

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
"БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ"

---

С. В. Лазаревич

## **ОРГАНОГРАФИЯ (КОРЕНЬ)**

ЛЕКЦИЯ

*Для студентов биологических специальностей  
сельскохозяйственных вузов*

Горки 2008

УДК 581.441 (075.8)

ББК 28.56 и 73

Л 17

Одобрено методической комиссией агрономического факультета 08.04. 2008 (протокол № 6) и научно-методическим советом БГСХА 07.05. 2008 (протокол № 8).

**Лазаревич, С. В.**

Л 17 Органография (корень): лекция. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. 20 с.

Проанализировано морфологическое разнообразие корней и их видоизменений, а также их значение в зависимости от их происхождения, систематического положения и условий произрастания растений. Описаны особенности первичного и вторичного анатомического строения корней и корневищев.

Для студентов биологических специальностей сельскохозяйственных вузов.

Рис. 6. Библиогр. 9.

**Рецензенты:** В.Н. ПРОХОРОВ, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Кудрявцева НАН Беларуси»; В.А. ДВОЙНИШНИКОВ, канд. с.-х. наук, доцент кафедры селекции и генетики УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

УДК 581.441(075.8)

ББК 28.56 и 73

© С.В. Лазаревич, 2008

© Учреждение образования

«Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная ботаника является комплексной наукой о растениях. Научный и практический интерес исследователей, совершенствование технического оснащения лабораторий и методологии научных исследований явились мощными факторами развития цитологии, гистологии, анатомии, органографии и других разделов ботаники.

Задачей органографии является изучение происхождения, развития, строения и функций органов растений. Эти сведения имеют важное значение для понимания процесса эволюции растений и закономерностей их распределения на Земном шаре, они широко используются в селекции растений, растениеводстве и других прикладных агрономических дисциплинах.

Возникновение органов явилось крупным морфофизиологическим приспособлением растений к существованию в разнообразных условиях среды. Усложнение конструкции тела растений, сопряженное с усложнением выполняемых функций, способствовало совершенствованию обмена веществ, энергии и информации с окружающей средой и в итоге привело к возникновению высших растений.

Орган растения – это часть растения, отличающаяся определенным строением и выполняемыми функциями. По роли в системе размножения органы растений можно подразделить на вегетативные и генеративные. Генеративные – предназначены для образования половых клеток, или гамет. Вегетативные органы и их видоизменения обеспечивают рост и развитие растений, вегетативное размножение и образование при этом генетически однородного потомства. Для них характерны полярность, симметрия и метамерность. Эти закономерности имеют универсальный характер, поскольку проявляются на разных уровнях организации растительного организма и обнаруживаются в разных систематических группах растений.

По выполняемым функциям вегетативные органы подразделяют на корень, стебель и лист. Однако стебель и лист, как части единого побега, формируются в онтогенезе в результате морфогенетической деятельности одной и той же апикальной меристемы и, следовательно, имеют общее происхождение. Поэтому в ботанике существует также тенденция подразделения вегетативных органов на корень и побег.

При описании вегетативных органов учитывают их внешний вид и внутреннее строение, место нахождения на растении, положение в пространстве и направление роста, а также выполняемые функции.

Для селекции растений большое значение имеет изучение генетического контроля признаков вегетативных органов и параметров их модификационной изменчивости.

## КОРЕНЬ

Наличие корня является важным отличительным признаком высших сосудистых растений. В разной степени они развиты у плаунов, хвощей, папоротников, голосеменных и покрытосеменных. У растений отдела Моховидные корней нет, поступление воды и растворенных в ней веществ происходит либо через нижнюю часть стебля, либо через ризоиды.

Корень – это вегетативный орган с хорошо выраженной полярностью и симметрией, обладающий положительным геотропизмом и неограниченным ростом. Возникновение корней явилось крупным эволюционным достижением – ароморфозом, приведшим к существенным изменениям морфологических и физиологических особенностей растений:

**во-первых**, возникли специализированные ткани – ризодерма и эндодерма. Формирование ризодермы (эпibleмы) обеспечило увеличение всасывающей поверхности корней. С появлением эндодермы стали более совершенными механизмы поступления воды в ксилему корня;

**во-вторых**, стало возможным разделение почвенного и воздушного способов питания. В результате растения стали более рационально использовать ресурсы среды обитания;

**в третьих**, появилась возможность освоения засушливых зон на широком пространстве от тропического пояса до полярных кругов;

**в четвертых**, с появлением корней расширились возможности вегетативного размножения растений.

## 1. ЗНАЧЕНИЕ КОРНЕЙ

Корни выполняют многочисленные функции.

1. Корни осуществляют всасывание воды и растворенных в ней веществ и обеспечивают поступление их в стебель. Этому способствует их большая суммарная поверхность. Например, у ржи, по данным В.В. Полевого, в тепличных условиях эксперимента она более чем в 100 раз превосходила поверхность надземных органов и достигала у одного растения 200 – 230 м<sup>2</sup>. Увеличение поверхности корня достигается образованием боковых и придаточных корней, корневых волосков. Кроме того, корни обладают постоянным ростом, направленным в пределах экологического оптимума к воде и растворенным в ней питательным веществам.

