

## Лекция. Видоизменения корней

### План лекции.

1. Понятие о метаморфозе.
2. Метаморфозы, связанные с запасом питательных веществ: корнеплоды, корневые шишки. Контрактильные (втягивающие) корни.
3. Изменение корней в связи с симбиозом и паразитизмом.
4. Надземные метаморфозы корней: корни-подпорки, ходульные, досковидные, дыхательные, воздушные корни.

### 1. Понятие о метаморфозе

Условия внешней среды хотя и оказывают влияние на строение растений, но, как правило, не приводят к такому изменению вегетативных органов, которое делало бы их неузнаваемыми. Они продолжают выполнять свойственные им функции. Однако вегетативные органы мультифункциональны: наряду с главной, каждый из них осуществляет и многие дополнительные функции. Так, лист, как орган фотосинтеза, выполняет и сопряженные с ним процессы дыхания и транспирации, у некоторых растений он запасает воду, а благодаря железистым волоскам, наличию острых шипиков или иных структур, предохраняет растение от повреждения и поедания животными.

Главные функции корня — поглощение воды и закрепление растения в субстрате — не препятствуют его участию в накоплении запасных веществ. Стебель, по которому транспортируются вещества между листьями и корнями, удерживает листву, обеспечивает определенную ориентацию растения, стебли травянистых и молодые стебли древесных растений участвуют в фотосинтезе, ткани стебля нередко служат для хранения продуктов запаса.

Если дополнительные функции начинают преобладать над главными, или орган в процессе развития приобретает какие-то новые функции, он очень сильно изменяется и морфологически, и анатомически. Такие видоизменения органов называют **метаморфозами** (от греч. *metamorphosis* — превращение, преобразование). Этот термин был предложен К. Линнеем, опубликовавшим в 1755 г. книгу «*Metamorphosis plantarum*». Метаморфозы возникают как следствие приспособления растений к особым условиям существования.

На возможность видоизменения вегетативных органов еще в XVI веке обращал внимание А. Цезальпин (1519-1603), который считал лепестки цветков видоизмененными листьями. М. Мальпиги рассматривал корень как часть стебля, ветвящегося до волосков. К. Линней (1707-1778) представлял цветок как совокупность одновременно появляющихся листьев. К. Ф. Вольф (1733-1794) считал, что все части растения, несмотря на их разнообразие, можно свести только к двум органам: стеблю и листу.

Наибольшее значение для развития учения о метаморфозе имели труды великого немецкого поэта и философа И. В. Гёте (1749-1832), признававшего идентичность всех частей растения. Он полагал, что все органы растения происходят из бокового, или аппендикулярного органа, который, оставаясь в основе всегда одним и тем же, изменяется в процессе развития. И. В. Гёте называл его листом, не уподобляя, однако, обычному вегетативному листу. Впоследствии этот аппендикулярный орган был назван филломом. И. В. Гёте занимался, главным образом, изучением развития вегетативных и спороносных побегов, но не метаморфозом растений вообще. Его интересовали те превращения, которые происходят в онтогенезе однолетнего растения. Он основал онтогенетическую морфологию растений, или морфологию развития, опирающуюся на представление о единстве происхождения и метаморфозе органов растений.

И. В. Гёте и его последователи не были сторонниками идеи исторического развития органов, которая утвердилась в науке только после разработки эволюционной теории, связанной, прежде всего, с именем Ч. Дарвина (1809-1882). В соответствии с этой теорией, **метаморфоз** — не простое видоизменение органов, происходящее в онтогенезе растения. Это генетически закрепленный процесс преобразования и превращения одних органов в другие под влиянием изменявшихся условий жизни, питания, выполняемых ими функций, которыми сопровождалось историческое развитие вида.

## 2. **Метаморфозы, связанные с запасом питательных веществ: корнеплоды, корневые шишки. Контрактильные (втягивающие) корни**

У многих растений корни способны менять свой обычный вид в связи с выполнением определенных функций. Наследственно закрепленное видоизменение корня, вызванное сменой функций, называют **метаморфозом**. Среди метаморфозов корня наиболее распространены следующие.

