

# Морфология и анатомия корня

## План

Типы корней, корневые системы.

Первичное анатомическое строение.

Вторичное строение корня.

Метаморфозы корней.

К вегетативным органам растений относятся стебель, корень и лист. В эволюции корень возник из ризомоидов.

## **Функции** корней:

- всасывание воды с раствором минеральных солей из почвы и дыхание;
- закрепление, т.е. «*заякоривание*» растений в почве;
- синтез аминокислот, гормонов, алкалоидов и отложение запасных веществ;
- выделение балластных веществ;
- взаимодействие с грибами и клубеньковыми бактериями.

Существуют растения: **корневые**, «**первично**» бескорневые – не имеющие корней, поглощающие воду ризоидами (моховидные и псилоповидные) и «**вторично**» бескорневые, утратившие корни в связи с водным образом жизни, н-р, сальвиния плавающая, пузырчатка, роголистник.

### ***Отличительные признаки корней***

Корни положительно гео- и гидротропичны и отрицательно фототропичны, на корнях не закладывается интеркалярная меристема, отсутствуют листья, апикальная меристема прикрыта корневым чехликом, имеются корневые волоски, эндогенное заложение боковых корней.

### ***Типы корней***

**Главный** корень – это корень, который развивается из зародышевого корешка семени. **Боковые** корни отходят от главного и придаточных корней и ветвясь, образуют корни 2-го, 3-го и т.д. порядков.

**Придаточные**, или **адвентивные** (от лат. adventicus – пришлый, чужой) корни образуются от стеблей, почек, листьев, и старых корней. Также выделяют **ростовые** или **скелетные** корни – долговечные, служащие для расширения площади и закрепления в почве. **Питающие** или **сосущие** – недолговечные, образующиеся на скелетных корнях весной и к осени отмирающие, осуществляют всасывание веществ.

## ***Корневые системы***

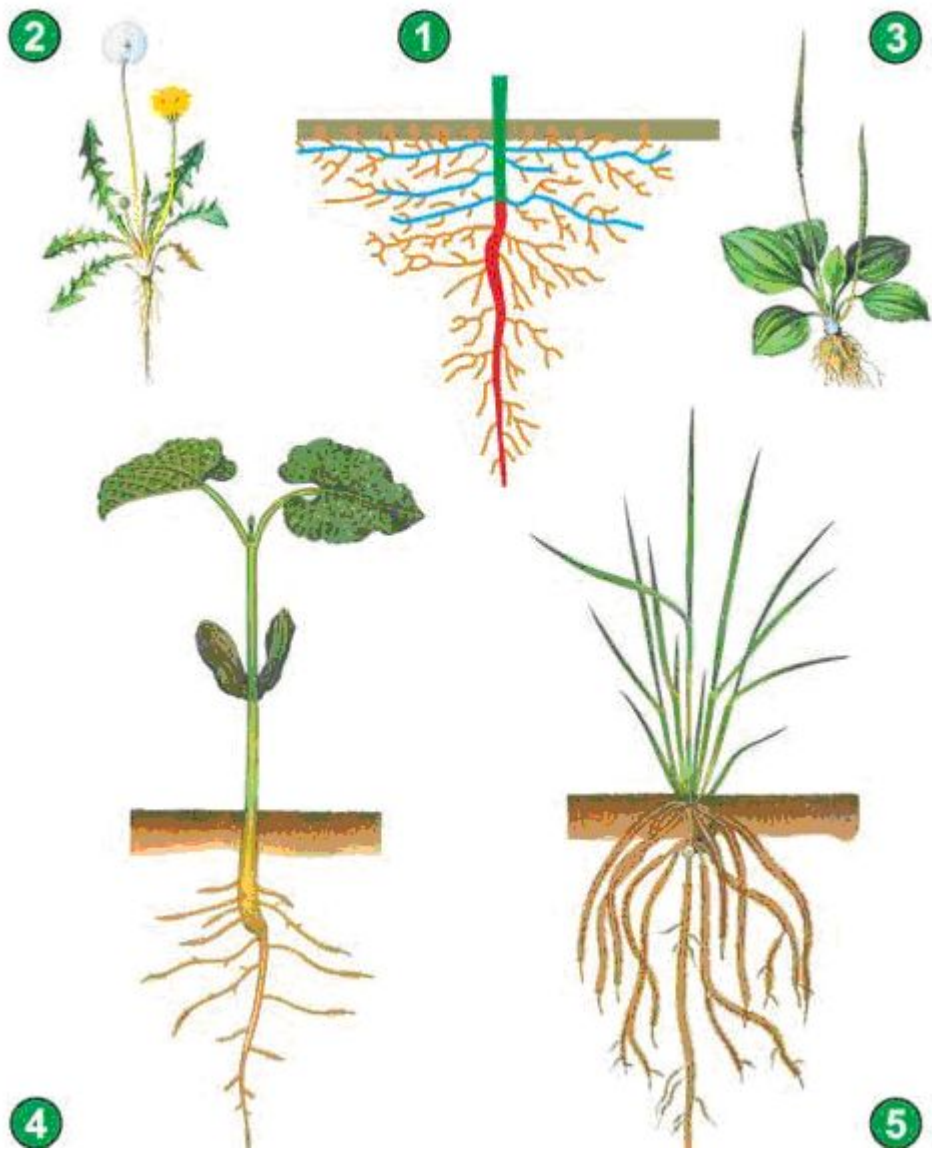
Совокупность всех корней растения составляет **корневую систему**. В зависимости от соотношения главного, боковых и придаточных корней различают три типа корневых систем: стержневую, мочковатую и смешанную.

Согласно классификации, основанной на выраженности главного корня и происхождении придаточных корней, выделяют также три типа корневых систем *аллоризную, первично- и вторично гоморизную*.

***Аллоризная*** (от греч. allos – другой) или система главного корня характеризуется наличием хорошо развитого главного корня, боковые корни более мелкие, аналогична стержневой, характерна для двудольных.

***Первично гоморизная*** (от греч. – homo равный, и rhuza – корень) система образована придаточными корнями, которые закладываются около апексов побегов, главный корень изначально отсутствует, характерна для споровых растений, н-р, папоротники, плауны, хвощи.

***Вторично гоморизная*** формируется также придаточными корнями, при этом главный корень либо отмирает, либо по степени развития не отличается от других корней, аналогична мочковатой, характерна для однодольных и некоторых двудольных (лютик, подорожник).