2. Корни прикрепляют растения к субстрату. При этом они способствуют закреплению самого субстрата и препятствуют водной и ветровой эрозии почвы.

3. В корнях происходит синтез многих органических веществ: аминокислот, органических кислот, связанных с дыханием, фитогормонов.

4. У многолетних растений в корнях могут откладываться запасные питательные вещества, в первую очередь углеводы. У стержнекорневых многолетников (одуванчик, конский шавель, хрен и др.) корни при этом значительно утолщаются.

5. У некоторых корнеотпрысковых растений на корнях могут образовываться придаточные почки возобновления, из которых при благоприятных условиях развиваются побеги. Поэтому корни и их черенки используются для естественного и искусственного вегетативного размножения растений (малина, облепиха, хрен и др.).

6. У многих растений (кукуруза, лук, гладиолусы и др.) корни обладают контрактильной, или сократительной, способностью. Сокращаясь в длину, они способны втягивать в почву нижнюю часть стебля, защищая этим корневую шейку от повышенных и пониженных температур, а также избыточной сухости воздуха. У луковичных многолетников благодаря контрактильной способности придаточных корней в почву заглубляются луковицы, что повышает сохранность почек возобновления в зимнее время.

Специфические функции корня возникают в связи с его метаморфозами. **Метаморфозы**, или видоизменения, – это значительные, наследственно обусловленные изменения морфологии и, главное, функции органов.

Важным видоизменением главного корня является **корнеплод**, который предназначен для запаса питательных веществ и сохранения почек возобновления у двулетних (морковь, свекла, редька) и многолетних (одуванчик, цикорий, женьшень и другие) травянистых растений. Корнеплод является комплексным органом. Его головка представляет собой видоизмененный стебель, на котором в первый год жизненного цикла располагаются листья, а на второй – образуется цветonoсный побег. Утолщенная шейка корнеплода развивается из корневой шейки и верхней части главного корня. Собственно корень корнеплода представляет собой нижнюю часть главного корня. Он несет на себе боковые корни с растущими окончаниями и корневыми волосками.

При разрастании и утолщении придаточных корней, как у георгин, маниока, чистяка, образуются **корневые шишки (корневые клубни)**, которые подобно корнеплодам также запасают питательные вещества. Местом запаса может быть первичная кора, древесина и сердцевина.

Корни обеспечивают симбиотическую связь растений с почвенными микроорганизмами и грибами, что улучшает минеральное питание растений. Ценными микросимбионтами являются азотфиксирующие бактерии из рода Ризобиум, которые способны поглощать из воздуха азот и переводить его в доступные для растений соединения. Например, в почве клеверного луга может накопиться около 100 кг/га азота.

При проникновении бактерий клетки корня разрастаются, образуя бактериоидную ткань. Это приводит к появлению на корнях **бактериальных корневых клубеньков**. Такие клубеньки характерны для семейства Бобовые. Кроме того, они описаны у ольхи, вяза, лоха, облепихи, подокарпуса и других растений.

Грибы поселяются на корнях преобладающего большинства растений. Если мицелий гриба располагается на поверхности корня, как у деревьев и кустарников, то образуется эктомикориза, а если проникает вовнутрь корня, как у некоторых трав, то – эндомикориза. **Микориза** обеспечивает микотрофное питание растений.

**Воздушные корни** характерны для растений эпифитов (орхидеи, бромелии и др.), поселяющихся на ветвях крупных деревьев тропического леса. Это длинные шнуровидные свисающие корни, покрытые веламеном, который способен капиллярным путем поглощать воду из влажного воздуха тропического леса. Веламен – это специальная мертвая многослойная покровная ткань рыхлого сложения, стенки клеток которой имеют сетчатые или спиральные утолщения. Под веламеном располагается эндодерма с пропускными клетками, через которые поглощенная вода передается в более глубокие слои коры и в центральный цилиндр корня. По мере достижения уровня почвы и проникновения в неё кончик воздушного корня может ветвиться и всасывать из почвы воду с растворенными в ней веществами.

У растений изыточно увлажненных мест обитания могут развиваться **дыхательные корни**, или **пневматофоры**, как например у авиценнии из порядка Кипарисовые. Эти корни диаметром около 10 см обладают отрицательным геотропизмом и возвышаются на 20 – 30 см над уровнем почвы. Они способны поглощать кислород из воздуха в процессе дыхания. На поверхности пневматофор располагается постоянно слушающаяся корка с многочисленными чечевичками, а под ней – губчатая аэренхима с крупными межклеточными ходами. Дыхательные корни отходят от мощных боковых корней, именуемых кабельными и расположенных вблизи поверхности почвы.

**Ходульные корни** как у ризофоры характерны для древесных растений мангровых зарослей, которые располагаются в зоне прилива океана. У них на стволе на высоте 2 – 3 м образуются многочисленные придаточные корни, которые под некоторым углом растут вниз и проникают в почву. При этом площадь опоры растений увеличивается и благодаря лыжному эффекту повышается устойчивость к океаническим ветрам. У таких растений главный корень и нижняя часть стебля недолговечны, они отмирают и отгнивают. Живая часть стебля, несущая крону, поддерживается в вертикальном положении опорными придаточными корнями, похожими на ходули.