**Запасающие корни.** Отложение в корнях запасных веществ вызывает значительное изменение их формы — они становятся очень толстыми, иногда даже шаровидными из-за мощного развития основной ткани — запасающей паренхимы. Чаще всего утолщается нижняя (базальная) часть корня, а на остальном протяжении он имеет обычное строение. В качестве запасных веществ в корнях могут откладываться: крахмал (у батата, кислицы клубненоносной), инулин (у георгины, цикория), сахара (глюкоза у батата, сахароза у моркови, репы, свеклы).

Различают два типа запасающих корней — **корневые клубни** и **корнеплоды**.

**Корневые клубни** (иногда их называют **корневыми шишками**) — видоизменения придаточных, реже — боковых корней (рис. 1).

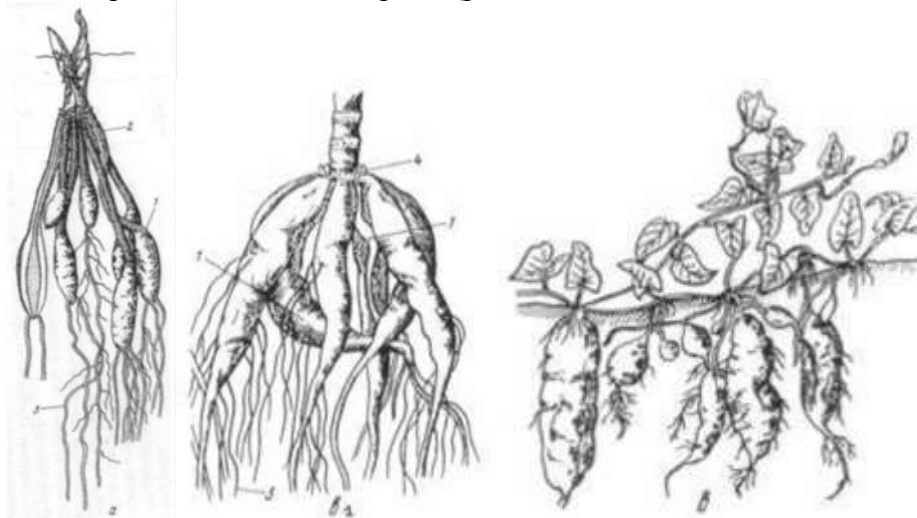


Рис. 1. Корневые клубни: а - лилейник рыжий; в<sup>1</sup> - георгина культурная; в – батат

Клубень представляет собой утолщенную часть корня, в которой откладываются запасные вещества. Растения, образующие корневые клубни, часто выращивают как ценные пищевые культуры. Например, батат, или сладкий картофель, — представитель семейства **Вьюнковые** — настолько широко распространен в тропических странах, что входит в пятерку наиболее важных пищевых растений мира. Родина батата — тропическая Америка. На его ползучих побегах длиной до 5 м образуются узловые придаточные корни, в нижней зоне которых и откладываются запасные вещества — крахмал и глюкоза (последняя придает клубням сладковатый вкус). Корневые клубни батата могут достигать массы 1 кг. На клубнях образуются придаточные почки, что позволяет использовать их для вегетативного размножения растения. Широко

распространено в тропиках еще одно клубненосное растение — маниок, из семейства Молочайные. Родина маниока — Южная Америка, но его широко выращивают в Азии и Африке. Прежде чем изготовлять из клубней маниока (длиной до 1,5 м!) крахмалистую «муку» — топиоку, их вымачивают с целью удаления содержащихся в них ядовитых веществ. В тропических странах культивируют и ямс (растения нескольких видов рода диоскорея из семейства Диоскорейные). Корневые клубни этих лиан содержат очень много крахмала (до 30%) и сахаров (до 17%), достигают 1 м в длину. Есть в них и ядовитые вещества, но они разрушаются при термической обработке.

Среди растений, образующих корневые клубни и культивируемых в условиях умеренного климата, наиболее известны георгина и лилейник. Клубни у них формируются в результате утолщения придаточных корней. Так как на клубнях этих растений не образуются придаточные почки, вегетативное размножение их клубнями невозможно. При искусственном вегетативном размножении у отделенной части растения должна обязательно сохраняться нижняя часть прошлогоднего побега с пазушными почками возобновления.