## Продольное строение молодого корня

Молодой корень включает 4 зоны: деления, растяжения, всасывания и проведения.

**Зона деления** – это апикальная меристема, прикрытая корневым чехликом. Клетки делятся митозом, образуя ткани и органы корня.

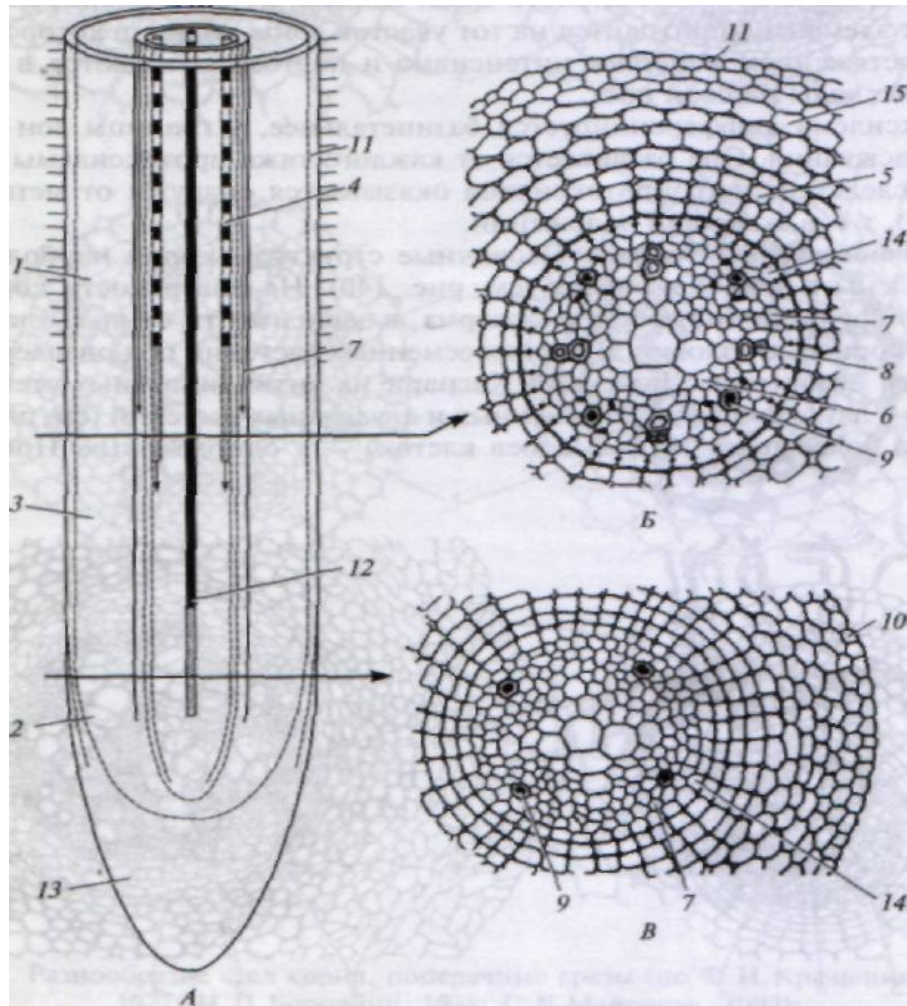
### **Строение апикальной меристемы.**

У семенных растений инициальные клетки расположены в три слоя: нижний, средний и верхний.

Инициали нижнего слоя (**дермакалиптроген**) у двудольных участвуют в образовании корневого чехлика и ризодермы (эпиблемы). У однодольных (злаков, осок) клетки нижнего слоя (**калиптроген**) производят только корневой чехлик.

Инициали среднего слоя (**периблема**) у двудольных образуют первичную кору. У однодольных из клеток первичной коры обособляется **протодерма**, впоследствии дифференцирующаяся в **ризодерму**.

Инициали верхнего слоя (**плерома**) образуют ткани центрального цилиндра.



Дистальные зоны корня (А) и строение зоны растяжения на поперечных срезах (Б, В) 1 — зона всасывания; 2 — зона делений клеток; 3 — зона растяжения; 4 — ксилема; 5 — кортикальная паренхима; 6 — метафлоэма; 7 — периикл; 8 - протоксилема; 9 — прогофлоэма; 10— пластинчатая меристема; 11— ризодерма; 12 — флоэма; 13 — чехлик; 14 —эндодерма;15 — экзодерма

**Корневой чехлик или калиптпра** располагается на кончике корня. Он состоит из живых паренхимных клеток. Одна часть клеток содержат крахмальные зерна, выполняя роль **статолитов** в положительном геотропизме корня. Другая часть образует и выделяет в почву органические кислоты и ферменты, способствующие растворению почвенных минералов.

Вокруг корневого чехлика формируется **ризосфера** – объем почвы, в котором поселяются грибы и азотофиксирующие бактерии, улучшающие рост и питание корня.

**Особенность** чехлика заключается в том, что старые клетки постоянно ослизняются, слущиваются, и заменяются новыми, способствуя продвижению корня вглубь почвы.

**Зона роста**, или **растяжения** располагается за зоной деления. Клетки удлиняются, за счет увеличения вакуоли и смещаются относительно частиц почвы, осуществляя продвижение корня в почве. Здесь берет свое начало флоэма, и начинают дифференцироваться ткани и зоны корня.

**Зона всасывания** или **поглощения** расположена на расстоянии 0,1-10 мм от кончика корня, протяженность зоны – от одного до нескольких см. Здесь наблюдается **первичное строение корня**.

## Первичное строение корня

В поперечном разрезе корень включает 2 зоны: **кору** или **кортекс** и **центральный цилиндр** или **стелу**.