У древовидных фикусов (фикус бенгальский, или баньян, фикус каучуконосный и другие) зоны влажных тропиков образуются столбо-

видные **корни-подпорки**. При высоте не более 25 м баньян формирует огромную крону, площадь проективного покрытия которой у старого дерева достигает 1 – 2 га. На ветвях такого растения образуются многочисленные, свисающие вниз, придаточные корни. Большинство из них остаются воздушными и постепенно отмирают. Сохранившиеся корни растут вниз, внедряются в почву, ветвятся и образуют мочку обрастания. По мере её развития надземная часть корня утолщается и превращается в столбовидные опоры, поддерживающие ветви в горизонтальном положении. У старых баньянов число таких опор достигает 1 – 3 тысяч, при этом одно дерево воспринимается как целостный лесной массив.

## 2. МОРФОЛОГИЯ КОРНЯ

Морфологическое разнообразие корней определяется видовой спецификой растений и условиями их произрастания. Большое значение имеет также их происхождение.

**По происхождению** корни бывают главными, боковыми и придаточными. *Главный корень* развивается из зародышевого корешка семени. В ходе эволюции он впервые появился у голосеменных. Большое морфологическое и анатомическое разнообразие главных корней характерно для цветковых растений.

*Придаточные корни* возникают на стеблях и, реже, листьях. Их образование связано с деятельностью разнообразных тканей – апикальных меристем, камбия, сердцевинных лучей, феллогена. Придаточные корни имеют большое значение в жизни как однодольных, так и двудольных покрытосеменных.

*Боковые корни* развиваются из зачаточных бугорков перициклического происхождения на главном и придаточном корнях. Чаще всего они образуются напротив лучей первичной ксилемы. Поэтому для боковых корней характерно расположение более или менее правильными рядами вдоль материнского корня. Боковые корни способны к ветвлению с образованием корней второго – четвертого, иногда даже пятого порядков. У древесных растений боковые корни первого порядка называются скелетными, корни второго порядка – полускелетными. Мелкие боковые корни формируют обрастающие корневые мочки.

На кончиках корней располагаются ростовые и сосущие окончания. Ростовое окончание представлено образовательными тканями, находящимися под защитой корневого чехлика, а сосущее окончание – зоной корневых волосков.

**По отношению к субстрату** корни бывают подземными (у большинства высших растений), водными, не достигающими дна водоёма (ряска, лягушатник), воздушными у растений эпифитов (орхидеи и др.), чужеядными у растений паразитов (повилика, омела и др.).

**По форме** корни весьма многообразны. Нитевидные корни образуются у пшеницы и других злаков, шнуровидные – у чеснока. Длинные, постепенно сужающиеся, корни называются бичевидными (люцерна и другие бобовые). Запасающие корни могут быть конусовидными (морковь), веретеновидными (лилейник, чистяк), реповидными (свекла, репа), клубневидными (батат). Для заячей капусты характерны чётковидные корни, а для таволги – узловатые.

Длина корней варьирует от нескольких сантиметров до нескольких метров. Например, у пшеницы основная масса корней располагается на глубине не более одного метра, у люцерны корни достигают 2 м, а у верблюжьей колючки – 20 м. Длина корней зависит от жизненной формы и вида растений, особенностей влагообеспечения, плодородия почвы и других экологических факторов.

### 3. ТИПЫ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ

Совокупность корней одного растения представляет собой корневую систему. Тип корневой системы зависит от систематического положения растений и способов их размножения. Корневые системы, образованные одинаковыми по происхождению корнями, называются **гоморизными**, а состоящие из разных корней – **аллоризными**.

**Гоморизная система** характерна для высших споровых растений за исключением мхов. Она состоит из придаточных корней.

**Аллоризные** корневые системы бывают стержневыми, мочковатыми и смешанными. Если они развиваются при семенном размножении растений, то считаются первичными, а при вегетативном размножении – вторичными.

При семенном размножении двудольных покрытосеменных формируется **первично-стержневая система**. Она представлена главным и боковыми корнями (люпин, укроп).

У некоторых травянистых многолетних двудольных растений (клевер ползучий) при вегетативном размножении придаточный корень удлиняется и утолщается, функционально становится главным. В этом случае образуется **вторично-стержневая корневая система**.

**Первично-мочковатая корневая система** развивается при семенном размножении однодольных покрытосеменных, например, пшеницы или кукурузы. При этом главный корень рано прекращает рост, но хорошо развиваются придаточные корни.

**Вторично-мочковатая система** состоит только из придаточных корней. Она образуется у однодольных и двудольных покрытосеменных при вегетативном размножении (лук, картофель).

В агрономической практике большое значение имеет образование **смешанной корневой системы**, в состав которой входят главный, боковые и придаточные корни. Такая система корней формируется при

семенном размножении двудольных покрытосеменных при условии их окучивания (томаты). При этом на нижней части стебля развиваются придаточные корни.

У голосеменных при семенном размножении развивается стержневая корневая система, а при вегетативном – мочковатая.

#### **4. АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КОРНЯ**

Анатомическое строение обеспечивает функциональную активность корня.