**Корнеплод** — метаморфоз смешанного происхождения, в формировании которого в большей или меньшей степени принимает участие утолщенная базальная часть главного корня (рис. 2).

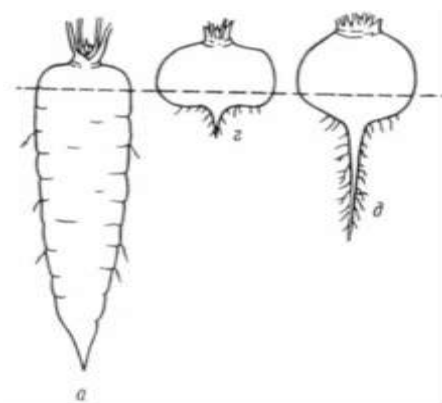


Рис. 2. Корнеплоды: а - моркови (*Daucus*); б - репы (*Brassica rapa*); в - свеклы (*Beta*)  
Пунктирной линией обозначена граница корня

В формировании **корнеплода**, наряду с корнем, принимает участие стебель, причем доля участия этих органов у разных растений варьирует. Например, у репы или свеклы корнеплод, в основном, образован стеблем, на корень приходится лишь его самая нижняя часть. Напротив, у моркови, за исключением верхней части, корнеплод состоит из корня (рис. 2). Корневая часть корнеплода определяется по наличию на ней боковых корней.

В корнеплодах в качестве запасных веществ обычно откладываются сахара. Особенно велико их содержание у созданных селекционерами современных сортов сахарной свеклы — более 20%. Желтую и оранжевую окраску корнеплодам моркови и репы придают жирорастворимые пигменты — каротиноиды. Корнеплод свеклы окрашен пигментом бетаином из группы водорастворимых пигментов-антоцианов. Следует отметить, что термин «корнеплод» нельзя признать удачным — ведь никакого отношения к плоду он не имеет. Правильнее этот метаморфоз называть клубнем смешанного происхождения. Однако этот термин так прижился и в агрономии, и в ботанике, что исключение его из употребления в ближайшее время представляется маловероятным.

**Контрактильные (втягивающие) корни.** Особую группу корней, близкую к запасным, составляют **втягивающие**, или **контрактильные** корни (рис. 3). Так называют корни, способные, сокращаясь по длине, втягивать побеги растения в почву на оптимальную глубину. Это необходимо для создания оптимальных условий развития растений, защищает их почки возобновления от вымерзания в зимний период. Они

развиваются у луковичных (лука, пролески), клубнелуковичных (шафрана, безвременника) однодольных и некоторых корневищных двудольных, например у водосбора и пиона.

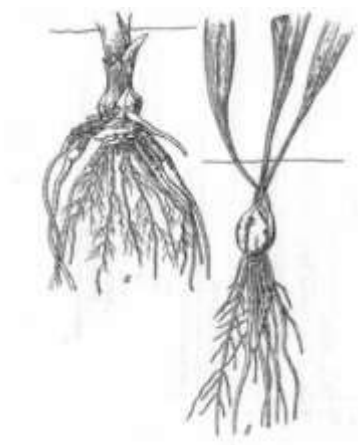


Рис. 3. Контрактильные корни: а – гладиолус гибридный; б - лилия тигровая

Такие корни находятся среди обычных, они способны, сокращая свою длину, тянуть за собой луковицу или корневище и тем самым погружают ее глубже в почву. После этого на поверхности втягивающихся корней становятся заметны поперечные морщины, из-за чего они заметно выделяются среди обыкновенных корней.

За счет деятельности контрактильных корней розеточные побеги одуванчика и подорожника всегда плотно прижаты к почве, а луковицы луков, лилий, тюльпанов, клубнелуковицы шафранов и гладиолусов, корневища ириса и купены всегда расположены на нужной глубине. Иногда слишком интенсивное заглубление приводит к негативным последствиям. Например, у растущих на хорошо окультуренной рыхлой почве тюльпанов луковицы заглубляются так сильно, что развивающиеся из них побеги не цветут. Именно поэтому луковицы этих растений рекомендуется ежегодно выкапывать и высаживать заново на оптимальную глубину.

