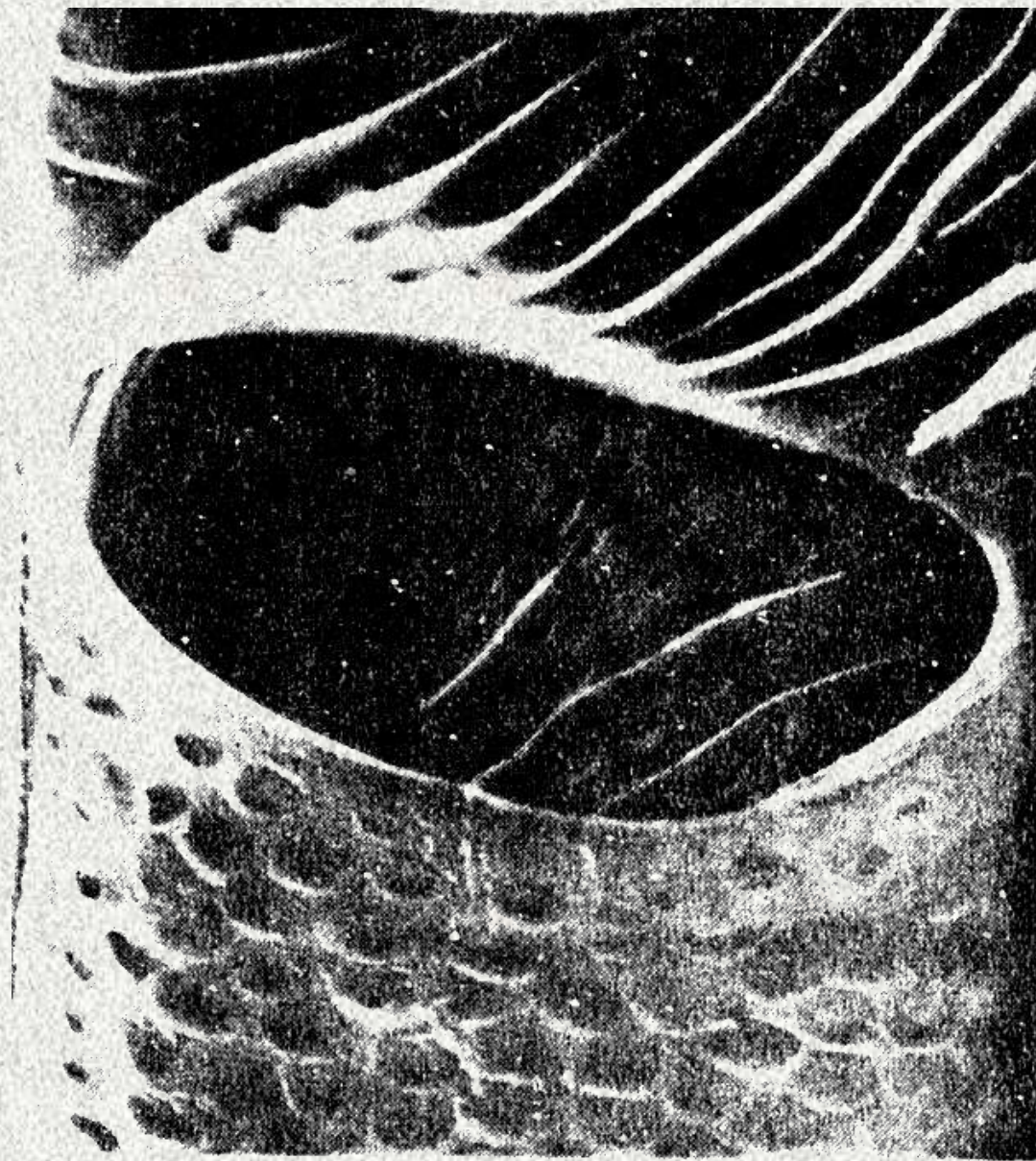




20 мкм

Сложная перфорационная пластинка в сосуде *Alnus* sp.

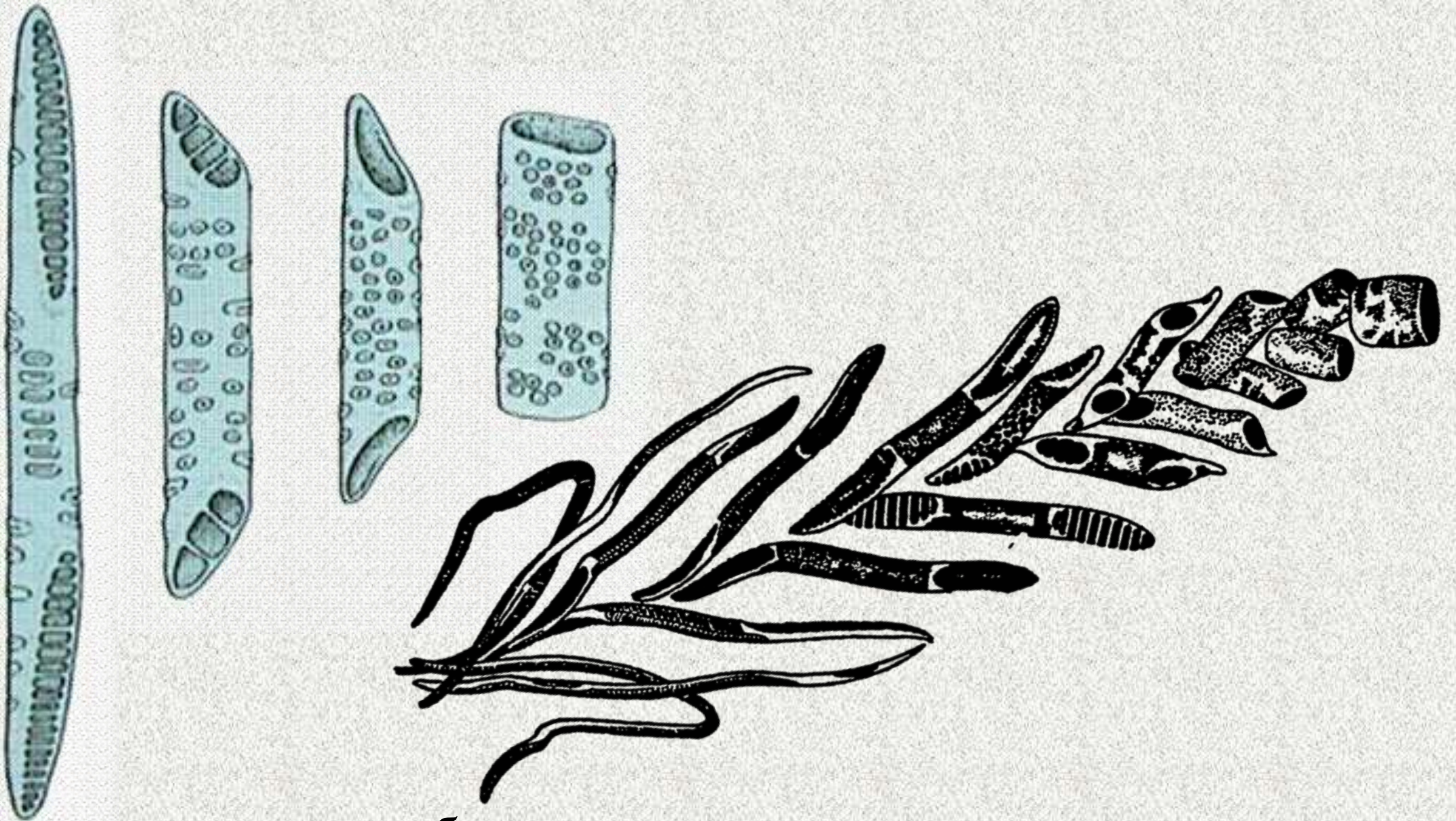




20 мкм

Простая перфорационная пластинка в сосуде *Tilia cordata*





Эволюционные преобразования трахеальных элементов древесины



*Чем длиннее и шире сосуд, тем выше его гидравлическая проводимость.*

*Гидравлическая проводимость сосуда примерно равна четвертой степени его диаметра (например, сосуды диаметром 1, 2 и 4 соответственно проводят объем раствора 1, 16 и 256).*



*При продвижении вверх по побегу гидравлическая проводимость падает из-за уменьшения сечения и длины сосудов , а также сопротивления при переходе через поры между сосудами.*