Первоначально анатомические структуры корня возникают благодаря деятельности первичных апикальных меристем, сосредоточенных на его кончике как минимум тремя слоями. У двудольных покрытосеменных из клеток наружного слоя меристемы (дерматогена) образуется корневой чехлик и покровная ткань эпиблема; из среднего слоя меристемы (периблемы) – первичная кора, а из внутреннего (плеромы) – центральный цилиндр. У однодольных покрытосеменных и голосеменных корневой чехлик образуется из специализированного слоя дерматогена (калиптрогена), а эпиблема – из наружного слоя периблемы. При этом формируется первичное анатомическое строение корня. У однодольных покрытосеменных в отличие от двудольных и голосеменных оно сохраняется на протяжении всей жизни.

##### **4.1. Первичное анатомическое строение корня**

Особенности первичного строения четко проявляются на продольном и поперечном срезе кончика корня.

На продольном срезе кончика корня можно выделить четыре зоны (рис.1).

*Зона корневого чехлика* прикрывает апикальные меристемы корня. Она состоит из живых клеток. Их поверхностный слой постоянно сдвигается и выстилает ход, по которому перемещается корень. Сдвигающиеся клетки, кроме того, производят слизь, которая облегчает передвижение кончика корня в почве. Клетки центральной части чехлика, или колумеллы, содержат крахмальные зерна, что способствует геотропному росту корня. Клетки чехлика постоянно обновляются за счёт деления клеток специальной образовательной ткани – калиптрогена.

*Зона роста* состоит из двух подзон. В подзоне деления рост корня осуществляется благодаря активному митотическому делению клеток. Например, у пшеницы доля делящихся клеток (митотический индекс) составляет 100 – 200 промилле. Подзона деления является ценным материалом для цитогенетических исследований. Здесь удобно изучать число, макро- и микроструктуру хромосом. В подзоне растяжения ме-

ристематическая активность клеток снижается, но благодаря определенному балансу фитогормонов, в первую очередь ауксинов и цитокининов, рост корня происходит за счёт осевого растяжения молодых клеток.

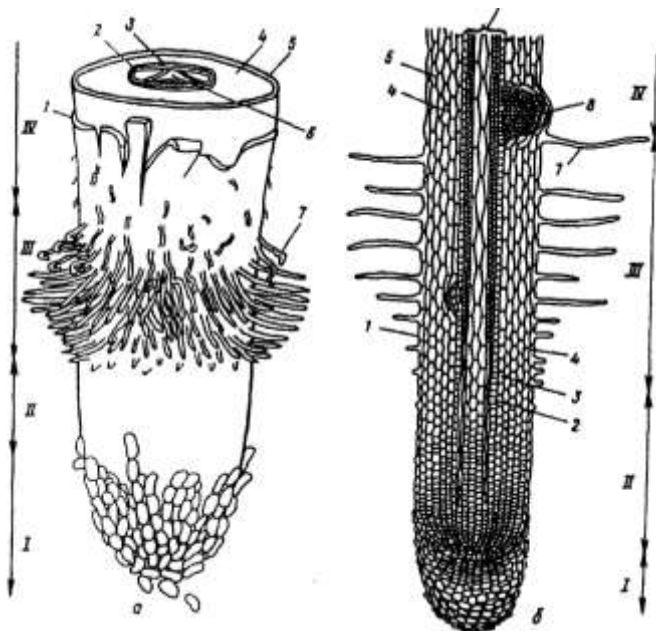


Рис. 1. Строение кончика корня на продольном срезе:

I – зона корневого чехлика; II – зона роста; III – зона корневых волосков; IV – зона проведения. 1 – эпидеяма, 2 – перицикл, 3 – эндодерма, 4 – первичная кора, 5 – экзодерма, 6 – центральный цилиндр, 7 – корневой волосок; 8 – формирование бокового корня.

*Зона всасывания* с полным правом может быть названа зоной корневых волосков, а также зоной дифференциации, поскольку здесь формируются эпидеяма, первичная кора и центральный цилиндр.

Эпидеяма – это специальная, постоянно обновляемая покровная ткань, состоящая из клеток двух типов. Из трихобластов развиваются тонкостенные корневые волоски длиной 1 – 3 мм, благодаря которым осуществляется всасывание воды и растворенных в ней веществ. Корневые волоски недолговечны. Они живут 2 – 3 недели, а затем слущиваются. Атрихобласты корневых волосков не образуют и выполняют покровную функцию.

Первичная кора регулирует поступление воды в проводящие ткани центрального цилиндра. При формировании центрального цилиндра первыми образуются ткани протофлоэмы, по которым в кончик корня поступают органические вещества, необходимые для его роста. Выше по корню на уровне первых корневых волосков появляются сосудистые элементы протоксилемы. Исходные проводящие ткани развиваются в первичную флоэму и первичную ксилему радиального проводящего пучка.

*Зона проведения* занимает самую большую часть корня. Она выполняет многочисленные функции: транспорт воды и растворенных в ней минеральных и органических веществ, синтез органических соединений, запасание питательных веществ и др. Зона проведения завершается корневой шейкой, т.е. местом перехода корня в стебель. У двудольных покрытосеменных в начале этой зоны происходит переход от первичного к вторичному анатомическому строению корня.