### 3. Изменение корней в связи с симбиозом и паразитизмом

К метаморфозам часто относят видоизменения корней, связанные со вступлением их в симбиоз с почвенными организмами — грибами или бактериями. Симбиоз с грибами приводит к образованию *микоризы*, или *грибокорня*, а симбиоз с бактериями — к образованию на корнях *клубеньков*.

**Микориза.** Под микоризой понимают совокупность тонких окончаний корней и оплетающих их гиф грибов. Благодаря сильному ветвлению гиф гриба у корней с микоризой значительно повышается всасывающая поверхность. Из гиф грибов растение получает воду и минеральные вещества, а гетеротрофные грибы добывают из растения продукты фотосинтеза — органические вещества. Кроме этого грибы снабжают растения стимуляторами роста, гормонами, витаминами и ферментами. Обычно микориза развивается с участием всасывающих корней и локализована в коровой части их зоны всасывания (зоны деления и роста грибами, как правило, не затрагиваются).

Выделяют два типа микоризы — *внешнюю* и *внутреннюю*. Если мицелий гриба (совокупность гиф) покрывает корень только снаружи и проникает лишь в некоторые поверхностные межклетники, то микоризу называют наружной, или эктомикоризой (см. рис. 4, а). Она чаще встречается у древесных растений. Когда же гифы проникают внутрь клеток тканей корня, говорят об эндомикоризе (см. рис. 4, б). Она типична для кустарничков (брусники, черники, вереска) и многих трав.

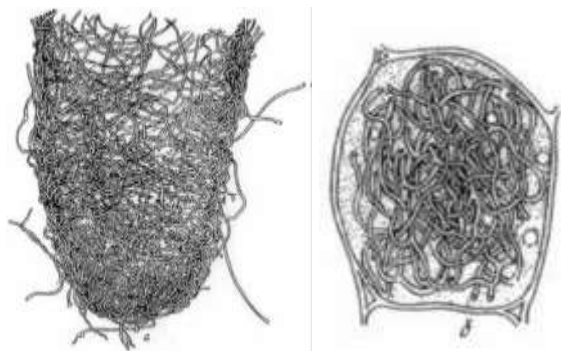


Рис. 4. Микоризы:

а – эктотрофная микориза дуба;

б – эндотрофная микориза ятрышника (гифы гриба, заполняющие всю клетку)

Корни с эндомикоризой внешне мало отличаются от обычных всасывающих корней. Микоризообразующие грибы обычно к самостоятельной жизни не способны. Растения, приспособившиеся к микоризным грибам, без них тоже растут плохо. Однако бывает и так, что гифы гриба перевариваются клетками корня, в которые они проникли. Иногда и грибы поглощают из растения слишком много органических веществ, угнетая его развитие. В этих случаях взаимоотношения растения и гриба носят характер *взаимного паразитизма*.

Микориза распространена очень широко. Обычно к каждому виду растения приспособлен определенный вид гриба. Знакомые многим съедобные шляпочные грибы (боровики, подберезовики, маслята, рыжики, лисички и др.) тоже способны образовывать микоризу с определенными видами лесных деревьев. Опытные грибники знают, под каким деревом какой гриб искать.

**Клубеньки.** Наряду с грибами, некоторые растения вступают в симбиотические отношения с азотфиксирующими бактериями, хотя это явление встречается гораздо реже, чем микориза.

Азот содержится во многих органических соединениях, поэтому все живые организмы нуждаются в регулярном поступлении его извне. Несмотря на то, что большая часть атмосферы состоит из азота, его дефицит встречается повсеместно. Это происходит потому, что в молекуле азота атомы связаны между собой очень прочными ковалентными связями, которые весьма трудно разорвать. Поэтому молекулярный азот совершенно не доступен для эукариотических организмов, и они нуждаются в более доступных его соединениях. Некоторые же прокариоты благодаря наличию у них особого *nif*-гена (контролирующего синтез фермента нитрогеназы) обладают способностью фиксировать атмосферный азот. Такие микроорганизмы обладают различной степенью свободы, в связи с чем их делят на *свободноживущие* и *симбиотические*.