Например, в побеге *Dendranthema grandiflorum* через каждые 0,34 м гидравлическая проводимость снижается на 50%

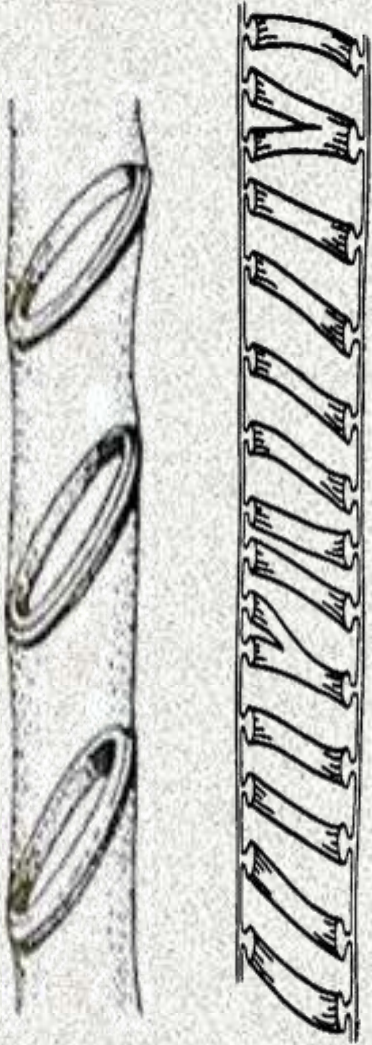




# Трахеальные элементы первичной ксилемы

протоксилема

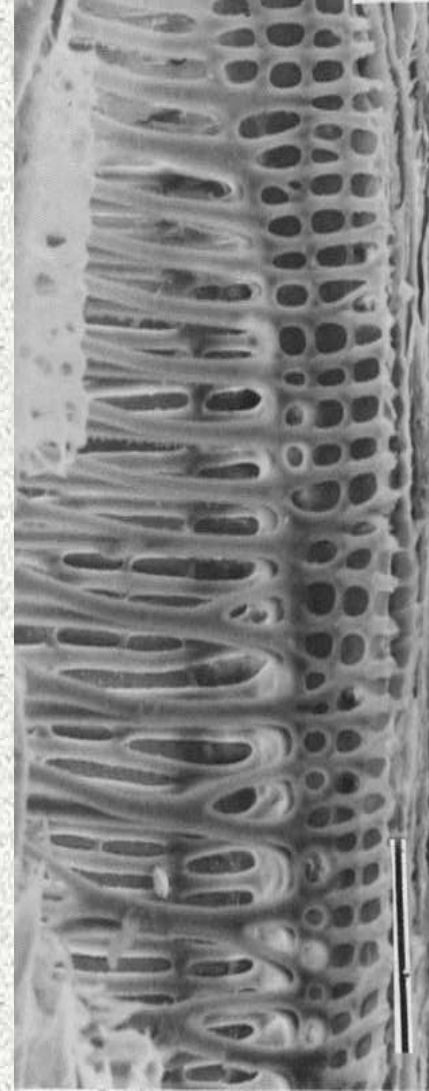
метаксилема



кольчатый



спиральный

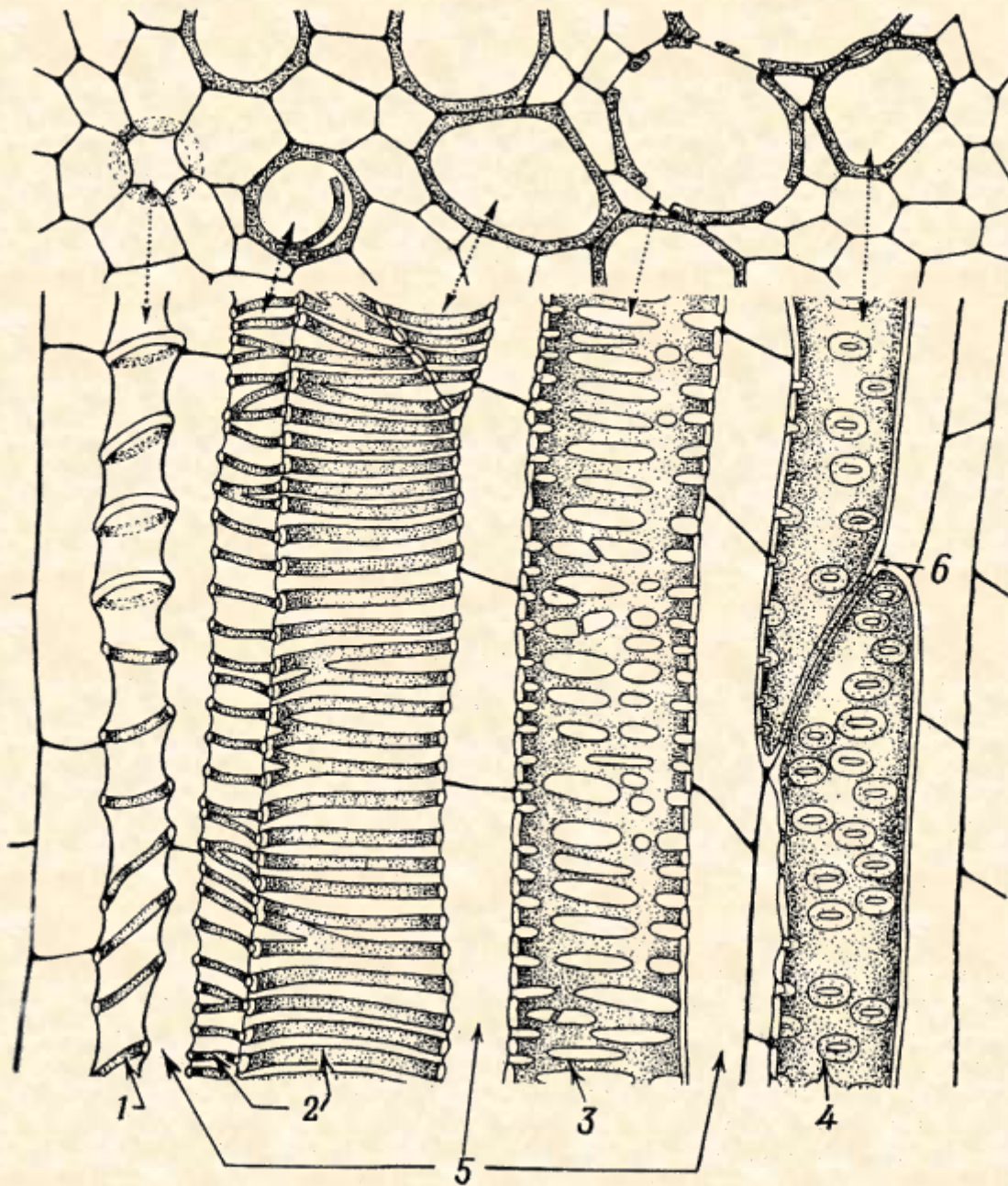


сетчатый



лестничный





Первичная прото- и метаксилема, и вторичная ксилема *Aristolochia* sp.