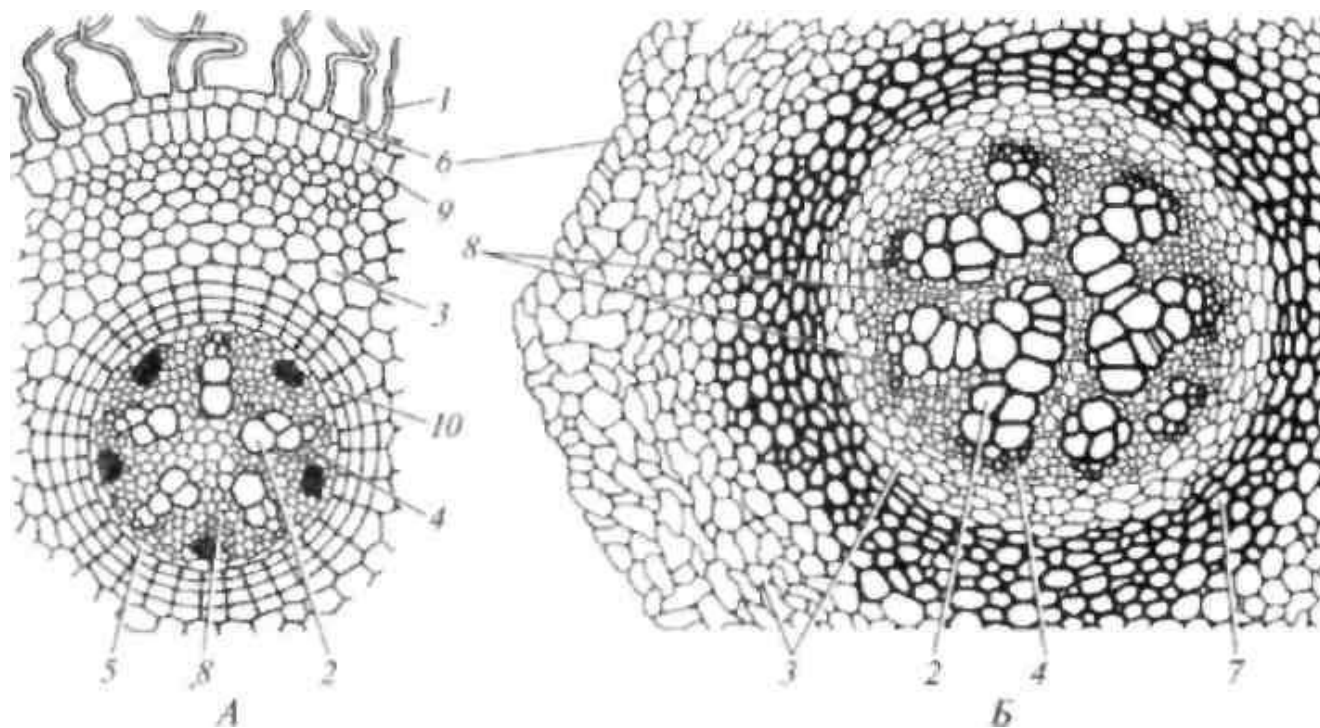
**Первичная кора.** Снаружи коры располагается **ризодерма**, или **эпиблема**, поглощающая воду и растворенные в ней минералы. Ризодерма включает два типа клеток: **трихобласты** – образующие корневые волоски, и **атрихобласты** – не образующих их.

**Корневой волосок** (трихома) представляет собой асимметричный вырост клетки ризодермы. Он покрыт тонкой оболочкой без кутикулы, имеет пристенный слой цитоплазмы с органоидами и ядром, а в центре – крупную вакуоль. Длина волосков составляет 0.15 – 8 мм, образуются они в течение 36-40 часов, отмирают через 10-20 дней в зоне проведения. Корневые волоски увеличивают абсорбирующую поверхность корней.

Поглощенные почвенные растворы передвигаются в кору корня по **апопласту** т.е. по системе межклетников или **симпласту** т.е. по протопластам клеток.

Под ризодермой располагается три слоя первичной коры – экзодерма, мезодерма и эндодерма. Толщина кортекса различная: у двудольных одно- или двухслойная, у однодольных – многослойная.





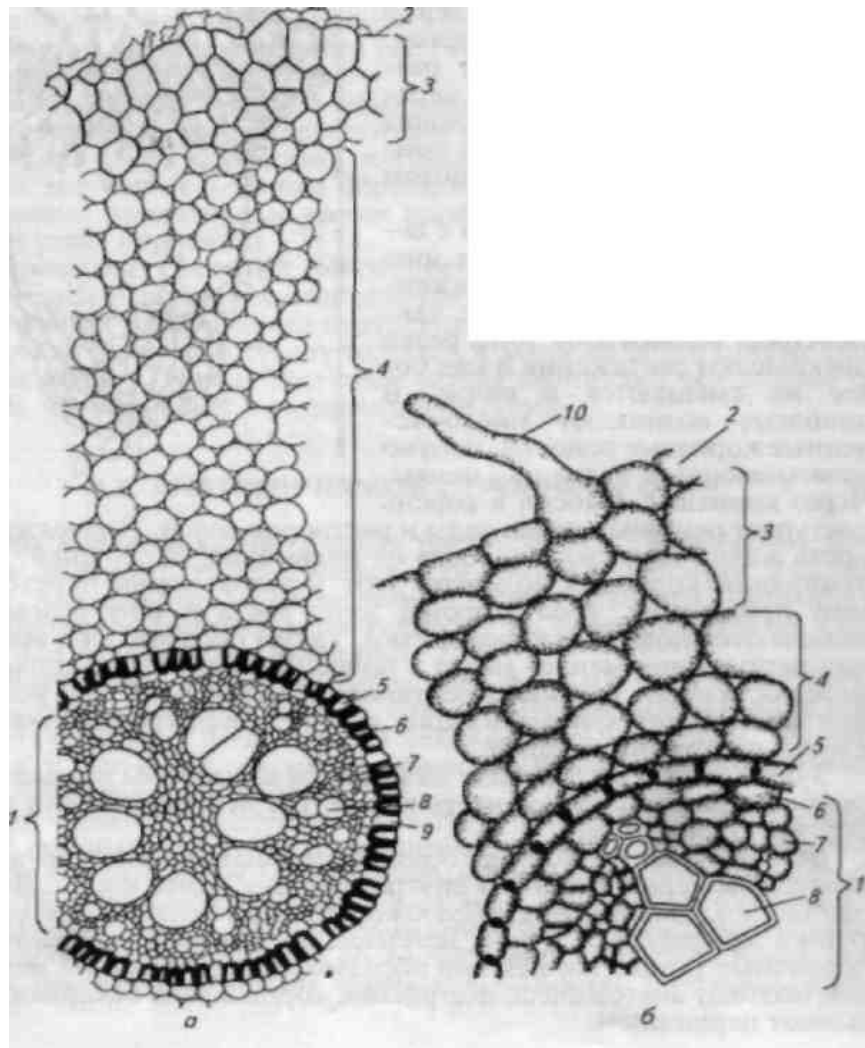
Первичное строение корня в зоне всасывания у двудольного растения (А) и плауна (*Lycopodium* sp.) (Б), поперечные срезы К.Симмонсу. с изменениями):  
 1 — корневой волосок; 2 — метаксилема; 3 — кортикальная паренхима; 4 — протоксилема; 5 — перицикл; 6 — ризодерма; 7 — склеренхима; 8 — флоэма; 9 — экзодерма; 10 — эндодерма.