Из симбиотических азотфиксирующих бактерий наиболее известны представители рода ризобиум (*Rhizobium*) (греч. *rhiza* – корень и *bios* – жизнь – в их названии очень уместно сочетаются слова «корень» и «жизнь», т.е. жизнь на корне). Они образуют клубеньки на корнях бобовых растений, в связи с чем их еще называют клубеньковыми бактериями. Они проникают в кору корня через корневые волоски. Поселяясь в паренхимных клетках и быстро размножаясь, бактерии вызывают активное деление этих клеток, что приводит к образованию бактериальной ткани. Образование такой ткани сопровождается формированием на поверхности корня желваков, которые называют клубеньками (рис. 5).

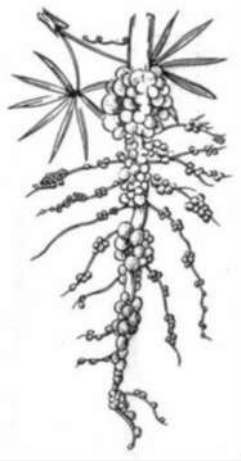


Рис. 5. Бактериальные клубеньки на корнях люпина

Такое сожительство оказывается чрезвычайно полезным для обоих симбионтов, при котором гетеротрофные бактерии получают от растения необходимые им органические вещества, а сами фиксируют атмосферный азот и передают его корню в виде легкоусвояемых для растений соединений. После отмирания растения клубеньки разрушаются и обогащают почву азотом.

Симбиоз бобовых растений с азотфиксирующими бактериями высоко ценится в практическом растениеводстве. Растения семейства Бобовые — ценные пищевые и кормовые культуры; получая дополнительные азотистые вещества, они отличаются повышенным содержанием белка и в вегетативных органах, и в семенах. Кроме этого выращивание бобовых культур обогащает почву азотом. Однолетние виды люпина (л. белый, л. желтый, л. узколистный) обычно выращивают в качестве *растений-сидератов*. *Сидератами* называют растения, которые возделывают именно для обогащения почвы азотом. Как только эти растения зацветают, их запахивают в почву. В симбиотические отношения с бактериями вступает и ряд других растений. Клубеньки можно обнаружить на корнях ольхи, облепихи, лоха и некоторых других растений.

**Корни-присоски.** Для питания растений-паразитов служат *корни-присоски* (*гаустории*, лат. *haustor* — черпающий, пьющий, глотающий). Они служат для проникновения в тело растения-хозяина, откуда высасывают необходимые для паразита вещества. Например, у повилки с рано отмирающим первичным корнем, стебель, обвивающийся вокруг растения-хозяина, образует выросты — гаустории, проникающие в древесину, обеспечивающую повилку питанием.

## 5. Надземные метаморфозы корней: корни-подпорки, ходульные, досковидные, дыхательные, воздушные корни

Ряд метаморфозов корня отличается более ярко выраженными опорными функциями.

**Столбовидные корни (корни-подпорки)** развиваются у некоторых тропических фикусов, например фикуса бенгальского (баньяна), произрастающего в Индии. На крупных горизонтальных ветвях взрослого растения образуются многочисленные придаточные корни без волосков, гирляндами свешивающиеся вниз. Они растут медленно, многие из них отмирают, а оставшиеся достигают почвы и укрепляются в ней, сильно разветвляясь при этом. Со временем надземные части таких корней сильно утолщаясь (могут быть диаметром больше 1 м!), превращаются в мощные столбовидные опоры. Благодаря таким корням крона фикуса разрастается вширь и может покрывать площадь более 1 га.

При этом число опорных корней, образовавшихся на ветвях одного старого дерева, может достигать 3 тыс.! Поэтому часто баньян называют деревом-лесом (рис. 6).