***1. Трахеальные элементы***

***2. Механические (волоконистые)  
элементы***

***(волоконистые трахеиды и волокна либриформа)***



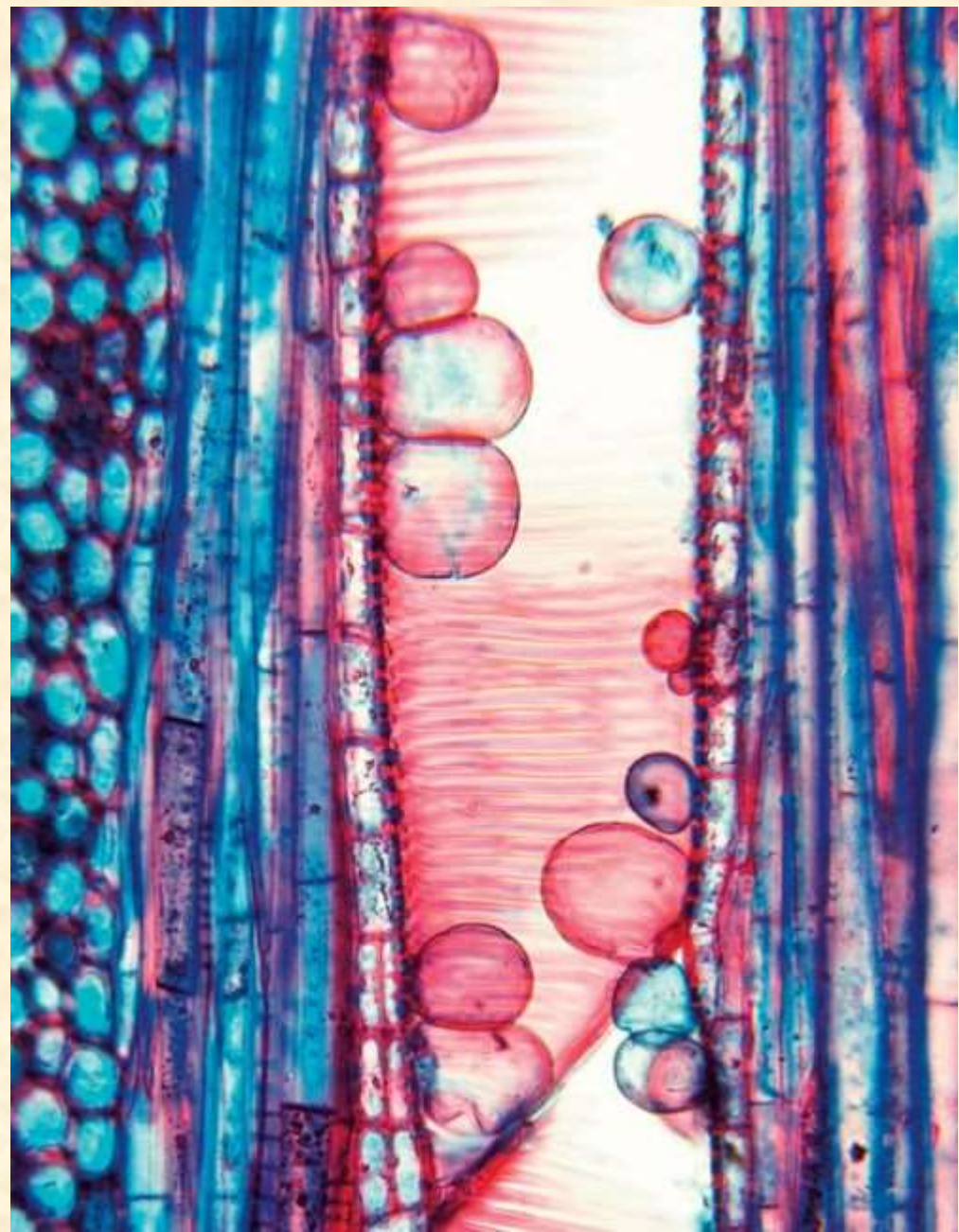
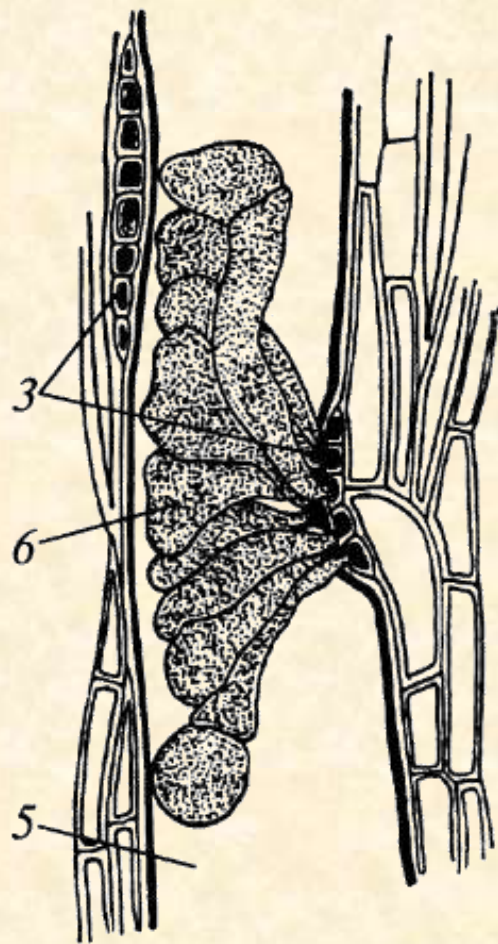


Головной убор народности Тлинкиты из древесины  
(вторичной ксилемы) корня *Picea* sp.



- 1. Трахеальные элементы*
- 2. Механические элементы*
- 3. Паренхима*





Тилозис сосуда



*Флоэма*



***Флоэма реализует  
основной эндопластный  
транспорт.***

***Скорость транспорта составляет 0,5-1,5 м/ч***



*Углеводный ток по флоэме  
формируется из продуктов  
фотосинтеза и ксилемной  
воды.*



***1. Ситовидные элементы***

***2. Паренхима***

***3. Механические волокна***



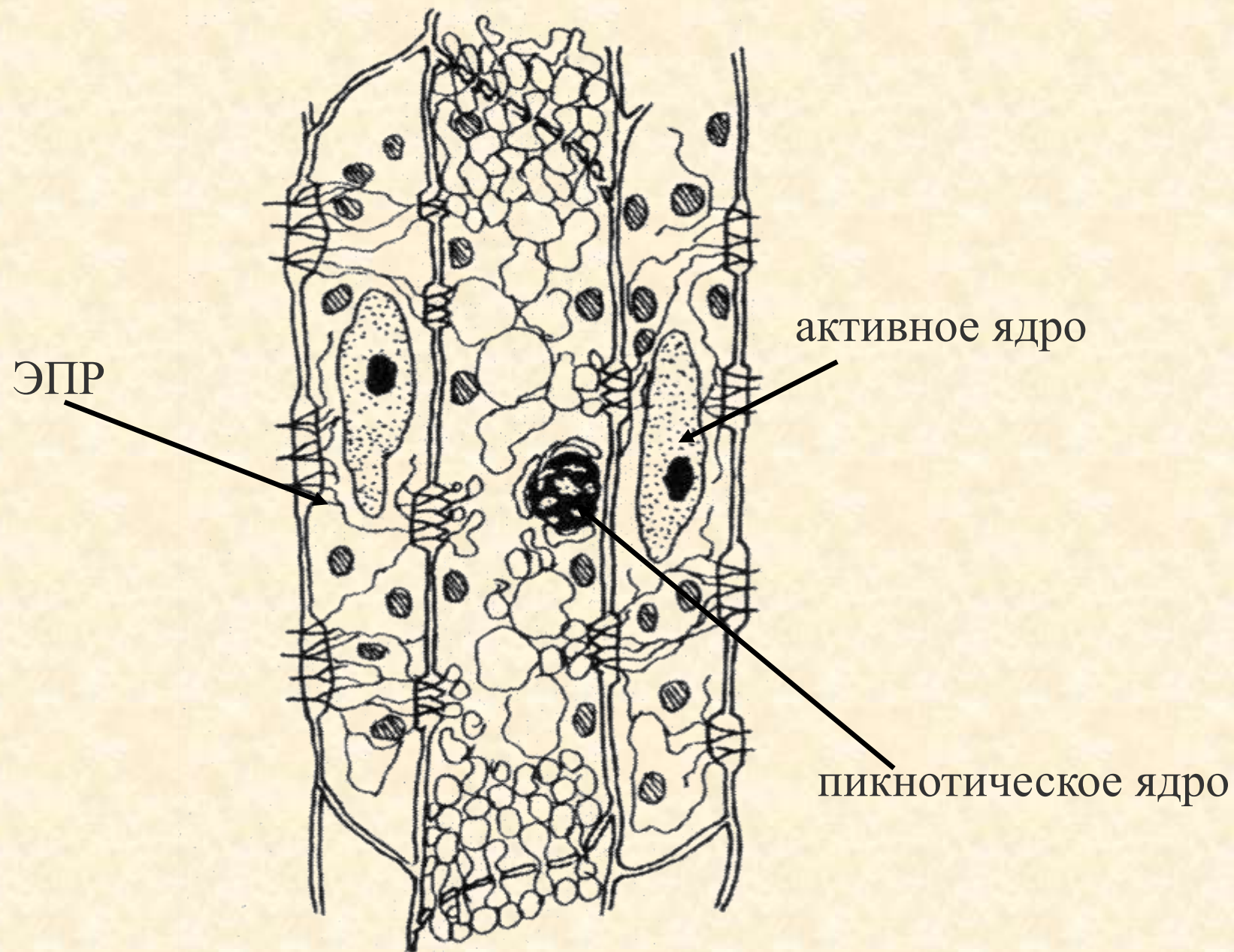
*В ситовидных элементах, при их дифференциации, сохраняется мембрана эндоплазматической сети, пластиды и митохондрии. Этим они принципиально отличаются от трахеальных элементов, в которых все мембраны разрушаются.*