**Экзодерма** – наружный слой плотно расположенных клеток, вытянутых в радиальном направлении с опробковевшими оболочками. Однослойная у двудольных, и многослойная с пропускными (не опробковевшими) клетками у однодольных растений. После сбрасывания ризодермы, экзодерма становится первичной покровной тканью. Обеспечивает защитную и одновременно механическую функцию.

**Мезодерма или кортикальная паренхима** – средняя многослойная часть коры, состоящая из живых паренхимных рыхло расположенных клеток. Осуществляет запас питательных веществ, а также обеспечивает формирование эндомикоризы.

**Эндодерма** – внутренняя однослойная часть коры. У двудольных растений эндодерма существует недолго и представляет собой один слой живых плотно сомкнутых клеток с отложениями суберина и лигнина на антиклинальных стенках, т.н. **поясках Каспари**. Цитоплазма плотно прилегает к клеточным оболочкам и контролирует транспорт веществ.

У однодольных в эндодерме формируются два типа клеток: цепочки мертвых с **поясками Каспари** т.е. подковообразными утолщениями на радиальных и внутренних антиклинальных стенках, расположенных напротив лучей ксилемы. И одиночных живых – **пропускных клеток**, расположенных напротив островков флоэмы.



### Первичное строение корня (поперечный срез):

*а* — корень однодольного растения; *б* — корень двудольного растения: 1 — центральный цилиндр; 2 — эпиблема; 3—экзодерма; 4 — мезодерма, 5—эндодерма (3, 4, 5—первичная кора); 6—перикцикл; 7—первичная флоэма; А— сосуды первичной ксилемы; 9 — пропускные клетки эндодермы; 10— корневой волосок.

**Центральный цилиндр (осевой цилиндр, или стела)** состоит из перицикла и радиального проводящего пучка.

**Перицикл (перикамбий)** – один слой живых тонкостенных клеток, обладающих свойствами меристемы. *Функции:* участие в образовании вторичного строения корня и боковых корней.

Проводящие ткани образуются из прокамбия, сначала закладывается флоэма в виде островков, а затем между ними в виде лучей – ксилема, т.о. формируется **радиальный проводящий пучок**. Число тяжей ксилемы равно тяжам флоэмы.

Различают корни **монархные, олигоархные** (диархные, триархные, тетрархные) и **полиархные**. У двудольных растений наиболее распространены диархные, включающие 2 тяжа флоэмы и 2 тяжа ксилемы. Для однодольных характерны полиархные, состоящие из многих тяжей флоэмы и ксилемы.

Флоэма и ксилема развиваются **центростремительно**: протоксилема с кольчатыми и спиральными элементами и протофлоэма располагаются ближе к периферии, метаксилема с широкопросветными элементами и метафлоэма – ближе к центру. В центре пучка обычно нет проводящих тканей, ее называют сердцевинной и составлена она из паренхимных или склеренхимных клеток.

**Зона проведения** или **ветвления** начинается от зоны поглощения и тянется до корневой шейки. Здесь ризодерма разрушается, экзодерма опробковевая и одревесневая становится покровной тканью. Начинается эндогенное ветвление главного корня и появление боковых корней. У двудольных растений корень приобретает вторичную структуру.

**Особенности первичного анатомического строения корня** направлены на эффективное передвижение веществ из корневых волосков в проводящие ткани. Пояски Каспари направляют движение веществ только по симпласту. Обратному движению воды из корня препятствует экзодерма и эндодерма.

Быстрому поступлению воды в корень способствуют небольшая толщина первичной коры, однослойный перицикл, радиальное расположение проводящих тканей.

### ***Целостность проводящей системы стебля и корня.***

Проводящие пучки в стебле коллатеральные, а в корне – радиальные. В гипокотиле осуществляется изменение проводящей системы от стеблевого к корневному типу. Например, у люпина 4 коллатеральных пучка в стебле перестраиваются на 2 радиальных в корне. Тяжи ксилемы искривляются и попарно сливаются в 2 тяжа ксилемы; тяжи флоэмы также попарно сливаются, образуя 2 тяжа флоэмы, каждый из которых располагается между тяжами ксилемы. Т.о. в корне формируется диархный проводящий пучок.

## **Вторичное строение корня**

Для корней голосеменных и двудольных характерно вторичное утолщение.

Перестройка во вторичное строение происходит в центральном цилиндре. Под флоэмой из клеток паренхимы закладывается **пучковый камбий**. Над ксилемой из клеток перицикла закладывается **межпучковый камбий**. Формируется сплошное извилистое камбиальное кольцо.