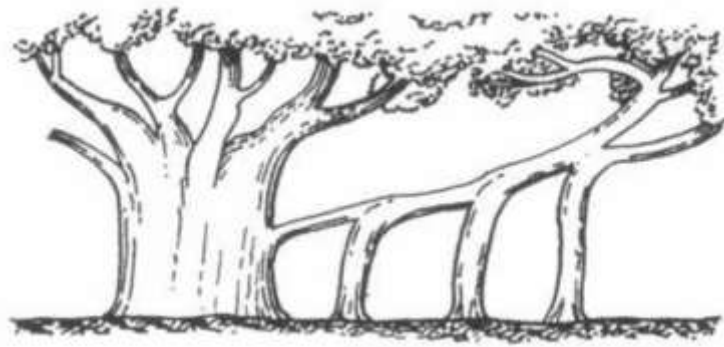


Рис. 6. Столбовидные корни (корни-подпорки) баньяна

Опорную функцию выполняют и **досковидные корни**, характерные для деревьев верхнего и среднего ярусов тропических дождевых лесов. Эти корни представляют собой метаморфозы боковых корней, у которых сверху по всей длине образуется плоский гребневидный вырост. Наибольшей высоты этот вырост достигает на базальной части корня — возле ствола дерева. Разрастаясь, он достигает ствола и поднимается вдоль него вверх на 3—5 м, обеспечивая ему дополнительную опору. Постепенно уменьшаясь в высоту, досковидные корни отходят в стороны от ствола примерно на такое же расстояние. Толщина досковидных выростов не превышает 10 см. Вокруг ствола обычно образуется несколько досковидных корней, имеющих вид огромных треугольных пластин. Такие корни служат надежной опорой для сравнительно тонкого ствола, несущего обычно мощную крону, позволяя дереву противостоять сильному ветру. Местное население охотно использует досковидные корни как ценный строительный материал. Гораздо менее выраженные досковидные корни можно встретить и у некоторых деревьев, растущих в умеренном климате, например у тополя, вяза или бука.

Назначение **ходульных корней** — поддерживать и удерживать кроны растений мангров, обитающих на постоянно затопленной почве. Манграми называют сообщества растений, живущих во влажных тропиках в приливно-отливной полосе океанов. Основные обитатели мангров — вечнозеленые деревья высотой 5–7 м, которые постоянно подвергаются воздействию огромных волн и сильных ветров.

**Ходульные корни** — метаморфозы придаточных корней, которые образуются на главном побеге с первых этапов его развития. У типичных обитателей мангров — растений видов рода ризофора эти корни могут образовываться на их стволе на высоте 2—3 м — по уровню прилива. Их надземные части прямые, подземные — сильно разветвленные. Во время приливов корни находятся в воде, во время отливов — верхние части корней оголяются. Так как у взрослых растений часто происходит отмирание главного корня и нижней части ствола, сохраняющаяся крона растения удерживается после этого только сильно ветвящимися придаточными корнями, т.е. стоит как бы на ходулях. Прочность корней достигается мощным развитием в них механической ткани — склеренхимы. Небольшие ходульные корни имеет кукуруза.

Опорную роль играют и **корни-прищепки**, свойственные некоторым лианам, например, плющу и ванили. С их помощью растения поднимаются вверх по стволам деревьев или другим опорам. Из корней, осуществляющих функцию защиты от повреждения животными, следует отметить встречающиеся у некоторых растений **корни-колючки**. Они развиваются, например, на клубнях мирмекодии, растущей в тропических лесах Юго-Восточной Азии. Ее крупные клубни имеют внутри систему ходов и полостей, в которых живут муравьи. Они заносят в эти полости гумус, что улучшает питание растения.

**Дыхательные корни (пневматофоры)** образуются у растений, обитающих на сильно заболоченных, бедных кислородом почвах. Аэрация корней у таких растений затруднена, поэтому часть боковых подземных корней, проявляя отрицательный

геотропизм, растет вверх и поднимается над почвой (вернее над водой). Выходя на поверхность почвы, *пневматофоры* достигают высоты 0,5 м. У одного растения может образовываться несколько десятков и даже сотен таких корней. У дыхательных корней хорошо развита воздухоносная паренхима — аэренхима с большими межклетниками. Их функция — обеспечение газообмена и снабжение корневой системы кислородом. Пневматофоры свойственны некоторым субтропическим и тропическим растениям. Из древесных растений такие корни имеет болотный кипарис

**Воздушные корни** типичны для тропических травянистых эпифитов — главным образом представителей семейств Бромелиевые и Орхидные. Эпифитами называют растения, обитающие на ветвях высоких деревьев влажных тропических лесов. Не являясь паразитами, эпифиты используют их как средство приближения к солнечному свету.