# ***1. Ситовидные элементы***

## ***ситовидные клетки***





Ситовидные и паренхимные клетки голосеменных



# ***1. Ситовидные элементы***

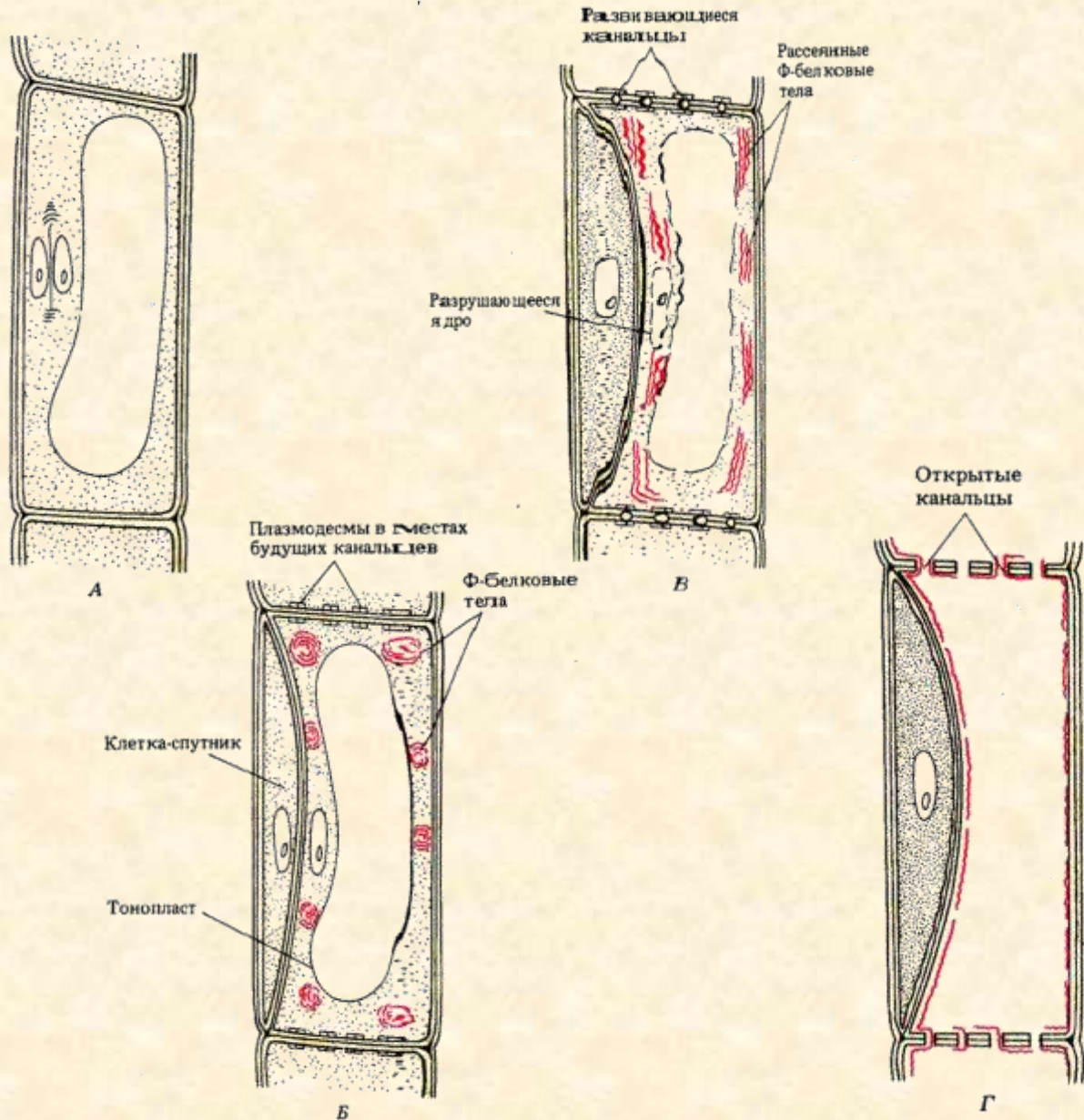
***ситовидные клетки***

***членики ситовидной трубки с***

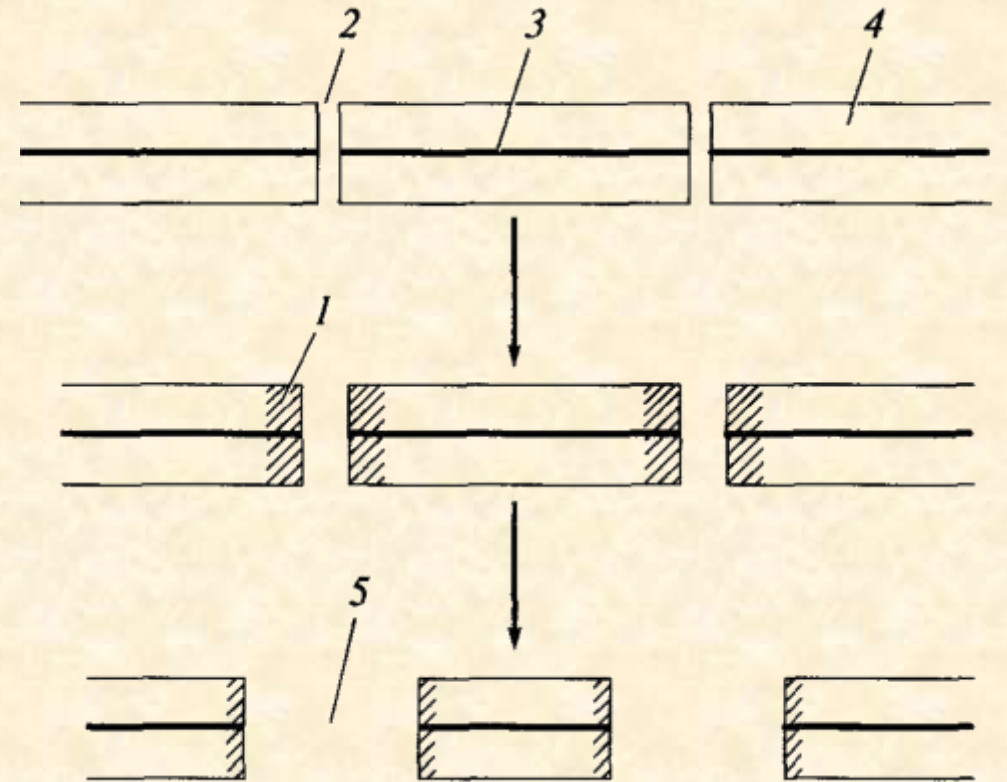
***сопровождающими клетками***



# Схема развития ситовидной трубки

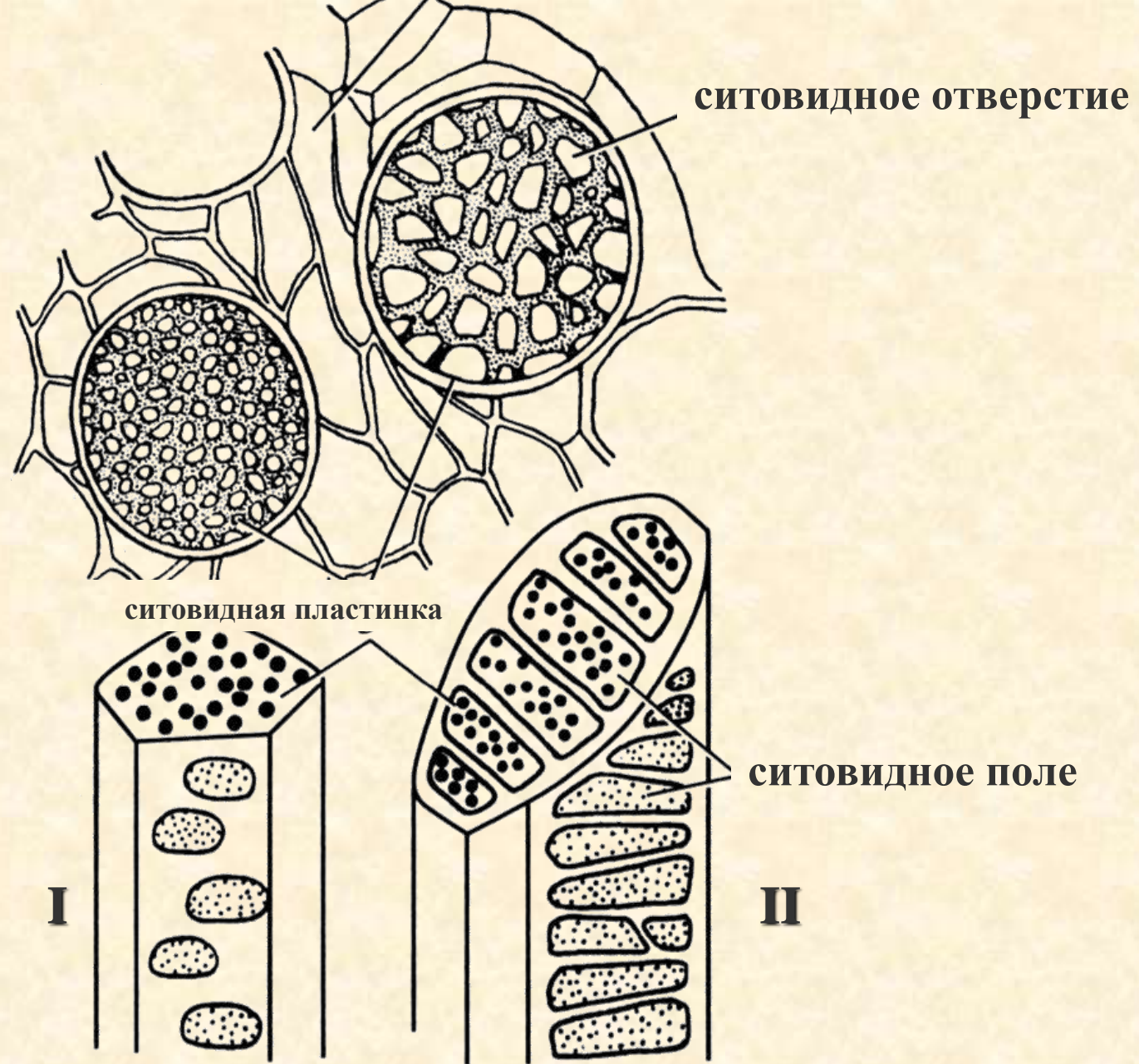


## Образование ситовидных отверстий



1 — каллоза, 2 — плазмодесма, 3 — пектиновая срединная пластинка, 4 — первичная стенка, 5 — ситовидное отверстие