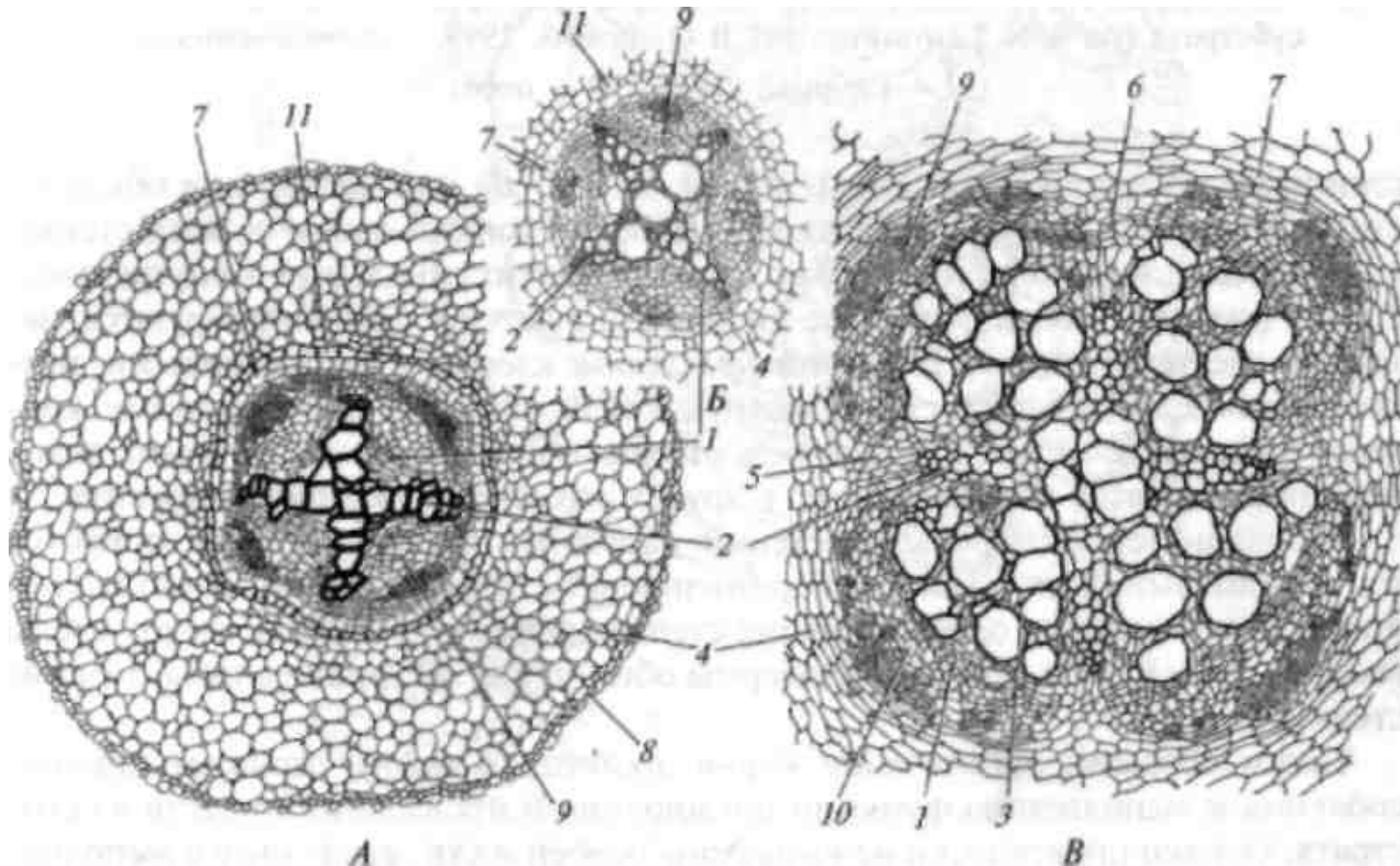
Пучковый камбия образует внутри элементы вторичной ксилемы, наружу –вторичной флоэмы, т. о. формируются **вторичные коллатеральные проводящие** пучки. Вторичной ксилемы образуется значительно больше, чем флоэмы, масса ее давит на камбий и камбиальное кольцо становится округлым.

Межпучковый камбий образует **первичные паренхимные лучи**, которые разделяют проводящие пучки. При этом первичная ксилема оттесняется к центру, сдавливается и частично разрушается. В старых корнях образуются вторичные лучи, производные пучкового камбия.

Перицикл образует паренхимную зону, затем закладывается феллоген, образующий наружу пробку. Пробка изолирует первичную кору от питания, и она, отмирая, постепенно сдушивается.

Комплекс тканей снаружи от камбия называется **вторичной корой**.

Вторичное строение корня имеет следующее расположение тканей: снаружи пробка, под ней паренхима, глубже коллатеральные пучки, состоящие из 1-й и 2-й флоэмы, камбия и только 2-й ксилемы; между пучками располагаются первичные паренхимные лучи, в центре остатки первичной ксилемы.



Начало вторичного утолщения корня бобов (*Vicia faba*). поперечные срезы:  
 А — заложение камбия в радиальном пучке; Б — формирование камбия в периинкле;  
 В — проводящая система на стадии вторичного строения; 1 — пучковый камбий; 2 —  
 первичная ксилема; 3 — вторичная ксилема; 4 — кортикальная паренхима; 5 —  
 первичный луч; 6 — межпучковый камбий; 7 — перицикл; 8 — ризолерма; 9 —  
 первичная флоэма; 10 — вторичная флоэма; 11 — эндодерма.

## Развитие боковых корней

Боковые корни образуются в результате ветвления корня. Закладываются корни в *корнеродном слое* – перицикле. Клетки перицикла образуют группу клеток, структурно аналогичную апикальной меристеме корня с корневым чехликом на верхушке. Масса клеток увеличиваясь и дифференцируясь в ткани, продвигается через первичную кору, затем разрывает покровный слой и выходит наружу в виде молодого корешка.

У двудольных боковые корни закладываются против лучей ксилемы, у однодольных – против флоэмы. У диархных – между тяжами ксилемы и флоэмы.

Придаточные корни закладываются на старых корнях из камбия или феллогена.



## Метаморфозы корней

У многих растений наблюдаются значительные морфологические изменения корней, т.е. **метаморфозы**, сформировавшиеся в процессе филогенеза и связанные с выполнением ими дополнительных функций.

Видоизмененными корнями являются: запасающие, ходульные, дыхательные, воздушные, опорные и др.

Одним из наиболее распространенных метаморфозов является **микориза** или **грибокорень**, характеризующийся как взаимовыгодное сожительство корней с грибами. Микориза характерна для подавляющего большинства цветковых растений (около 90 %). Грибы обеспечивают растения водой и минеральными веществами, а растения предоставляют грибу органические вещества. Различают *экто-* и *эндомикоризу* **Эктомикориза** или наружная микориза хар-ся тем, что гифы гриба оплетают корни толстым чехлом т.н. *гифовой мантией* и проникают в межклетники. При **эндомикоризе** гифы проникают глубоко в клетки коры. Такой тип микоризы встречается наиболее часто. Микоризные корни не имеют корневых волосков.