На поперечном срезе в зоне корневых волосков выявляются структурные и топографические особенности первичного анатомического строения корня (рис.2). На поверхности корня находится эпиблема с корневыми волосками, с помощью которых происходит всасывание воды и растворенных в ней веществ. В отличие от эпидермиса эпиблема не покрыта кутикулой и не имеет устьиц. Под ней располагается первичная кора, состоящая из экзодермы, мезодермы и эндодермы.

Клетки экзодермы плотно сложены и имеют утолщенные оболочки. Экзодерма обеспечивает апопластное поступление воды в более глубокие слои коры, а также придает корню прочность с поверхности.

Средний слой коры, мезодерма, состоит из тонкостенных паренхимных клеток и имеет рыхлое сложение благодаря наличию многочисленных межклетников, по которым вода перемещается к экзодерме.

Эндодерма, или внутренний слой первичной коры, состоит из одного ряда клеток. В её состав входят клетки с поясками Каспари и пропускные клетки. Клетки с поясками Каспари имеют утолщенные боковые (радиальные) и тангентальные (торцевые) оболочки, обращенные к центральному цилиндру. Эти целлюлозные утолщения пропитываются лигнином и поэтому не могут пропускать воду. В отличие от них пропускные клетки тонкостенные и располагаются напротив лучей ксилемы. Именно через пропускные клетки вода поступает в радиальный проводящий пучок центрального цилиндра.

Центральный цилиндр корня, или стела, состоит из нескольких слоев клеток. Сразу под эндодермой располагается один или несколько рядов клеток перicycle. Из них при переходе к вторичному строению корня у двудольных покрытосеменных и голосеменных образуются межпучковый камбий и феллоген (пробковый камбий). Кроме того

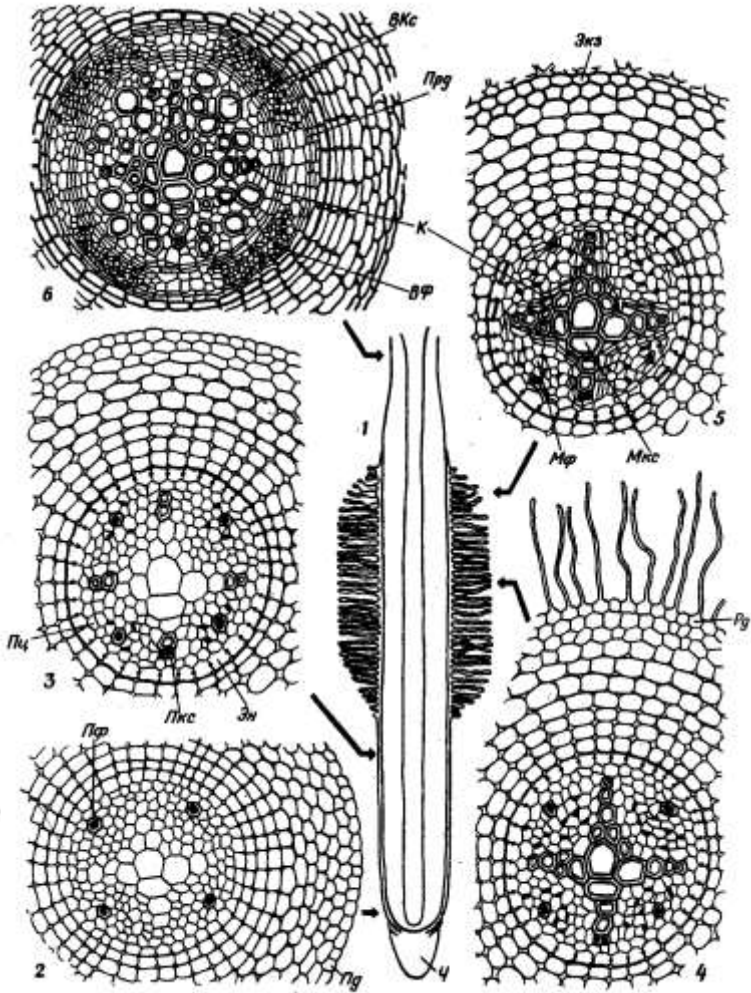


Рис. 2. Анатомическое строение разных зон кончика корня [2, стр. 158]:  
 1 – зоны кончика корня; 2 – 6 – поперечные срезы на разных уровнях; Вкс - вторичная ксилема; Вф – вторичная флоэма; К – камбий; Мкс – метаксилема; Мф – метафлоэма; Пд – протодерма; Пкс – протоксилема; Прд – перидерма; Прф – протофлоэма; Пц – перицикл; Рд – ризодерма; Экз – экзодерма; Эн – эндодерма; Ч – чехлик.

клетки перицикла участвуют в образовании боковых корней. За перикцилом располагаются клетки радиального проводящего пучка.

Проводящий пучок формируется из прокамбия. Вначале образуются клетки протофлоэмы, а затем на уровне первых корневых волосков – клетки протоксилемы. Клетки проводящих тканей возникают экзархно, т.е. с поверхности пучка, и в дальнейшем развиваются в центростремительном направлении. В этом случае самые первые, более крупные сосуды находятся в центре ксилемы, а более молодые, меньшего диаметра – на периферии ксилемного луча. Между лучами ксилемы расположены клетки флоэмы.