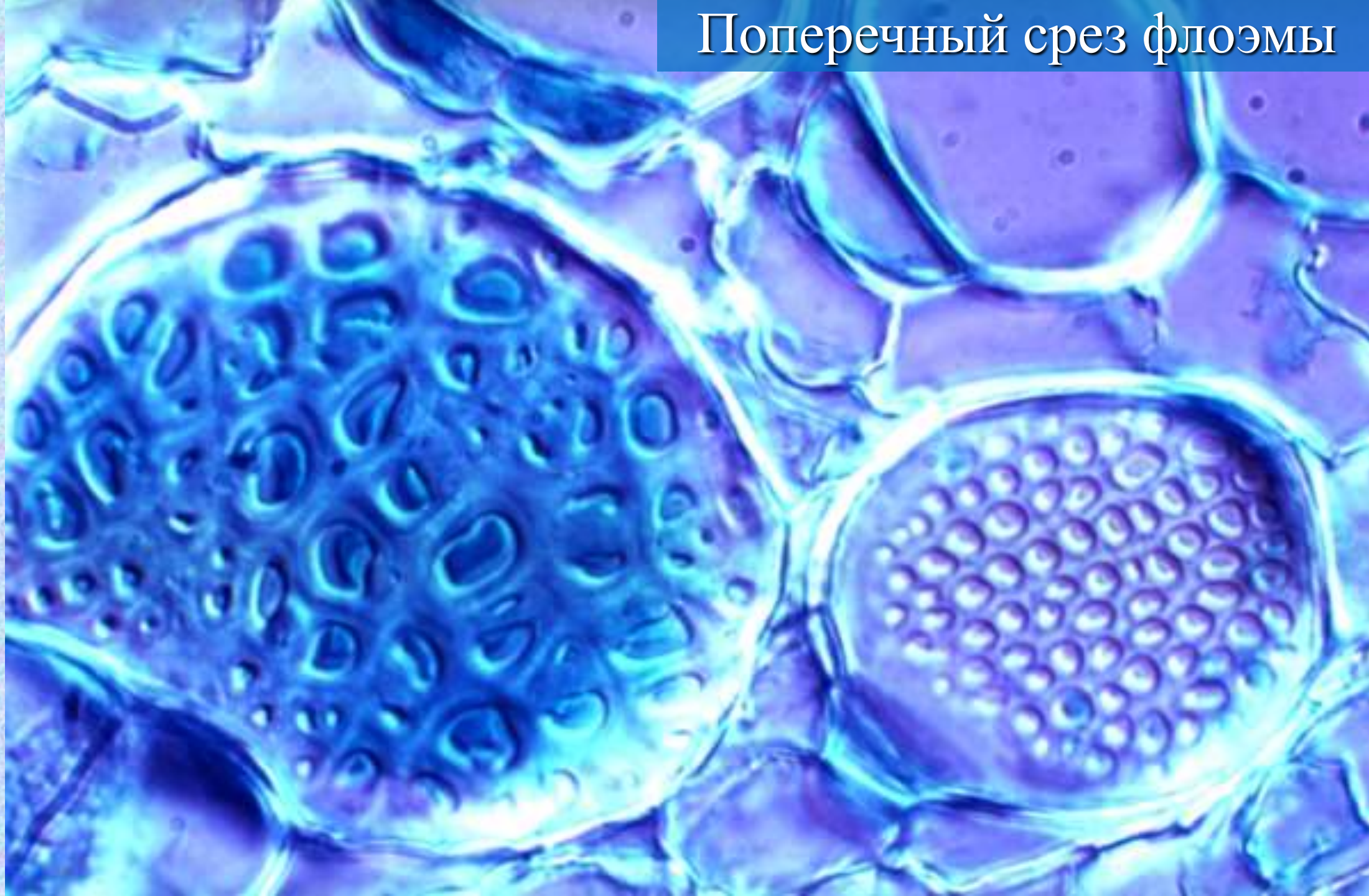




Ситовидные пластинки: I – простая; II - сложная



# Поперечный срез флоэмы





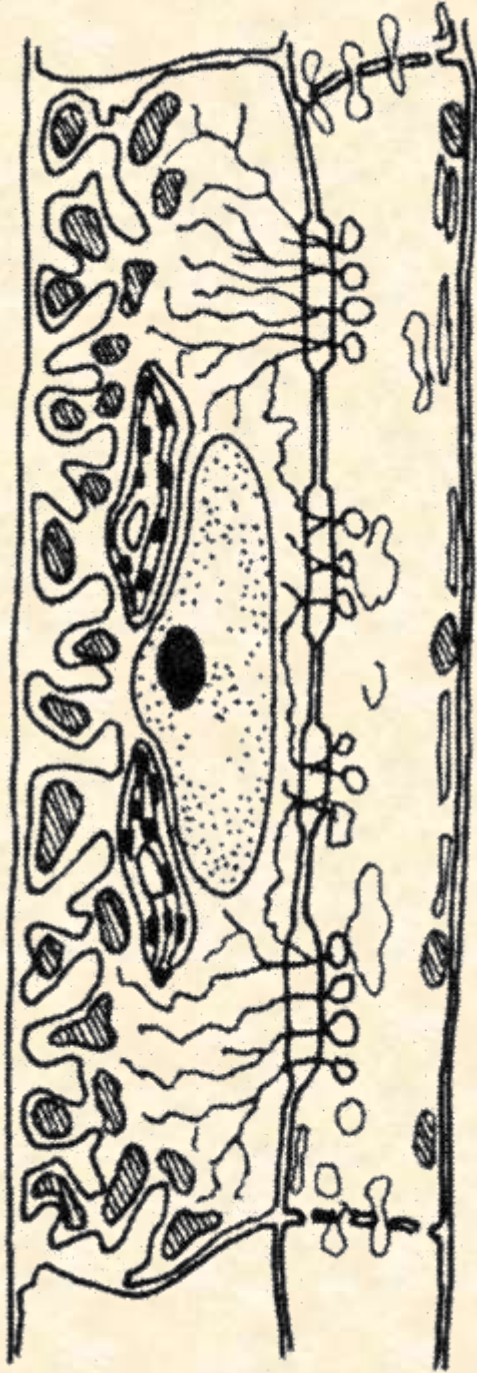


1. Несколько мелких пластид без пигментов или один амебоидный лейкопласт с плотной стромой и несколькими разрозненными тилакоидами.
2. Хондриом гипертрофирован, с гиперфункцией. Митохондрии имеют сетевую структуру, подобную структуре ЭПР. Такой хондриом описывают как митохондриальный ретикулум.