Значительно меньше распространено сожительство корней растений с **азотфиксирующими** бактериями, из рода *Rhizobium*, называемые **клубеньковыми**. При внедрении бактерий образуется опухоль в виде клубенька. Бактерии ассимилируют молекулярный азот, переводя его в легко усваиваемые растениями соединения. Кроме бобовых симбиоз с бактериями отмечен у некоторых хвойных, крушиновых, ольхи и др.

## Метаморфозы корней

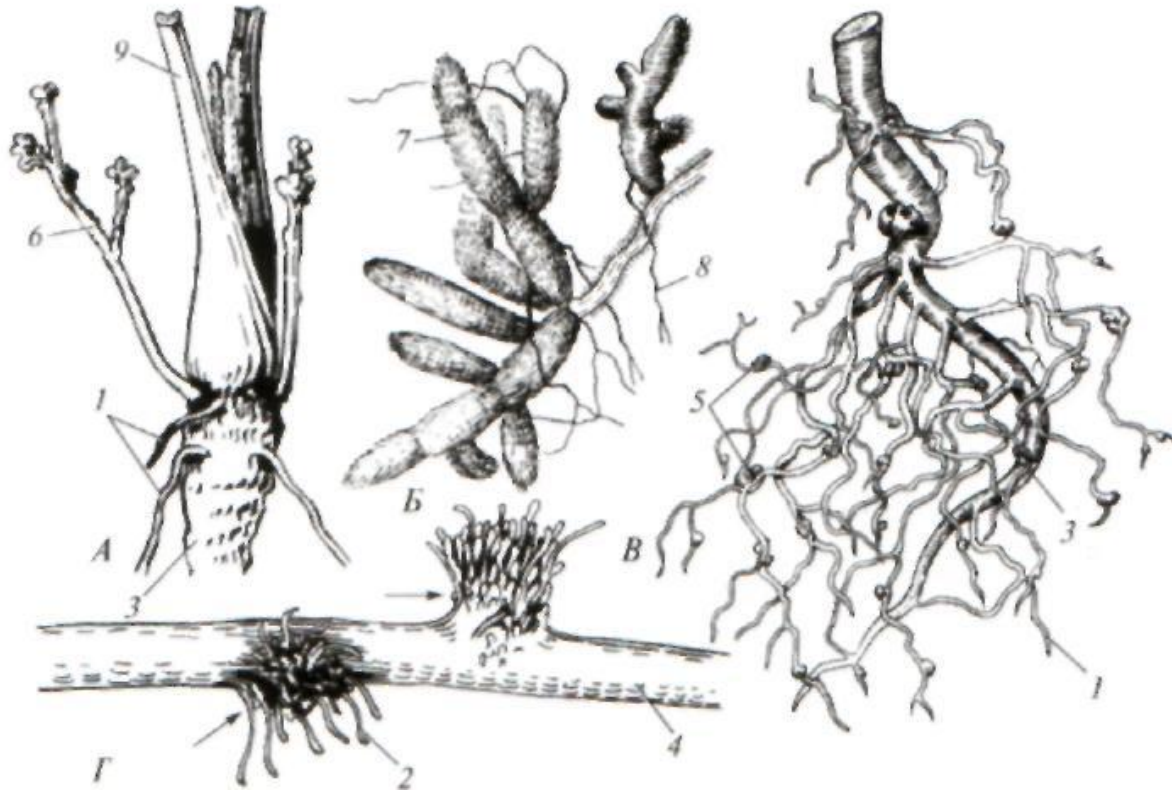
У многих растений наблюдаются значительные морфологические изменения корней, т.е. **метаморфозы**, сформировавшиеся в процессе филогенеза и связанные с выполнением ими дополнительных функций.

Видоизмененными корнями являются: запасающие, ходульные, дыхательные, воздушные, опорные и др.

Одним из наиболее распространенных метаморфозов является **микориза** или **грибокорень**, характеризуемый как взаимовыгодное сожительство корней с грибами. Микориза характерна для подавляющего большинства цветковых растений (около 90 %). Грибы обеспечивают растения водой и минеральными веществами, а растения предоставляют грибу органические вещества.

Различают *экто-* и *эндомикоризу* **Эктомикориза** или наружная микориза хар-ся тем, что гифы гриба оплетают корни толстым чехлом т.н. *гифовой мантией* и проникают в межклетники. При **эндомикоризе** гифы проникают глубоко в клетки коры. Такой тип микоризы встречается наиболее часто. Микоризные корни не имеют корневых волосков.

Значительно меньше распространено сожительство корней растений с **азотфиксирующими** бактериями, из рода *Rhizobium*, называемые **клубеньковыми**. При внедрении бактерий образуется опухоль в виде клубенька. Бактерии ассимилируют молекулярный азот, переводя его в легко усваиваемые растениями соединения. Кроме бобовых симбиоз с бактериями отмечен у некоторых хвойных, крушиновых, ольхи и др.



Метаморфозы корней, обусловленные симбиотрофным и паразитическим питанием

А — коралловидные корни макрозамии обычной; Б — эктомикориза дуба; В - клубеньки на корнях бобов; Г — извлеченные из тела растения хозяина гаустории кастилеи кроваво-красной; 1 — боковой корень; 2 — гаусториальные волоски; 3 — главный корень; 4 — корень; 5 — клубеньки; 6 — коралловидный корень; 7 — микоризный корень; 8 — сосущий корень; 9 — черешок листа.

Паразитные и полупаразитные растения имеют **корни-присоски** или **гаустории** – специализированные выросты, которые внедряются в проводящие ткани растения-хозяина и высасывают оттуда питательные вещества (повилика, омела, погремки и др.).