Воздушные корни представляют собой придаточные корни, которые свободно висят в воздухе, никогда не достигая почвы (рис. 7).



Рис. 7. Воздушные корни у эпифитных орхидей

Они способны поглощать воду в виде дождя или росы благодаря образованию на их поверхности особой губчатой ткани — *веламена*. **Веламен** — мертвая многослойная ткань, стенки клеток которой имеют спиральные или сетчатые утолщения. Так как клетки этой ткани мертвы, они заполнены воздухом, который легко может замещаться водой, что и объясняет поглощающую способность веламена. Из веламена вода по коре корня поступает в проводящие ткани, которые разносят ее по всем органам растения. Клетки коры воздушных корней могут содержать хлоропласты. Таким образом, они способны к фотосинтезу. Фотосинтезирующие воздушные корни отличаются зеленоватой окраской.

**Ассимилирующие корни** развиваются у некоторых водных растений, например, у *водяного ореха*, или *чилима*, встречающегося в пресных водах умеренной климатической зоны (рис. 8). Эти стеблевые придаточные корни гребневидно рассечены. У чилима есть листья, поэтому корни только усиливают фотосинтезирующий аппарат растения. У представителей семейства подостемовых, распространенных в тропических странах, где они живут в быстрых горных реках, корни нередко оказываются единственными органами, осуществляющими фотосинтез. Эти уплощенные, листовидные или напоминающие слоевища корни плотно прижимаются к каменистому субстрату с помощью ризоидоподобных волосков и дисковидно расширяющихся на концах выростов, похожих на присоски.



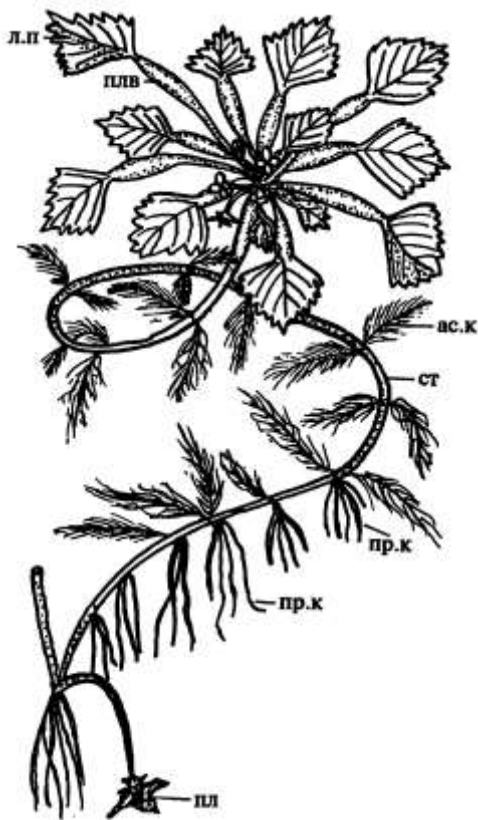


Рис. 8. Общий вид водяного ореха (чилима). Обозначения: ас.к — ассимилирующие корни, л.п — листовая пластинка, пл — плод, плв — поплавок (утолщенный черешок), пр.к — придаточные корни, ст — стебель

### **Контрольные вопросы и задания**

1. Что такое метаморфоз? 2. Какие существуют метаморфозы корня? 3. Чем по строению корнеплод отличается от корневого клубня? 4. У каких растений метаморфозы корня используют в пищу? 5. Что такое микориза? 6. Чем вызвано образование клубеньков на корнях ряда растений? 7. Что такое сидераты?

### **Литература**

1. Билич Г.Л. Биология. Полный курс. В 3-х т. Том 2. Ботаника/Г.Л. Билич, В.А. Крыжановский.-М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2004.-544 с.
2. Коровкин О.А. Ботаника - М.: КНОРУС, 2016.- 434 с.
3. Лотова Л. И. Морфология и анатомия высших растений. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 528 с.