Реконструкция сопровождающей  
клетки по данным ТЭМ



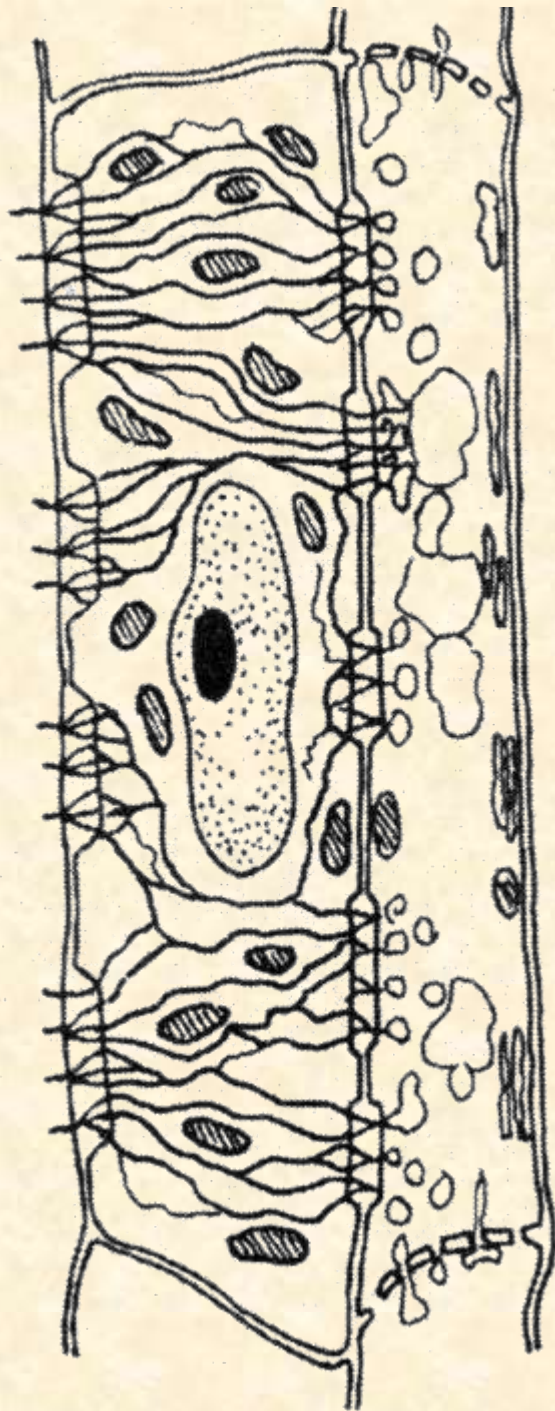
## Типы клеток спутников



Закрытые спутники — каждый ситовидный элемент имеет несколько спутников, оболочка которых образует лабиринт, с его помощью происходит перегрузка сахарозы из апопласта в ситовидные трубки. У спутников отсутствуют плазмодесменные контакты с паренхимой. Апопластная загрузка характерна для деревьев.

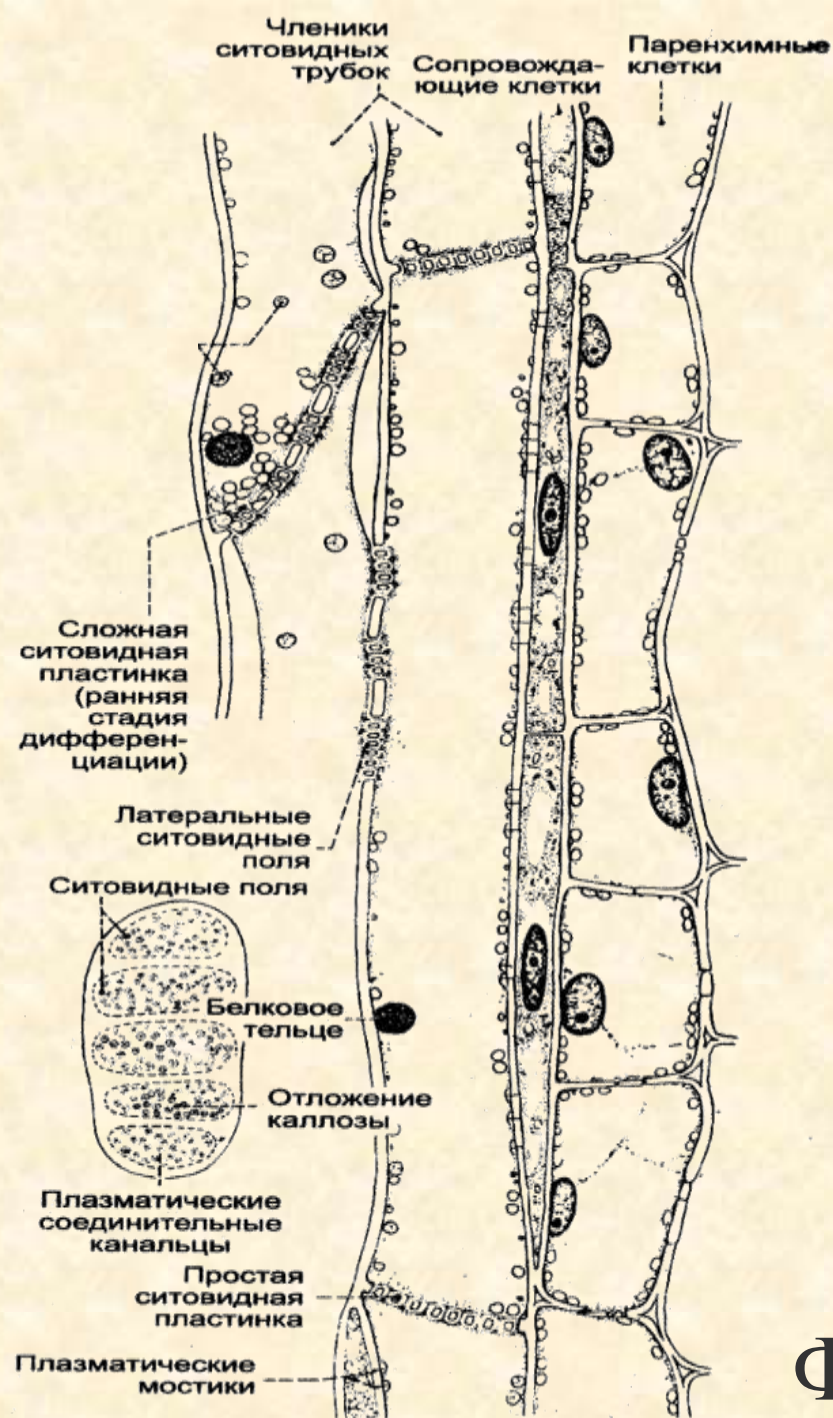


## Типы клеток спутников



Открытые спутники — каждый ситовидный элемент имеет один спутник, специализирующийся на его загрузке сахарозой и олигосахаридами по эндоплазматической сети и плазмодесмам. Спутник отличается интенсивным развитием лабиринта ЭПР. Стенка, контактирующая с паренхимой, пронизана тысячами плазмодесм. Симпластная загрузка характерна для трав.





Диффузная пульсаторная система флоэмоцентрических плазмодесм по механизму функционирования напоминает миокард

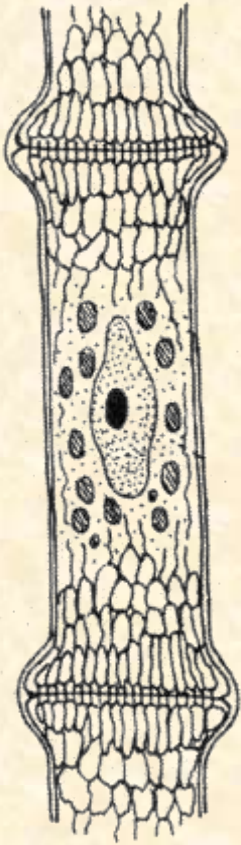


Флоэма *Passiflora* sp.