Число лучей ксилемы зависит от систематического положения растений. Например, у некоторых папоротников может быть лишь один луч ксилемы и один участок флоэмы. Тогда пучок называется монархным. Для многих двудольных покрытосеменных характерны диархные пучки с двумя лучами ксилемы. Кроме того у них встречаются растения с три-, тетра- и пентархными пучками. У однодольных покрытосеменных типичны полиархные проводящие пучки с многолучевой ксилемой.

Строение радиального проводящего пучка влияет на способ заложения боковых корней. В диархном корне они формируются между флоэмой и ксилемой, в триархном и тетраархном – напротив ксилемы, а в полиархном – напротив флоэмы.

Клеточное строение эпилемы и первичной коры обеспечивает возникновение корневого давления воды. Вода всасывается корневыми волосками, из них выходит в клеточные оболочки экзодермы, затем поступает в межклетники мезодермы, а из них через тонкостенные пропускные клетки – в сосуды радиального проводящего пучка. Поскольку корневые волоски имеют большую суммарную поверхность, чем пропускные клетки, то скорость передвижения воды, а следовательно, и её давление возрастают по мере приближения к сосудам. Разница возникающих давлений составляет корневое давление, которое является одним из механизмов поступления воды в стебель и другие органы растений. Вторым важным механизмом передвижения воды является транспирация.

## **4.2. Вторичное анатомическое строение корня**

У двудольных покрытосеменных и голосеменных первичное анатомическое строение корня в зоне проведения дополняется структурами вторичного происхождения, которые формируются благодаря возникновению и меристематической активности вторичных боковых образовательных тканей – камбия и феллогена (пробкового камбия) (рис. 3). При переходе к вторичному строению в корне происходят следующие существенные изменения.

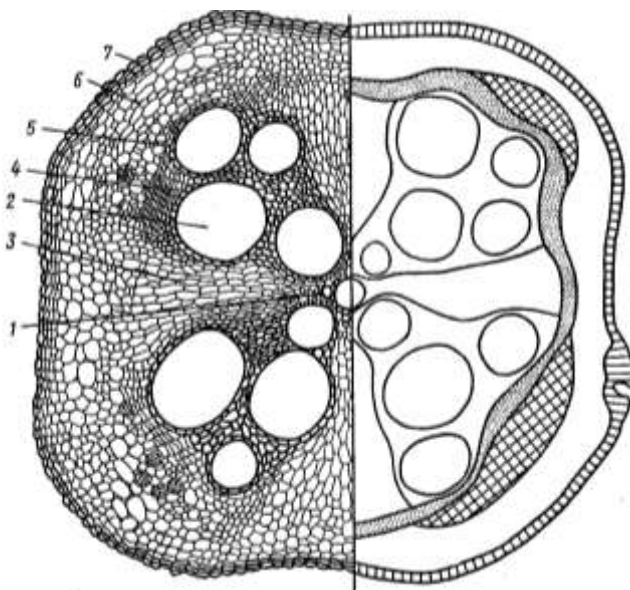


Рис. 3. Вторичное анатомическое строение корня на примере тыквы [8, стр. 85]:  
 1 – первичная ксилема; 2 – вторичная ксилема; 3 – радиальный луч; 4 – камбий; 5 – первичная и вторичная флоэма; 6 – основная паренхима вторичной коры; 7 – пробка (1 – 3 – ксилема, 5 – 7 – вторичная кора).

*А. Появление в центральном цилиндре корня камбия и порождаемых им вторичной ксилемы и вторичной флоэмы, которые по пропускной способности намного превосходят элементы исходного радиального проводящего пучка.*

Первоначально камбий возникает из клеток основной паренхимы, расположенной между сосудами первичной ксилемы и ситовидными трубками первичной флоэмы радиального проводящего пучка. Он называется пучковым, поскольку производит вторичную флоэму и вторичную ксилему крупных коллатеральных пучков, которые формируются между лучами первичной ксилемы. Затем из части клеток перидикла образуется межпучковый камбий, производящий клетки радиальных лучей паренхимы, которые располагаются напротив лучей первичной ксилемы радиального пучка и разделяют вторичные коллатеральные проводящие пучки. Ткани, которые порождаются камбием и откладываются наружу от него, представляют собой вторичную кору.

*Б. Образование пробкового камбия из клеток перидикла.* В свою очередь пробковый камбий порождает феллему, клеточные оболочки которой пропитываются суберином, что приводит к отмиранию клеток феллемы и преобразованию их в пробку. Поскольку пробка образуется

под первичной корой, то первичная кора изолируется от других частей корня, отмирает и слущивается. Это явление называется линькой корня. Появление пробки обеспечивает более надежную защиту корня от воздействия неблагоприятных факторов внешней среды. Это особенно важно для многолетних растений. Старые корни деревьев покрываются коркой, которая образуется из отмирающих наружных слоев вторичной коры.

### 4.3. Анатомическое строение корнеплодов

Корнеплоды образуются при развитии главного корня у растений класса Двудольные благодаря деятельности вторичных меристем – камбия и феллогена (пробкового камбия). Поэтому они имеют признаки вторичного анатомического строения корня.

В зависимости от количества колец камбия, участвующих в образовании корнеплода, они бывают монокамбиальными и поликамбиальными. Монокамбиальные корнеплоды бывают двух типов: типа моркови и типа редьки. У первых хорошо развита вторичная флоэма в составе вторичной коры, а у вторых лучше развита вторичная ксилема. Поликамбиальные корнеплоды характерны для свеклы.