**Запасающие корни** – это мясистые корни, в которых откладываются питательные вещества, преимущественно сахара.

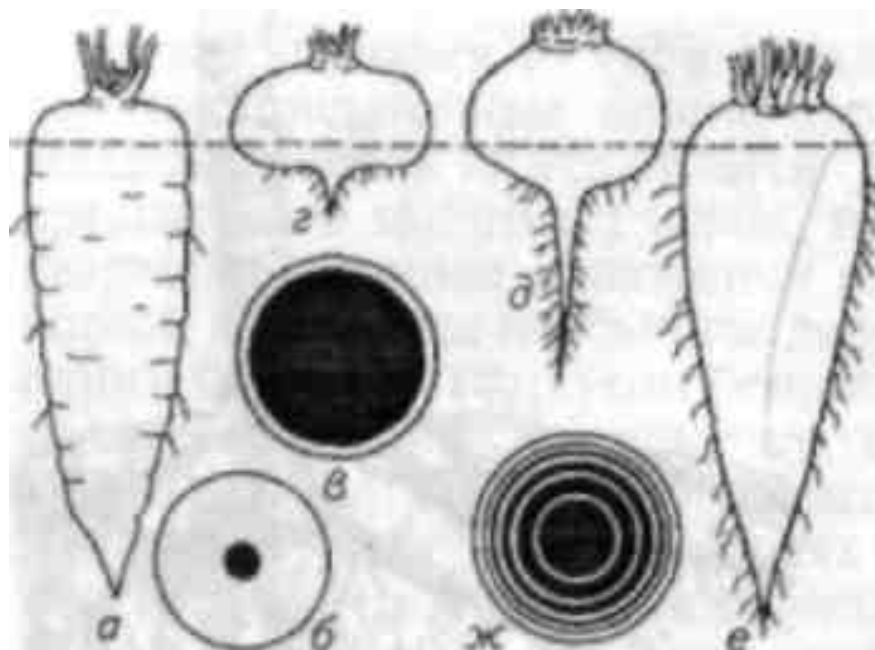
**Корнеплоды** – это запасающие образования, состоящие из главного корня, гипокотилия и розетки листьев. Запасные вещества могут откладываться преимущественно в главном корне (морковь, сахарная свекла), в главном корне и гипокотиле (кормовая свекла) и гипокотиле (столовая свекла, редис, редька, репа).

Утолщение сопровождается образованием двух крупных коллатеральных пучков и двух паренхимных лучей. Корнеплоды различаются соотношением ксилемы и флоэмы.

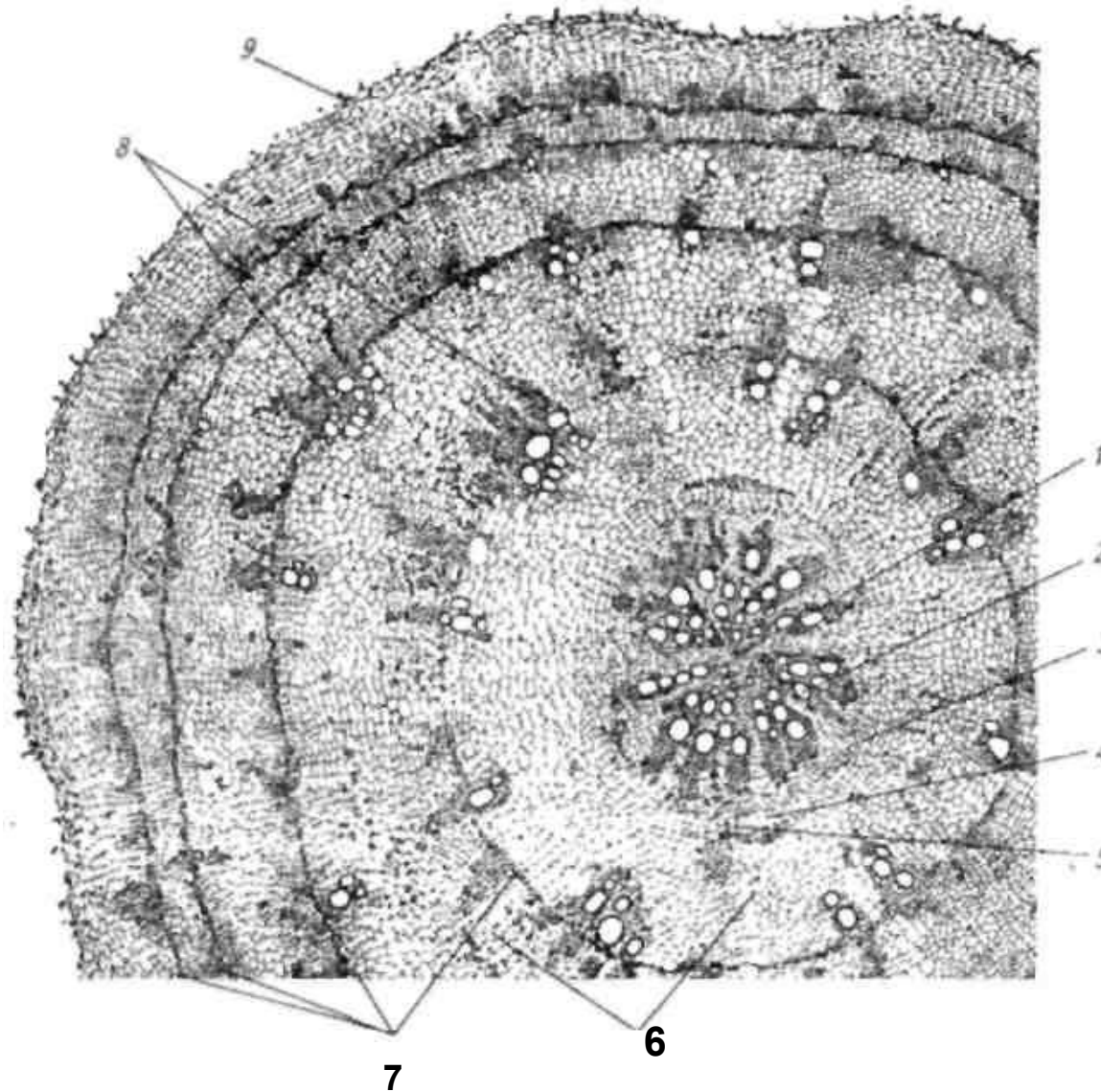
Различают корнеплоды **флоэмного** типа, у которых сильнее развита флоэма, т.к. в ней сосредоточена запасающая паренхима (морковь, петрушка).

У корнеплодов **ксилемного** типа запасающая паренхима сосредоточена в ксилеме и поэтому ее больше (редька, редис).

**Поликаम्биальные** корнеплоды свеклы имеют слоистое строение. После образования двух коллатеральных пучков, камбий прекращает свою деятельность. Дальнейшее утолщение осуществляется работой **добавочного камбия**, который закладывается 7-8 раз за период вегетации. Первый добавочный камбий дает начало самому внутреннему слою, состоящему из паренхимы и коллатеральных пучков. Затем активизируется второй добавочный камбий, образующий аналогичный слой снаружи от первого, затем третий и т.д.