# Эволюция структуры ситовидных элементов и паренхимы флоэмы

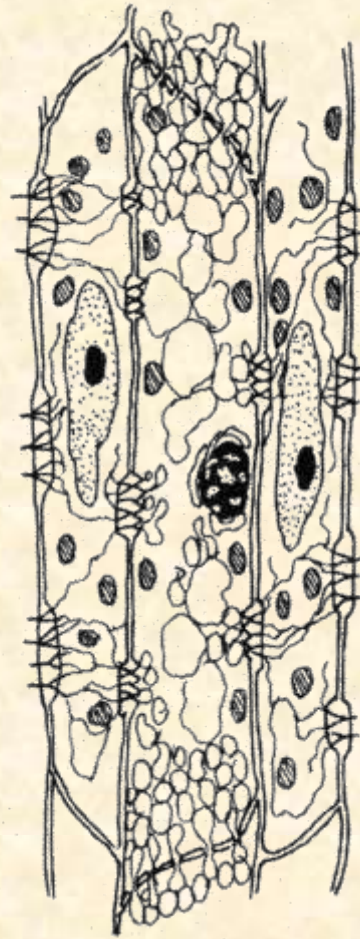
Ситовидные клетки (лептоиды)  
и паренхима мхов



Ситовидные клетки  
бурых водорослей

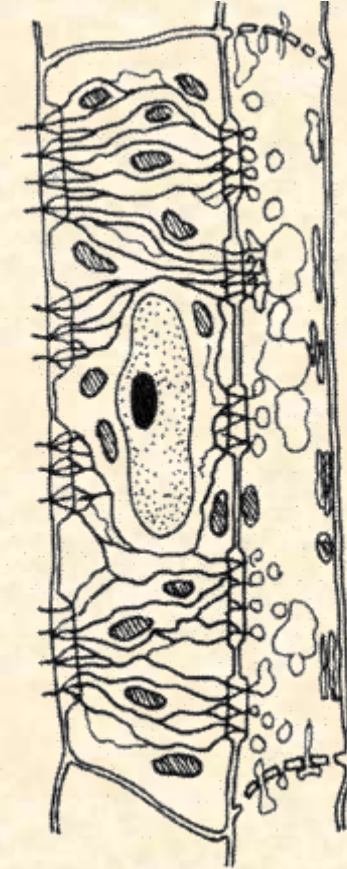


паренхима сходна с  
закрытыми спутниками

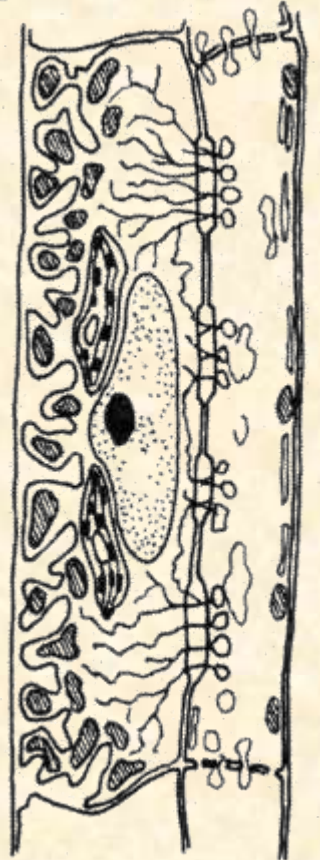


Ситовидные клетки  
и клетки Страсбургера  
голосеменных  
клетки Страсбургера сходны  
с открытыми спутниками

Ситовидные трубки и клетки-спутники  
цветковых



с открытыми  
спутниками



с закрытыми  
спутниками



*Диаметр ситовидных отверстий во флоэме сосудистых споровых порядка 0,15 мкм, у хвойных ~2 мкм, у покрытосеменных до 15-30 мкм.*





Одежда народности Оран-улу из  
лубяных волокон *Artocarpus integer*



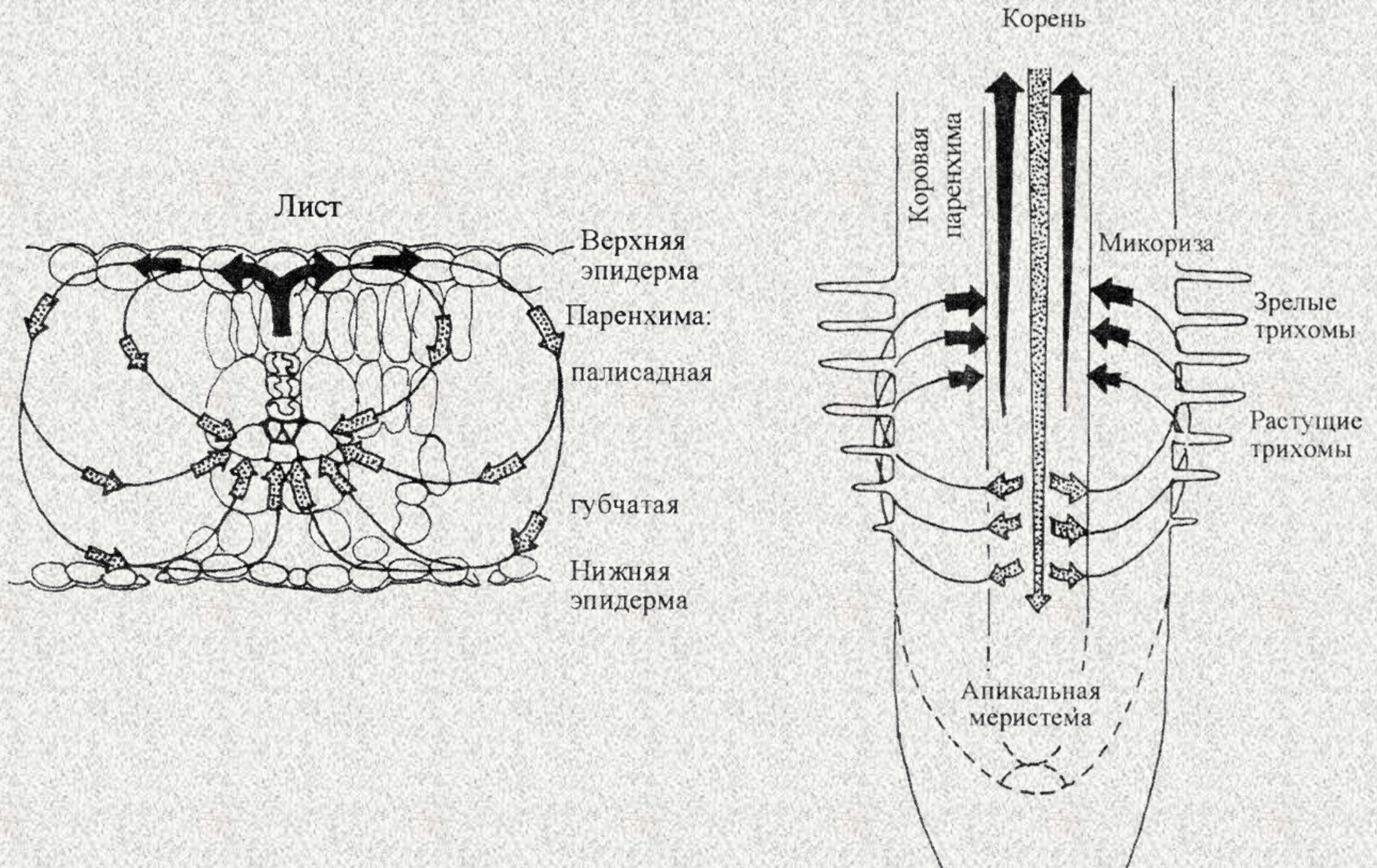
# *Проводящие пучки*



В теле растения проводящие ткани располагаются сложным, сплошным массивом или формируют отдельные проводящие пучки.