У *моркови* на поверхности корнеплода (рис. 4) находится тонкий слой пробки, порождаемой пробковым камбием перидицического происхождения. Под пробкой располагается вторичная кора, образуемая камбием. В её состав входит сравнительно небольшое количество ситовидных трубок вторичной флоэмы и хорошо развитая паренхима, которая служит основным местом запаса питательных веществ, главным образом моносахаридов и полисахаридов. Остатки первичной флоэмы на срезе корнеплода практически не различимы. Под корой находится многорядный слой тонкостенных клеток камбия.

Под камбием корнеплода располагается небольшая по объёму вторичная ксилема, а в центре – первичная двухлучевая (диархная) ксилема. От лучей первичной ксилемы отходят два широкие паренхимные радиальные луча, которые разделяют вторичную ксилему на две веерообразные части. В состав вторичной ксилемы входит несколько радиально расположенных рядов крупных сосудов, диаметр которых постепенно уменьшается от центра к периферии. Паренхима вторичной ксилемы размещается между сосудами. Она развита слабо и существенной роли в запасаении моносахаридов не играет.

У корнеплодов *типа редьки* на поверхности (рис. 5) также имеется пробка, окраска которой зависит от видовых и сортовых особенностей растений. Вторичная кора на поперечном срезе занимает небольшую площадь, поскольку её запасающая паренхима развита слабо. Зато под кольцом камбия располагается мощный слой вторичной ксилемы. Она, как и у моркови, разделена на две веерообразные части широкими ра-

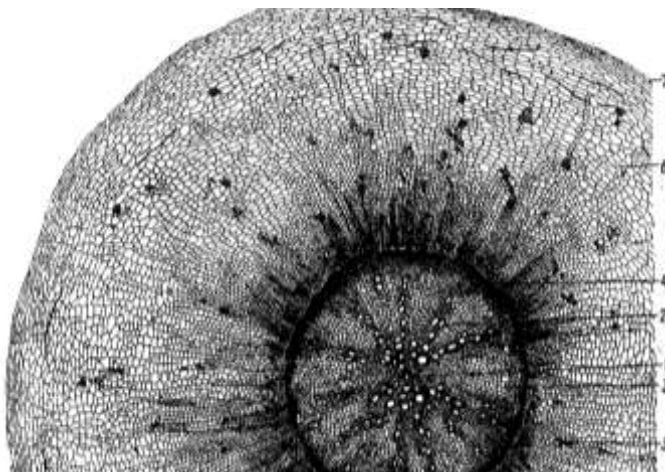


Рис. 4. Вторичное анатомическое строение корня моркови [8, стр. 88]:  
 1 – первичная ксилема; 2 – вторичная ксилема; 3 – радиальный луч; 4 – камбий;  
 5 – первичная и вторичная флоэма; 6 – паренхима вторичной коры; 7 – пробка.

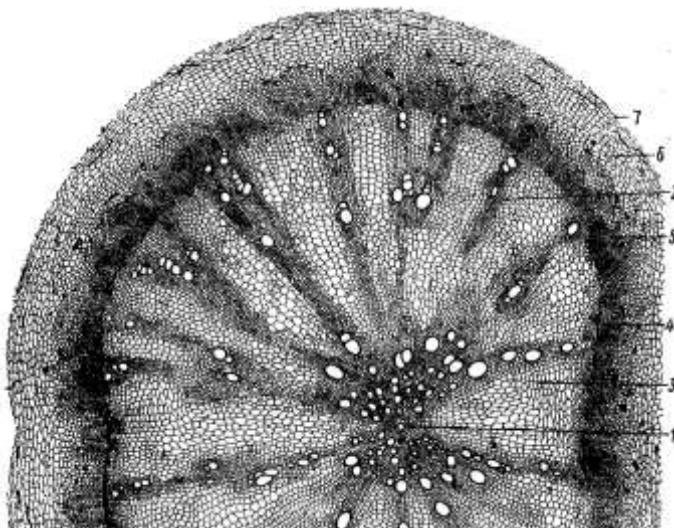


Рис. 5. Вторичное анатомическое строение корня редьки [8, стр. 88]:  
 1 – первичная ксилема; 2 – вторичная ксилема; 3 – радиальный луч; 4 – камбий;  
 5 – первичная и вторичная флоэма; 6 – паренхима вторичной коры; 7 – пробка.

диальными лучами, отходящими от лучей диархной первичной ксилемы. Небольшие группы сосудов вторичной ксилемы, окруженные одревесневающей паренхимой, располагаются радиальными рядами между клетками запасающей паренхимы. В них содержится много клетчатки, минеральных веществ и гликозидов. При разрастании корнеплодов этого типа их диетические качества снижаются.

Поликаम्биальные корнеплоды *типа свеклы* (рис. 6) имеют более сложное строение. У молодого корня свеклы сначала развивается типичное вторичное анатомическое строение.