**Корнеплоды моркови (а, б), репы (в, з), свеклы (д, е, ж). На поперечных разрезах ксилема показана черным, пунктирной линией обозначена граница стебля и корня**



**Строение поликамбиального корня сахарной свеклы (поперечный срез):**

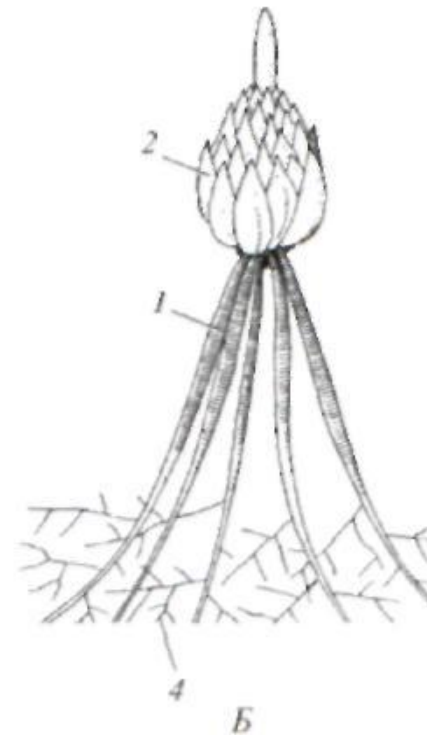
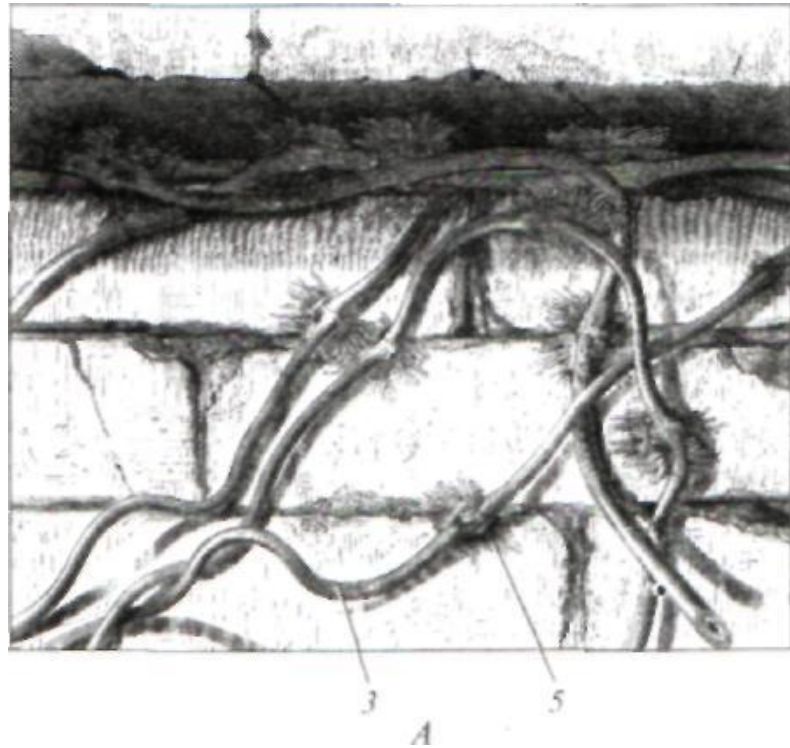
1 - первичная ксилема (диархная); 2—вторичная ксилема; 3—камбий; 4— вторичная флоэма; 5— первичная флоэма; 6- запасаящая паренхима; 7—добавочные камбиальные кольца; 8— проводящие пучки (коллатеральные); 9 - перидерма

У **корнеклубней**, или **корневых шишек** отложения сосредоточены, главным образом, в боковых и придаточных корнях (спаржа, любка, ятрышник, ямс). У некоторых растений, утолщается и главный корень. н-р, георгин.

**Контрактильные** или **втягивающие** корни – это длинные, толстые поперечно-морщинистые корни, способные укорачиваться и втягивать растение вглубь почвы. Развиваются у луковичных (лука, пролески), клубнелуковичных (шафрана, безвременника) и некоторых корневищных двудольных, н-р у водо-сбора и пиона.

**Досковидные** корни – это ассимметричные плоские утолщения, образующиеся на стволе на высоте 1-3м. Ветвась, корни образуют вокруг тонкого ствола камеры, позволяя дереву противостоять сильному ветру. Хар-ны для тропических деревьев ряда фикусов, стеркулии.

Древесные породы, слагающие мангры, леса заливаемые водой во время морских приливов, обладают укрепляющими **ходульными** корнями, поднимающимися из грунта вверх (отрицательный геотропизм). Во время прилива вода затопляет деревья до самых крон, а в отлив обнажаются стволы и сплетенные корни. Небольшие ходульные корни имеет кукуруза.



Придаточные корни-прицепки на безлистных побегах текомы ползучей и вытягивающие корни лилии кудрявой (*Lilium martagon*) (Б)

1 — вытягивающий корень; 2 — луковица; 3 — стебель; 4 — сосущий корень; 5 — цепляющийся корень



**Корни-подпорки** – цилиндрические корни, образующиеся на крупных ветвях растения, растущие вниз и укрепляющиеся в почве. Благодаря им каждое отдельное дерево имеет возможность распространяться на огромную поверхность и образовать из одного дерева целый лес, н-р, бенгальский фикус, или баньян.

**Корни-прицепки** – цепкие корни, с помощью которых гибкие стебли растений поднимаются вверх по стволам деревьев или другим опорам. Свойственные некоторым лианам, н-р, плющу и ванили.

**Воздушные** корни – это корни эпифитных растений, расположенные на стволах деревьев, покрытые веламеном, впитывающим воду из воздуха.

**Ассимилирующие** корни – это гребневидно рассеченные корни, развивающиеся у некоторых водных растений, например, у водяного ореха, или чилима.

**Пневматофоры или дыхательные** корни представляют собой ответвления подземных корней, растущие вертикально вверх. Снаружи покрыты перидермой с чечевичками, внутри имеют межклетники заполненные воздухом. Пневматофоры растут вокруг ствола дерева, выступая над поверхностью воды.



Ходульные корни ризофоры (А) и досковидные корни фикуса каучуконосного (Б)

1 — ходульные корни; 2 — досковидные корни