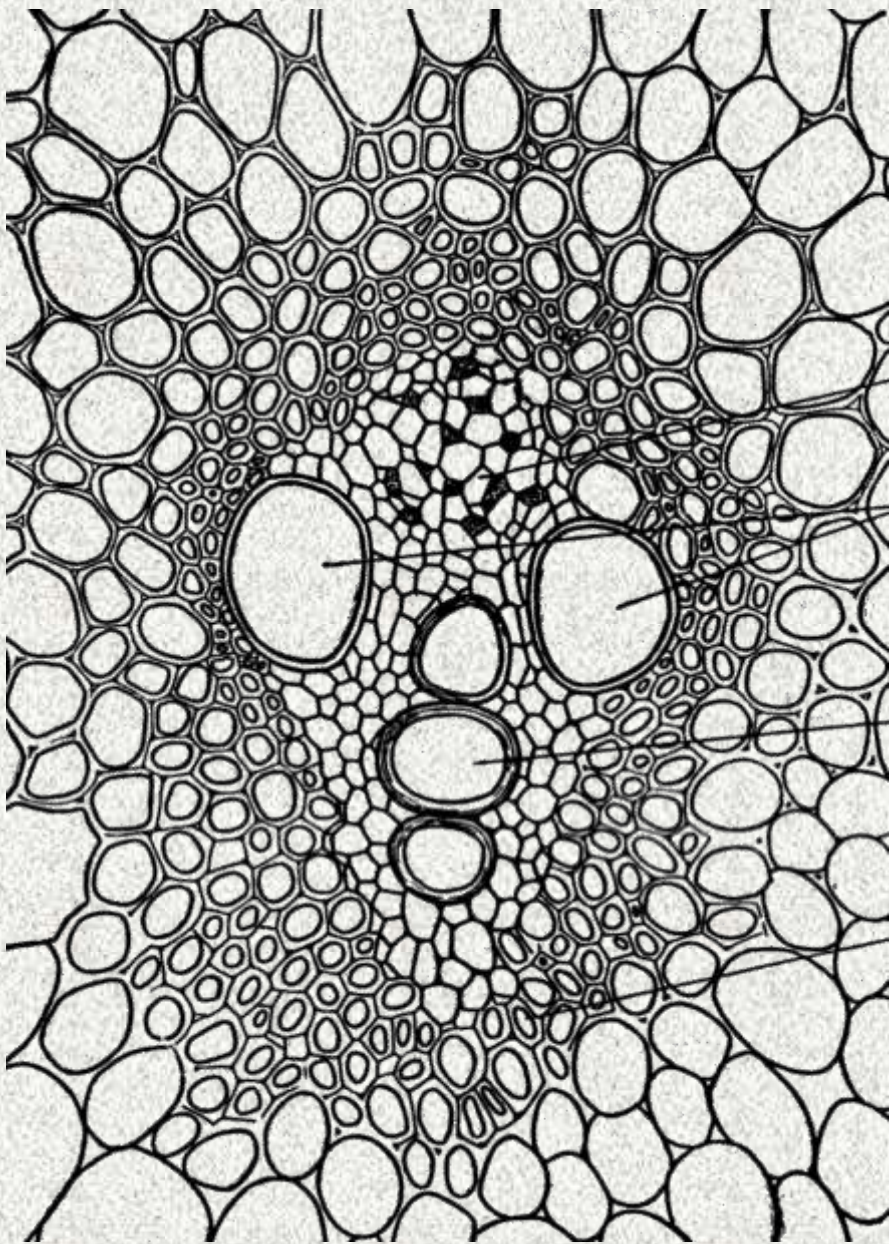
Проводящий пучок — это комплекс проводящих тканей, пронизывающих тело растения и обеспечивающих передачу веществ ко всем органам.



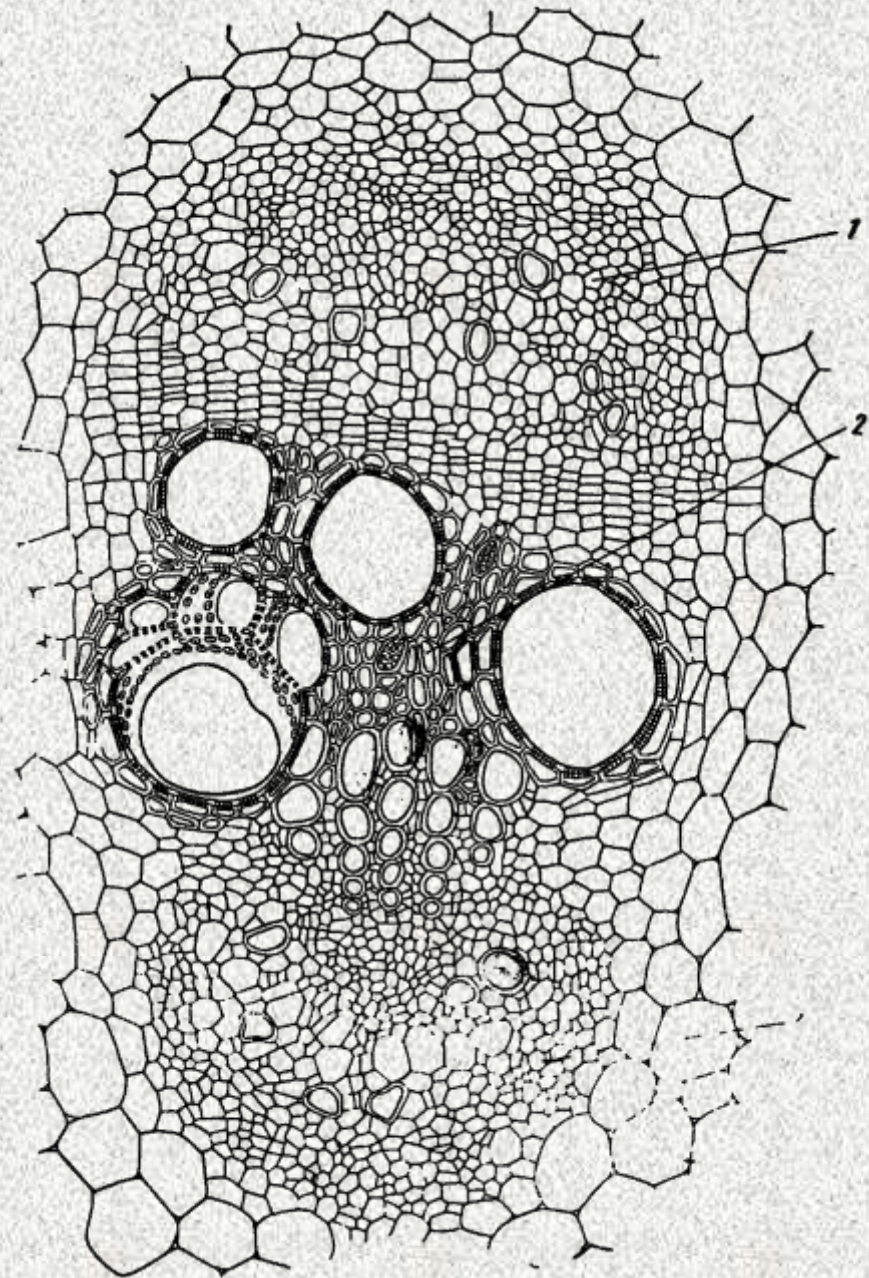


Кольцевая организация транспортных потоков в периферии терминалей проводящей системы





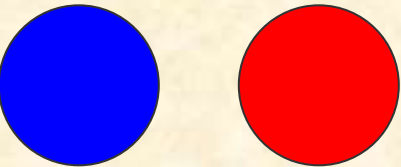
Проводящий пучок *Zea mays*



Проводящий пучок *Cucurbita pepo*



Простые пучки



Сложные пучки

открытые

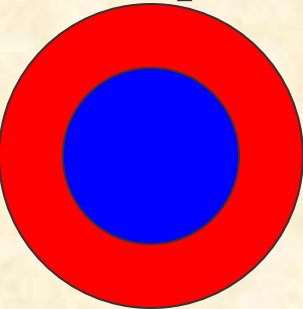
коллатеральный

закрытые

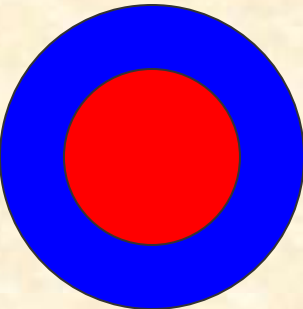
радиальный

биколлатеральный

концентрические



амфивазальный



амфикрибральный

коллатеральный