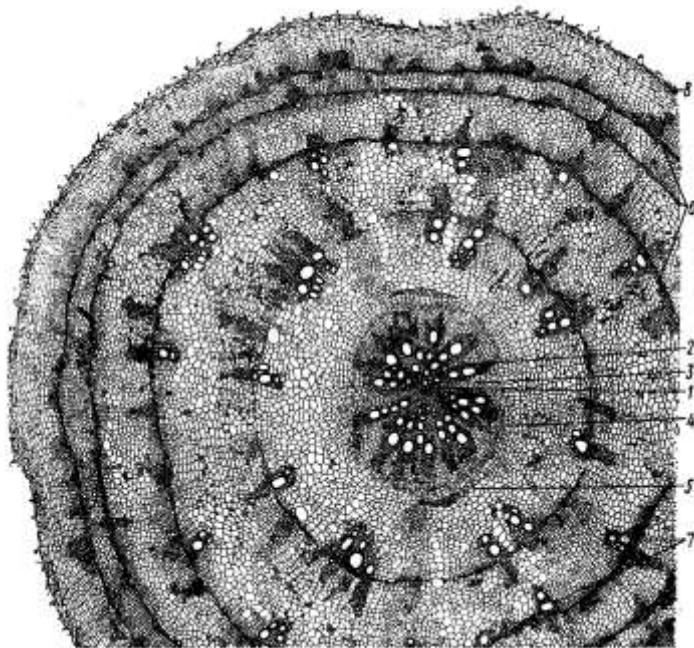


Рис. 6. Строение поликамбиального корня свеклы [8, стр. 89]:  
1 – первичная ксилема; 2 – вторичная ксилема; 3 – радиальный луч; 4 – камбий;  
5 – первичная и вторичная флоэма; 6 – дополнительные слои камбия; 7 – коллатеральные проводящие пучки; 8 – пробка.

На поверхности образуется пробка. Под ней находятся вторичная кора и камбий, под камбием – вторичная ксилема и диархная первичная ксилема, от лучей которой отходят радиальные лучи паренхимы. Затем происходят третичные преобразования. Из периферического слоя паренхимных клеток, которые окружали вторичную флоэму, возникает дополнительное кольцо камбия. Клетки этого камбия производят тонкостенную паренхиму, а также ксилему и флоэму коллатераль-

ных пучков. Из наружного слоя паренхимы снова формируется новое кольцо камбия, который также производит клетки паренхимы и коллатеральных проводящих пучков. Такие преобразования происходят несколько раз за время вегетации растений.

Питательные вещества откладываются в запасяющей паренхиме, расположенной между кольцами камбия. По мере разрастания корнеплода клетки паренхимы, находящиеся вокруг дополнительных проводящих пучков, могут одревесневать и мякоть корнеплода становится жилистой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корень является важным вегетативным многофункциональным органом высших растений. Его морфология и анатомическое строение динамично развиваются в онтогенезе благодаря деятельности верхушечных и боковых меристем под контролем генотипа. Большое влияние на развитие корней оказывают эндогенные, например фитогормоны, и экзогенные факторы, среди которых можно отметить воду, элементы минерального питания, температуру среды. Деятельность корней обеспечивает продуктивность растений, поэтому их изучению уделяется большое внимание в агрономических исследованиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б а в т у т о, Г. А. Атлас по анатомии растений: учеб. пособие для вузов/ Г.А. Бавтутто, В.М. Еремин, М.П. Жигар. Минск: Ураджай, 2001. С.174 – 186.
2. Ботаника. Морфология и анатомия растений: учеб. пособие для студентов пед. интов по биол. и хим. спец. / А.Е. Васильев, Н.С. Воронин, А.Г. Еленевский [и др.] 2-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1988. 480 с.
3. Ж у к о в с к и й, П. М. Ботаника / П.М. Жуковский. Изд. 5-е. М.: Колос, 1982. 623 с.
4. Р а з д о р с к и й, В. Ф. Анатомия растений/ В.Ф. Раздорский. М.: Советская наука, 1949. С. 366 - 406.
5. Р е й в н, П. Современная ботаника: в 2 т. / П. Рейвн, Р. Эверт, С. Айкхорн; пер. с англ. Т.2. М.:Мир, 1990. С. 30 – 42.
6. С у в о р о в, В. В. Ботаника с основами геоботаники / В.В. Суворов, И. Н. Воронова. Л.: Колос, 1979. 560 с.
7. Х р ж а н о в с к и й, В. Г. Курс общей ботаники / В. Г. Хржановский. 2-е изд., перераб. и доп./ В. Г. Хржановский. Ч.1. М.: Высш. шк., 1982. 384 с.
8. Х р ж а н о в с к и й, В. Г. Практикум по курсу общей ботаники: учеб. пособие / В.Г. Хржановский, С.Ф. Пономаренко. М.: Высш. шк., 1979. 384 с.
9. Э с а у, К. Анатомия растений: перевод с 2-го англ. изд. / К. Эсау; под ред. и с предисловием проф. Л.В. Кудряшова. М.: Мир, 1969. С. 417 – 466.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Корень .....	4
1. Значение корней .....	4
2. Морфология корня .....	7
3. Типы корневых систем .....	8
4. Анатомическое строение корня .....	9
4.1. Первичное анатомическое строение корня .....	9
4.2. Вторичное анатомическое строение корня .....	13
4.3. Анатомическое строение корнеплодов .....	15
Заключение .....	18
Литература .....	18